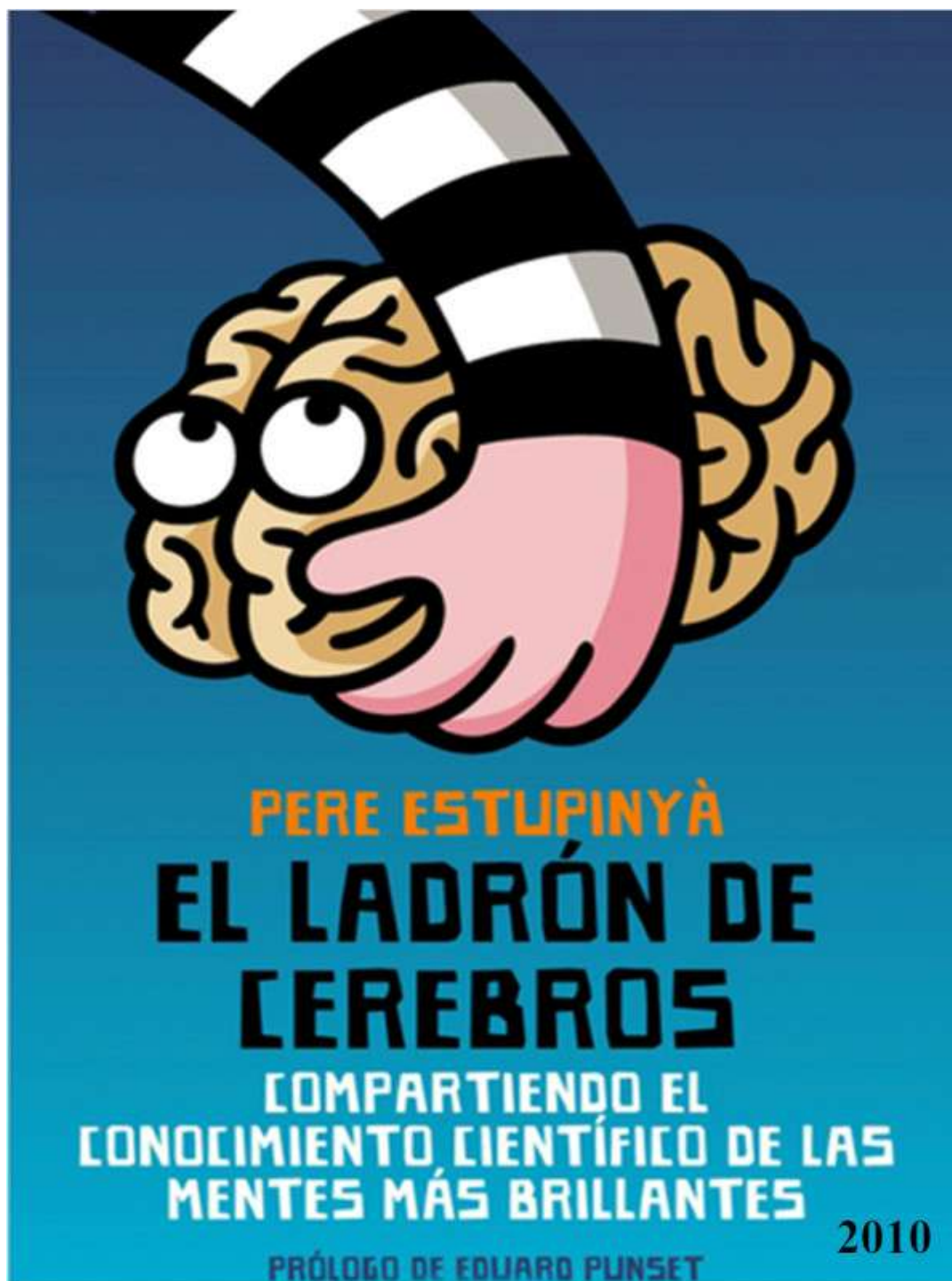




Reseña

Una excitante radiografía de los temas más candentes de la ciencia actual.

El ritmo de los avances científicos es tal que cuesta mantenerse enterado de todo lo que ocurre. En áreas tan dispares como el cerebro, el comportamiento humano, la física y el universo, la manipulación de la vida o la tecnología, se anuncian nuevos descubrimientos fruto del lento trabajo de sofisticadas investigaciones. Pere Estupinyà, un enamorado de la ciencia en todas sus manifestaciones, lleva varios años siguiendo atentamente los campos más interesantes, y en este libro lanza una amplia mirada para presentar y explicar los descubrimientos más importantes y sorprendentes de los últimos tiempos, así como los retos de más calado que tiene la ciencia en el siglo XXI.

Índice

[Prólogo](#)

[Introducción](#)

- I. [El cerebro que se investiga a sí mismo](#)
- II. [Lagunas en el comportamiento humano](#)
- III. [Fascinados por el universo](#)
- IV. [El sumiller científico](#)
- V. [Biología del siglo XXI](#)
- VI. [Ciencia, política y periodismo del cambio climático](#)
- VII. [Rascar donde no pica](#)

[Epílogo](#)

[Apéndice](#)

[Bibliografía](#)

[Autor](#)

A mis padres

Prólogo

El autor de este libro es capaz ahora de sugerir a sus lectores los diez mandamientos del mundo moderno. En primer lugar, que tiene algo de absurdo preocuparse sobremanera de saber si hay vida después de la muerte cuando acabamos de descubrir que hay vida antes de la muerte. Por primera vez en la historia de la evolución, los humanos tienen futuro: gracias al descenso alucinante de la mortalidad infantil, aunque no sólo a ello, su esperanza de vida se ha triplicado; disponen ahora de unos treinta años redundantes en términos biológicos, después de haber agotado parte de su vida sobreviviendo y perpetuando la especie. Pere Estupinyà es consciente también, al contrario de lo que ocurre con muchos de sus lectores, que la felicidad está en la sala de espera de la felicidad y que no tiene mucho sentido empeñarse en culminar el proceso que conduce a su fin, postergando en el camino los detalles y los compases de espera en los que yace gran parte de la felicidad ansiada. Mucho más que en su expresión final y pasajera. Tiene, además, la felicidad otra faceta desconocida hasta ahora que es la ausencia de miedo. A mis nietas nadie les ha enseñado en la escuela todavía a distinguir entre ansiedad —que pone en estado de alerta para competir o superar un desafío—, y miedo; el miedo que corroe e interrumpe el crecimiento de las uñas y de la adolescencia. Nadie nos ha preparado para lidiar con el miedo.

El mamullo que flota en el aire del ir y venir del equipo que tanto ha contribuido a acercar la ciencia a la cultura popular —el lugar de trabajo del autor durante muchos años— traduce la conciencia del error que han cometido, sin saberlo, muchos divulgadores de la ciencia. Hay que empatizar, efectivamente, y saber ponerse en el lugar del otro que escucha, pero no se puede olvidar que la reflexión predicadora de lo que viene no puede emitirse demasiado delante de las masas porque —como decía Maurice Thorez, secretario general del Partido Comunista Francés—, se corre el riesgo de encontrarse solo y gesticulando. Hay que estar justito delante, pero pegado a las masas, diría el dirigente francés.

Es más, el autor de este libro es perfectamente consciente de que en el proceso de empatía para colocarse en el espacio ocupado por los demás, la neurología moderna nos ha enseñado que no se puede exagerar la imitación de los sentimientos de otro si no se quiere correr el riesgo de desbaratar el proceso de empatía: su exceso desemboca en la pérdida del control de la ejecución de la obra. La dura realidad se lo ha enseñado a muchos artistas y competidores.

Después de tantas divagaciones inútiles o casi, sabemos ahora también que la belleza es la ausencia del dolor. El resto de los mamíferos nos ha enseñado que la belleza viene definida por el nivel de fluctuaciones asimétricas; cuando este nivel es inferior al promedio, quiere decir que el individuo examinado no ha conservado las huellas o rastros de enfermedades pasadas. Quiere decir, en otras palabras, que su metabolismo funciona a las mil

maravillas; que no hay ni rastro de dolores previos como la malaria; que el organismo en cuestión puede competir con cualquiera.

En la escuela, en la universidad, en las empresas hemos aprendido todos en el equipo creado en su día con Pere Estupinyà, Miriam Peláez, Susana Pinar, Beatriz Barco, Cristina Sáez, Octavi Planelles, Magda Vargas o Javier Canteros y el autor de este prólogo, que el reconocimiento social es el mejor predictor de la salud. No sólo se ha comprobado que el último mono en la jerarquía social tiene muy mala salud, sino que el décimo o undécimo la tiene mucho mejor que el vigésimo. La práctica corporativa todavía no inculca el hecho elemental de que la empresa no puede sobrevivir sin la conciencia de que sus empleados o profesionales controlan algo de su vida. Tiene que ver con el gran descubrimiento de la inteligencia social. Lo que importa no es tanto lo que ocurre en el interior de un cerebro determinado sino la chispa que provoca su relación o contacto con otro cerebro. Cuando hablamos de redes sociales —Pere Estupinyà pudo corroborarlo en Harvard—, estamos aludiendo al único modo de innovar. La innovación hoy en día es social por encima de todo y multidisciplinar. Ahora resulta, millones de años después de haberla compartido, que la manada sigue siendo esencial en la vida de los organismos individuales. Sabemos de ella antes que de nadie y no la olvidamos hasta el día en que se descohesionan nuestros átomos. ¿Cómo si no pudo saber Wiliam James, el fundador de la psicología moderna, sin apenas datos en que sustentarlo, que la vida transcurre buscando el amor y el reconocimiento del resto del mundo?

En su peregrinar luego y en su punto de partida antes, el autor de este libro aprendió también y supo practicar enseguida que hay muchísimas preguntas que no tienen respuesta y que cuando la gente no tiene más remedio que constatar esta evidencia, busca respuestas que yo llamo conspirativas. Cuando no se sabe de quién es la culpa se atribuye a las multinacionales, a la CIA, a Dios o al Diablo. A cualquiera, menos admitir lisa y llanamente que no lo sabemos todavía.

Cuentan que, al comprobar el científico Laplace la teoría del equilibrio permanente de los cuerpos celestes, Napoleón le preguntó si había consultado el teorema con Dios. «Esto en concreto no me hace falta consultarlo —replicó Pierre Simon Laplace—. Esto ya lo he demostrado yo. Cosa distinta es todo el resto».

La anécdota encierra la humildad y la grandeza del método científico. La belleza de la ciencia consiste en intentar en todos los casos comprobar mediante la experimentación y la prueba las tesis sugeridas. Y cambiar de opinión cuando alguien demuestra lo contrario. A veces —no es el caso del autor de este libro, empapado del espíritu del equipo que supo crear y difundir—, las personas no quieren cambiar de opinión ni que los maten; lo consideran una traición no sólo a las tradiciones, sino a su condición ciudadana. La naturaleza, en cambio, nos enseña que hasta ella cambia su estructura mediante las transiciones de fase; lo que antes era sólido ahora es gas o líquido. Este libro es una prueba bien inteligente de ello.

EDUARD PUNSET.

Introducción

Recuerdo estar sentado frente al océano en un lugar recóndito de la península de Zapata, cerca de Playa Girón. Antonio nos había conducido hasta allí con la promesa de mostrarnos una de las zonas costeras con más encanto de Cuba.

No había exagerado. El entorno natural era precioso, se respiraba una paz absoluta, y el mar se mostraba solemne. «Inmejorable», pensé para mis adentros. Entonces Antonio se acercó ofreciéndome unas gafas de bucear. «Muchas gracias, Antonio, pero ahora no me apetece demasiado. No soy muy diestro en el agua y me da un poco de pereza. Además, el paisaje en sí ya es idílico». Antonio insistió hasta convencerme. A los pocos minutos me puse las gafas y empecé a caminar hacia la orilla sin grandes expectativas, con el único objetivo de distraerme un poco. No tenía ni idea de qué me esperaba. Nada más sumergir la cabeza en el mar mis ojos se abrieron como platos. La roca sobre la que había estado descansando estaba rebosante de corales preciosos, varios peces de colores nadaban a mi alrededor, y al girarme divisé una tortuga alejándose pausadamente a escasos 25 metros. No recuerdo el tiempo que pasé absorto observando ese espectáculo inesperado, pero sí tengo muy presente mi reacción en cuanto salí de él: ¿cómo podía tener esa maravilla tan cerca y no ser consciente de ello? ¿Cómo podía haber estado a punto de perdérmela? No sé cuántas veces agradecí a Antonio su insistencia al ofrecerme las gafas y permitirme descubrir lo que para mí era un mundo desconocido.

Cuando dirigí de nuevo la mirada al océano continuaba siendo precioso, pero ya no podía conformarme en observar sólo su superficie.

Esta experiencia refleja el mismo entusiasmo que siento por la ciencia. Para mí, la ciencia son las gafas que nos permiten escudriñar en la estructura del universo, descubrir el mundo microscópico, explorar el interior del cerebro humano, comprender nuestro comportamiento, y disfrutar de toda la complejidad y esplendor que oculta la naturaleza. Sin la ciencia, ni siquiera seríamos conscientes de la existencia de tales tesoros.

Estamos en un momento de la historia intelectualmente sobrecogedor. Los científicos están encontrando respuestas a infinidad de profundos interrogantes, pero sobre todo nos están ofreciendo nuevos y turbadores misterios con los que estimular nuestra inquieta curiosidad. Y, creedme, es una lástima perderselo. Una vida sin ciencia es como una vida sin música. Puede ser igualmente maravillosa, pero sin duda desaprovechamos una de sus grandes ofrendas. Especialmente porque disfrutarla no requiere un lenguaje sofisticado ni grandes conocimientos previos. Sólo se precisa un cerebro receptivo. Por eso me gustaría emular a Antonio y proponeros que nos pongamos las gafas de la ciencia y me acompañéis en una expedición hacia las fronteras del pensamiento científico más actual. No saber bucear no es una excusa, sino una motivación añadida.

No perdamos más tiempo alejados de la explosión de conocimiento que tenemos frente a nosotros. ¡Lancémonos de cabeza a explorar el apasionante océano de la ciencia!

Escribí este texto en agosto de 2007 durante uno de los momentos más excitantes de mi vida. La inmersión científica que estaba a punto de emprender era realmente muy especial. Había sido elegido como uno de los diez periodistas científicos que iban a pasar un año en Boston becados por la Fundación Knight en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), con el único objetivo de introducir en nuestros cerebros tanta ciencia como cupiera. Íbamos a recibir seminarios privados con los principales investigadores del MIT y Harvard, podríamos asistir como oyentes a las asignaturas que más nos interesaran, entrevistar personalmente a científicos, rastrear en profundidad cualquiera de sus laboratorios, y asistir a todas las conferencias o eventos que quisiéramos. Teníamos libertad absoluta. Se trataba de actualizar nuestros conocimientos sobre las temáticas científicas que más nos fascinaran, para así poder transmitirlos de manera más eficiente a la sociedad. Un lujo. No podía permitir que un cerebro ineficiente guardara toda esa preciosa información de manera desordenada, y acabara perdiendo o tergiversando las lecciones aprendidas. Tenía que almacenarla en algún lugar seguro y difundirla por el mayor número de mentes. Una vaga idea se transformó en una misión desafiante: debía recoger todas las reflexiones y enseñanzas acumuladas durante mis años previos como comunicador científico, añadirles la inestimable información que iba a recibir durante los nueve meses siguientes, y

comprimirla en un libro sobre el fabuloso mundo de la ciencia. La ilusión era desbordante. Empecé el reto con gran entusiasmo, pero a las pocas semanas me di cuenta de que algo fallaba; pasaba demasiado tiempo encerrado en casa, perdiéndome sesiones científicas extraordinarias. Entonces alguien me dio un acertadísimo consejo: escribir un blog. Un blog me permitiría compartir la información de manera ágil, fresca, directa y desenfadada; ampliar los temas que más me interesaran, y encima recibir la interacción inmediata del lector. Escribir «Apuntes científicos desde el MIT» en elpais.com fue una satisfacción absoluta, y a estas alturas continúa siéndolo. El primer y muy sentido agradecimiento de esta introducción es para todos sus lectores, cuyos nombres, seudónimos, enlaces a páginas personales, mensajes o lecturas anónimas desde cualquier parte del mundo me han acompañado y motivado a continuar volcando ideas sin dueño en busca de acogida. A diferencia de la comida, compartir información no es dividirla sino multiplicarla.

Durante mi aventura científica en Cambridge el blog fue una compañía inestimable, un estímulo añadido para no saltarme ninguna conferencia, y la mejor excusa para seguir otro consejo colosal recibido durante la beca en el MIT y que aparecerá en la segunda mitad de este libro: «rascar donde no pica». Rascar donde no pica es dejarte seducir por nuevos intereses además de los que ya tienes, mantener un constante espíritu de búsqueda entre lo desconocido y permitir que la curiosidad sea la que guíe tu aprendizaje. Ése era el verdadero motor de los «Apuntes científicos

desde el MIT». Pero era tanto el estímulo intelectual al que estaba expuesto que en ocasiones sentía cierta frustración. Por una parte, no tenía tiempo de redactar en el blog todas las ideas que recibía y, por otra, había temas inabordables en las escasas mil palabras que tenía una entrada. Creo que mi subconsciente estaba pensando: «Ya llegará el momento...». Ese momento apareció con fuerza un día en otoño de 2008, cuando con cierta nostalgia empecé a repasar las libretas con apuntes de las clases, seminarios o entrevistas. Al descubrir todas aquellas letras «B» inéditas que anotaba entre los apuntes cuando alguna idea novedosa podía convertirse en una entrada del blog, me convencí de que era el momento ideal para retomar el proyecto de escribir un libro. Por fin podría abordar todas esas reflexiones con la profundidad que merecían y buscar una forma coherente de presentarlas. Para ello me fijé en tres de mis grandes obsesiones: la primera era contextualizar la información, presentar los antecedentes que enmarcan a un determinado estudio científico y las historias recorridas hasta llegar a él. Saber por qué es especial. La segunda obsesión la cultivé en el MIT, actuando como un ladrón de cerebros promiscuo y desvergonzado que usurpaba los conocimientos que mentes privilegiadas habían tardado años en acumular. Cuando entrevistaba a algún científico siempre le exigía: «No me cuentes lo que ya puedo encontrar en internet. Dime en qué estás trabajando ahora mismo aunque no esté publicado todavía. Confiésame lo que más te intriga en tu campo, qué será noticia dentro de uno, cinco o diez años, y comparte tus ideas al respecto». Pero la tercera obsesión era quizá la

más importante: para distribuir mi botín debía traducirlo a un lenguaje lo más natural y coloquial posible. Si no, no serviría de nada. Por eso, los textos que encontrarás a continuación intentan ser sencillos, frescos, con cierto toque informal, y rehúyen el detalle cuando ello pueda significar la desconexión con el lector. Soy consciente de que ciertas partes sabrán a poco y quizá desearás que hubiera perseguido un poco más el hilo científico de la historia. Reconozco que si tienes esa sensación, la percibo más como un éxito que como un inconveniente. No quiero que te sacies con un solo plato, por exquisito que sea; hay un bufet muy variado por degustar, y me gustaría que este libro tuviera el efecto endiablado de dejarte con más hambre de ciencia de la que ahora puedas tener. Si la lectura de estas páginas te incita a interesarte por un tema y buscar más información por tu cuenta, habrá sido un logro. También puede ser que, condicionado por mi pavor a resultar farragoso, eches en falta algunas definiciones básicas sobre conceptos científicos. Que no se enfaden los más puristas, pero no son tan imprescindibles como crees, y el libro se puede seguir perfectamente sin ellas. Si antes de entrar en una exposición de arte contemporáneo te forzaran a leer sesudas explicaciones para apreciar mejor las obras expuestas, quizá te darías media vuelta. Disfruta de la visita y, si no tienes muy claro qué es un gen o un nucleótido, te lo imaginas sin reparos. Estoy convencido de que por el contexto tú mismo lo averiguarás, lo encajarás dentro del relato, y lo asimilarás como un concepto propio. No le tengas miedo ni excesivo respeto a la ciencia; hazla tuya.

Confieso que es difícil salir de copas conmigo y que no te explique alguna anécdota científica que ese día tenga en la cabeza. Suelo hacerlo tan a menudo que he deducido un par de cosas: toda persona con un mínimo de curiosidad siente un gran interés por la ciencia. Menos algunos de los que trabajan once horas al día en ella, hay muy pocos que tras mencionar la palabra «neurona» o «quark» durante una cena no muestren disposición a escuchar más acerca de ellos. Pero también es verdad que la atención prestada tiene un límite. En una conversación cara a cara enseguida percibes cuándo toca cambiar de tema o enfocarlo de manera diferente. En un libro es más difícil. Por eso, si a pesar de mis buenas intenciones algún bloque se te hace pesado, ¡sáltatelo! Sé intelectualmente promiscuo. Ya regresarás a él, pero no permitas que nadie te aburra.

Rescato el paralelismo con el museo de arte para subrayar una cuestión: a nadie le interesa visitar una galería que exponga cuadros mediocres, ni bucear en aguas turbias. De la misma manera, aquí hablamos de las maravillas de la ciencia, abordamos los temas más estimulantes, nos fijamos en las publicaciones científicas de referencia y seleccionamos las mejores obras que han llegado a nuestras manos. Pero no pretendemos idealizar la ciencia. Como actividad humana que es, la investigación científica también tiene sus entrañas. Para infundir cierto sentido de la realidad, en algunos capítulos visitaremos también mares contaminados, perderemos la inocencia, y aportaremos de manera sutil una visión crítica de la ciencia y los actores que la construyen. Debo esta

actitud recelosa y poco condescendiente a los protagonistas del segundo agradecimiento de esta introducción: mis compañeros periodistas John, Ivan, Julie, Jonathan, Keith, Molly, Kathy, Catherine, Esta, Zarina, Pam y nuestro ilustre director Boyce Rensberger del fantástico programa Knight Science Journalism Fellowship del MIT, donde aprendí más —a todos los niveles— que en ningún otro período de mi vida. Nunca olvidaré esa etapa, ni las personas que me acompañaron. La lista de científicos y amigos que aquí debería citar sería interminable y seguro que cometería la injusticia de olvidarme a más de uno, pero tengo una buena excusa para destacar al físico Roberto Guzmán de Villoria y a los neurocientíficos Miquel Bosch y Victoria Puig por compartir sus conocimientos en el blog además de su amistad. Miembros del Euroclub, contertulios y camareros del Miracle of Science y el River Gods: brindo la penúltima con vosotros una vez más. Sin salir de Estados Unidos, también quiero agradecer la flexibilidad y la confianza de mis jefes y compañeros de trabajo en la oficina de comunicación de los Institutos Nacionales de la Salud en Washington D. C. Lo aprendido inmiscuyéndome en los laboratorios del campus de los Institutos Nacionales de la Salud (NIH) en Bethesda está bien presente en este libro. Gracias Calvin, Sylvia, y científicos de esta descomunal institución.

La experiencia profesional fuera de España ha sido intensa y gratificante, pero no habría podido llegar al MIT sin el impagable aprendizaje recibido por quienes fueron realmente las piezas clave en mi formación. Trabajar cinco años directamente con el genial y

carismático Eduard Punset en *Redes*, y ser durante dos temporadas editor de este programa televisivo, un referente en la divulgación de la ciencia en lengua española, transformó una aventura en una profesión. Mi más profundo y sincero agradecimiento a Eduard por darme esa oportunidad y depositar tanta confianza en un joven bioquímico de Tortosa formado en la Universidad Rovira i Virgili de Tarragona, que llegó a su oficina sin experiencia alguna pero armado con mucha ilusión. Gracias también a la ilusión, porque en momentos importantes es la que decide. Con mis ex compañeros de *Redes* me ocurre lo mismo que con mis amigos de Boston: resulta imposible citarlos a todos. Pero Miriam Peláez no puede faltar en esta entrega, y representa a todos ellos.

Los agradecimientos se complican todavía más cuando sales del ámbito profesional y empiezas a pensar en las personas que han participado de tu andadura científica. Que sirvan como representantes de mi estimado y nunca olvidado grupo de amigos: a Maite por abrir tanto los ojos cuando le hablaba de la expansión del universo; a Ramón por insistir en que primero pensara en imágenes y luego en texto (algún día le haré caso); a David por sugerir que fuéramos a bucear con Antonio; y al filólogo Elies por aparecer los mediodías por mi piso del casc antic de Tarragona provisto de moscatel a granel y ganas de compartirlo con mis almendras mientras discutíamos sobre los libros de ciencia que me traía, y los vídeos de un programa de ciencia que se emitía los domingos de madrugada y terminé mirando con libreta y bolígrafo en mano.

Marta... Nuestros caminos se separaron justo antes de empezar este libro, pero no hubiera llegado hasta aquí sin los maravillosos años que pasamos juntos. Tanto esta obra como su autor siempre lo recordarán.

Una bella economista con acento italiano ha estado presente durante la segunda parte de este libro. Gracias, Fazia, por tus consejos, por *ser mi amor*, por mostrarme que la vida es una película, y por dejarme que te acompañara a través de ella con un guión cargado de suspense, acción, humor, sensualidad, intriga, surrealismo y romanticismo.

Y cómo no, por último gracias al tremendo apoyo e incondicional cariño que siempre he recibido de Jaume, Consol, Ana y mis maravillosos padres Pepita y Pere. Vosotros sois con quienes más orgulloso me siento de compartir este libro.

Pero no perdamos más tiempo y, esta vez sí, ¡tirémonos de cabeza al océano de la ciencia!

Capítulo I

El cerebro que se investiga a sí mismo

Contenido:

§1. *Cienciadicto*

§2. *Cerebro a trocitos*

§3. *Mintiendo bajo la fMRI*

§4. *Serotonina, oxitocina y el amor engañoso*

§5. *La mejora de tus capacidades cognitivas*

§6. *Fusión del cerebro con la máquina*

§7. *Neurofilosofía: buscando moralidad en la naturaleza humana*

§8. *Neuroarrogancia en los juzgados*

§9. *Tu libertad es una ilusión del cerebro*

§1. Cienciadicto

Quizá fue resolviendo problemas de física en el instituto, o cuando sinteticé mi primer polímero durante unas prácticas de química orgánica, o al sentirme desbordado por la complejidad del sistema inmunológico en la licenciatura de bioquímica, ampliando fragmentos de ADN para mi interrumpida tesis doctoral, o leyendo libros sobre la elegancia del universo y el egoísmo de los genes; pero en algún momento de mi vida constaté que mi cerebro albergaba una curiosa peculiaridad: cuando consumía ciencia, las neuronas de mi *nucleus accumbens* recibían más dopamina de lo habitual.

El *nucleus accumbens* es el verdadero centro del placer en el cerebro. Cuando comes, bebes, haces el amor, practicas deporte, o

realizas cualquier acción que permitió a tus antepasados sobrevivir y dejar descendencia, te recompensa con una sensación de bienestar inmediata. Es el premio que nos incita a repetir dicha actividad siempre que sea posible. Esta brújula de la supervivencia se encuentra integrada en lo más profundo de nuestro cerebro, en un conjunto de estructuras primitivas llamado sistema límbico cuya principal función es explicarnos mediante las emociones qué nos resulta positivo, a qué debemos tenerle miedo, qué olor nos generará repulsión, o cuándo merece la pena estar triste. Luego, gracias a nuestra moderna corteza cerebral, podemos decidir si le hacemos caso o no, pero ese instinto primario es la información básica de la que partimos, codificada poco a poco a lo largo de nuestra historia evolutiva.

Siempre que la parte instintiva y la racional formen un buen equipo y ninguno tome el mando por completo, todo se mantendrá en un relativo orden. Durante mucho tiempo lo conseguí.

Pero algo extraño me sucedió hace sólo un par de años, durante la etapa que pasé en Estados Unidos becado por el MIT, consumiendo fuertes dosis de ciencia en estado puro. El nivel de satisfacción que experimentaba al conversar con los científicos, visitar sus laboratorios, explorar sus métodos de trabajo, descubriendo anécdotas o asimilando fenómenos complejos, era muy superior a lo normal Y, además, las dosis eran cada vez más frecuentes. En lo más interno de mi cerebro, las neuronas del área ventral tegmental debían de estar segregando cantidades inusualmente altas de dopamina en dirección al *nucleus accumbens*, porque cada vez

buscaba con más insistencia rodearme las veinticuatro horas de fuentes de conocimiento científico. Al principio no me pareció un problema; me sentía eufórico y encantado de la vida, pero empezó a preocuparme cuando advertí que estaba perdiendo interés por el resto de las actividades cotidianas. Las prisas por abarcar el máximo de ciencia posible hacían que introdujera alimentos en el estómago sin ninguna búsqueda de satisfacción a cambio, abandoné actividades recreativas que antes solían distraerme, otros tipos de información no científica llegaron a parecerme banales, e incluso el instinto reproductor se manifestaba en menos ocasiones y solía verse estimulado en momentos de euforia científica.

Me estaba enganchando. Mi cerebro estaba generando dependencia a la ciencia. Abrumadas por las elevadas dosis de dopamina que segregaba, las neuronas del circuito del placer habían reducido su cantidad de receptores celulares para no permitirme sentir un nivel de satisfacción constante. La brújula de las emociones sólo funciona bien cuando alterna momentos de bienestar con otros de indecisión; si fuera de otra manera, no serviría para orientarnos. La consecuencia final fue que la ciencia se convirtió en lo único que lograba darme verdadero placer. Me estaba transformando en un cienciahólico.

Si en ese momento hubieran analizado la actividad de mi cerebro con técnicas de neuroimagen, posiblemente habrían observado lo mismo que les ocurre a los enamorados o los ludópatas cuando observan las fotografías de su pareja o las máquinas tragaperras — o, en mi caso, ciencia—: la actividad cerebral aumenta en las áreas

relacionadas con el deseo, y disminuye en las implicadas en el autocontrol, la toma de decisiones y la interpretación más racional del entorno que nos rodea.

De acuerdo, reconozco que quizá mi cerebro está utilizando ese viejo truco de sobredimensionar experiencias específicas del pasado, y estoy exagerando mis recuerdos. Ni en los momentos de máximo fervor científico el placer que sentía al entrar en un laboratorio debía de ser muy diferente al que puede experimentar un forofa del fútbol cuando va al estadio, un apasionado del arte cuando explora un nuevo museo, o un amante de la alta cocina cuando visita un nuevo restaurante.

Posiblemente no pasó de una obsesión sólo enfermiza en momentos puntuales; pero esta reconstrucción desenfadada del proceso de adicción me parecía una buena analogía para recoger algunas de las maneras de estudiar el cerebro de las que hablaré en las próximas páginas de este libro.

Por un lado, el circuito placer o recompensa es un vestigio evolutivo que muestra cómo la selección natural ha ido condicionando nuestro comportamiento además de nuestros cuerpos, y permite exponer el eterno debate sobre hasta qué punto somos dueños de nuestras acciones.

Por otro, comprender la química que regula la actividad cerebral nos ha conducido a diseñar fármacos como el Prozac, que bloquea los canales de recaptación de serotonina al final de las neuronas para así aumentar la cantidad de este neurotransmisor en el espacio sináptico y disminuir la tristeza en los pacientes afectados de

depresión. Pero, sin duda, en un futuro cercano iremos mucho más lejos y la neurofarmacología permitirá diseñar sustancias que no sólo corrijan los cerebros maltrechos, sino que aumenten las capacidades de los sanos. El concepto de normalidad está en entredicho.

Y la otra gran revolución llegó con la capacidad de observar el funcionamiento del cerebro en tiempo real. Más allá de las aplicaciones médicas, los escáneres de resonancia magnética funcional están siendo utilizados para investigar lo más profundo de nuestra personalidad. Algunos auguran que las imágenes cada vez más precisas de la actividad del cerebro podrán ser utilizadas para medir nuestra valía en ciertos trabajos, predecir los productos que vamos a comprar, detectar conductas inapropiadas, o llegar a exculparnos en un juicio si detectan que nuestras fechorías no son atribuibles a la voluntad, sino a una programación cerebral defectuosa.

No es ciencia ficción. Tras muchos siglos estudiando el cerebro ahora tenemos unas herramientas que permiten no sólo entender la base de nuestro comportamiento, sino también llegar a predecirlo y modificarlo.

En los capítulos siguientes analizaré adónde nos puede llevar esta neurosociedad. Pero antes de abordar lo más novedoso en la neurociencia actual, y apoyarnos en la optogenética, la conectómica o la estimulación eléctrica transcraneal para descender al nivel de moléculas y tejidos neuronales, no estaría mal que primero observáramos el cerebro desde cierta distancia.

§2. Cerebro a trocitos

En 1966 el neurocientífico Richard Gregory hizo famosa la siguiente frase aparecida en su libro *Ojo y cerebro*: «Una de las dificultades para comprender el cerebro es que es poco más que un grumo de papilla espesa».

Comprendí el pleno sentido de esta expresión durante un curso de neuroanatomía en el que nos llevaron a un laboratorio del MIT diseccionarlo.

Cuando pones ese pedacito de carne en la palma de tu mano y lo observas detenidamente, no puedes dejar de sorprenderte y pensar: funciones de su cuerpo, siente dolor, o coordina sus movimientos... Decides aceptarlo porque no se te ocurre ninguna alternativa mejor, y tarea.

Lo primero que hice fue mirarlo desde atrás, coger el trocito de tronco cerebral que quedaba de su conexión con la médula espinal y



bajarlo para que el cerebelo sobresaliera y pudiera ser cortado con más facilidad. El cerebelo se encuentra justamente detrás de los hemisferios, y su principal tarea es la coordinación de movimientos, el mantenimiento del equilibrio, y el aprendizaje de habilidades motoras. Cuando alguien sufre alguna lesión en él, es incapaz de

moverse correctamente o calcular distancias, pierde masa muscular, se tambalea, y cae con frecuencia. Quizá una de sus principales curiosidades es que, a pesar de representar sólo el 10 por ciento del tamaño de todo el encéfalo, posee el 50 por ciento de sus neuronas.

Una vez retirado el cerebelo, el siguiente paso fue cortar minuciosamente las fibras que conectan el hemisferio izquierdo y el hemisferio derecho del cerebro, y separarlos poco a poco para observar qué escondían debajo de ellos. Lo primero que ves son cuatro estructuras ovaladas con una especie de apéndice en medio. Las dos más grandes y centrales son el tálamo, la zona que recibe toda la información de los sentidos —a excepción del olfato—, y se encarga de enviarla al córtex cerebral. Las dos menores son los colliculus, relacionados con la percepción del movimiento y el campo visual. Entre ellos y el tálamo sobresale un enigmático apéndice. Se trata nada más y nada menos que de la glándula pineal, cuya posición tan central hizo que René Descartes la definiera como el lugar donde residía el alma humana, el espacio donde el espíritu se unía con el cuerpo. Sorteando el erróneo dualismo cuerpo-mente de Descartes, la verdad es que ese casi insignificante cono rosáceo está implicado en el desarrollo sexual, la hibernación de los animales y la regulación de nuestro metabolismo, y es donde se produce la melatonina, una hormona que controla los ciclos circadianos del cuerpo que regulan el sueño y la vigilia.

Uno ya tiene ganas de empezar a diseccionar los hemisferios; pero antes conviene prestar un poco de atención a la parte que comunica

el cerebro con la médula espinal. Suele pasar inadvertido, pero el tronco cerebral, además de ser un canal de fibras nerviosas procedentes de todos los rincones de tu cuerpo, también es el que regula la respiración, el ritmo cardíaco y la sensación de dolor.

Ya no puedes más. Está muy bien analizar las áreas que hacen funcionar la máquina, pero los hemisferios están allí esperándote sobre la mesa para mostrarte dónde se esconden las preciosas funciones cognitivas.

La primera instrucción es separar con cuidado una capa con forma de lengua situada en la parte inferior del cerebro. Se trata del hipocampo, y es donde ahora mismo estáis guardando temporalmente las frases que vais leyendo. El grado de emoción que os susciten dichas frases hará que dentro de quince minutos se hayan consolidado de manera más o menos fuerte en otras áreas del cerebro, pero es la memoria temporal controlada por el hipocampo la que nos permite ir encarrilando una acción después de otra, o retener durante unos segundos el número de teléfono que nos acaban de dar. El hipocampo forma parte del sistema límbico, la parte más profunda y primitiva del cerebro. Ahí es donde se regulan las emociones básicas, la fuente del deseo, la agresividad, el miedo o la repulsión. En los últimos años los neurocientíficos están



concluyendo que esta dicotomía entre emociones límbicas y razonamiento cortical es mucho menos nítida de lo que se pensaba, pero sin duda es ahí donde se alojan los instintos más elementales que compartimos con el resto de los animales.

Cuando por fin llegamos al ansiado córtex cerebral, una pequeña decepción se adueñó de todos los presentes. Nos podían decir que con el lóbulo frontal se tomaban decisiones complejas, que la visión se procesaba en la parte posterior del cerebro, el tacto en la zona



central, o que el lenguaje se situaba en el lado izquierdo, pero ya no resultaba tan obvio distinguir módulos claramente diferenciados. La apariencia de ese grumo de papilla espesa era más bien uniforme.

La pregunta inmediata que a uno se le ocurre es ¿y entonces, cómo saben los científicos con tanta precisión dónde está localizada cada función cognitiva? Al fin y al cabo, parece fácil alterar el cerebelo de un ratón y ver qué ocurre, pero averiguar en qué región se localiza el autocontrol, el aprendizaje, o el sentido musical parece un poco más complejo.

Junto con estudios electrofisiológicos en primates y animales de laboratorio, hasta hace poco una de las grandes herramientas eran las lesiones cerebrales. Los neuroanatomistas no debían de disgustarse demasiado cuando recibían un paciente que había

sufrido un accidente, o una embolia localizada en un área concreta del cerebro que iba acompañada de una disfunción específica. Son famosos los casos del paciente H. M. que tras una lesión en el hipocampo pasó toda su vida sin poder consolidar los recuerdos. Era capaz de recordar varios aspectos de su vida anteriores al accidente, y era consciente de lo que estaba haciendo en cada momento, pero al cabo de unos pocos minutos olvidaba por completo dónde había estado, qué tarea había realizado, o con quién había conversado. Asociando estos problemas a su lesión, los investigadores pudieron ir escudriñando qué funciones albergaba el hipocampo. Por otra parte, el papel de la corteza frontal en el control de nuestros impulsos empezó a esclarecerse a mediados del siglo XIX, cuando una barra de metal atravesó el cráneo de un trabajador de la construcción llamado Phineas Gage. Su personalidad cambió por completo y pasó a comportarse como una persona violenta, impulsiva, e incapaz de planificar nada a largo plazo. El accidente le afectó el área del autocontrol. De esa época también datan los estudios de Paul Pierre Broca, quien descubrió que varios pacientes con problemas en el habla tenían lesionada una zona concreta del hemisferio izquierdo del cerebro. Desde entonces, el área de Broca se estableció como una de las principales regiones donde el cerebro procesaba el lenguaje.

Otra manera curiosa de identificar funciones en el cerebro ha sido activar zonas específicas y ver qué ocurría. Recuerdo vivamente cómo en un laboratorio de estimulación magnética transcraneal de Harvard pusieron a pocos centímetros de mi cabeza una especie de

paella magnética que, al encenderse, activaba mi córtex motor y hacía mover mi brazo hacia arriba de manera totalmente ajena a mi voluntad. La estimulación magnética transcraneal se está utilizando como complemento en terapias contra la depresión, la rehabilitación de áreas lesionadas tras accidentes cerebrovasculares, el tratamiento de migrañas, la mejora de capacidades cognitivas, y como herramienta de investigación básica para observar cómo reacciona el cerebro cuando partes específicas se le encienden. Más espectacular todavía son los experimentos en que la activación eléctrica de zonas concretas de los lóbulos temporales del cerebro inducían experiencias místicas a los voluntarios que los probaban. Incluso el éxtasis religioso parecía estar localizado en un área del cerebro.

Sin embargo, la gran revolución llegó a principios de la década de 1990 con las imágenes de resonancia magnética funcional. Significó un salto descomunal: por primera vez se podía estudiar cómo funcionaban los cerebros normales, además de los enfermos. El planteamiento básico de la fMRI es muy sencillo: cuando utilizas una zona de tu cerebro aumenta el flujo de sangre en ella. Por lo tanto, si eres capaz de medir estas variaciones de presión sanguínea mientras realizas una acción determinada, sabrás qué parte de tu cerebro es la responsable. Mientras escribo estas palabras un escáner de la fMRI mostraría actividad en las zonas prefrontales de mi córtex y en las relacionadas con el movimiento de mis dedos, mientras que durante vuestra lectura se encenderían las partes relacionadas con la visión, entre otras.

La fMRI es lo que ha revivido esta neo frenología por la que sabemos qué zona de nuestro cerebro es la responsable de una capacidad cognitiva determinada. Esto ha abierto las puertas a disciplinas emergentes como la neuroeconomía, que analiza nuestra toma de decisiones, el neuromarketing, que investiga el comportamiento del consumidor, la neuroteología, que estudia las zonas implicadas en las experiencias místicas o religiosas, la neurofilosofía, que intenta responder preguntas básicas sobre la naturaleza humana, y la neuroética, que pronostica cierta invasión de nuestra propia personalidad y vigila las futuras aplicaciones de la información que en el futuro pueda generar esta tecnología. Interesante. No podía leer tantos artículos sobre la fMRI sin someterme yo mismo a un escáner para ver qué eran capaces de averiguar sobre mi personalidad sin mi consentimiento.

§3. Mintiendo bajo la fMRI

Si te preguntan « ¿Has sido infiel a tu pareja?» y mientes, se activa una zona específica de tu corteza cerebral que no presenta actividad en caso de decir la verdad. ¿Es suficiente para construir el detector de mentiras más infalible que haya existido?

Eso es lo que intentaba averiguar el estudio de la Universidad de Harvard en el que participé como conejillo de indias.

Cambridge es un paraíso para los exploradores científicos. Sede del MIT y la Universidad de Harvard, si en cualquier bar de esta pequeña ciudad separada de Boston por el río Charles te presentan

a alguien un miércoles por la noche, tienes bastantes posibilidades de que esté investigando un tema asombroso.

Rogier tenía tal pinta de científico que cuando me lo presentaron en el restaurante Cuchi-Cuchi le pregunté directamente por su campo de investigación. «Neurociencia cognitiva —me dijo—; analizar el sustrato más biológico de nuestros pensamientos y conducta». Le pedí un ejemplo y me explicó el siguiente estudio realizado pocas semanas antes en una universidad californiana: metieron a varios voluntarios en un escáner cerebral y les hicieron probar dos vinos diferentes. Ambos eran Cabernet Sauvignon, pero uno costaba 90 dólares la botella y el otro 5 dólares. Los participantes conocían el precio de cada vino antes de probarlo, y cuando les preguntaban cuál les había gustado más, la inmensa mayoría contestaba que el caro. No se trataba sólo de un juicio racional *a posteriori*, el escáner cerebral confirmaba mayor actividad en la zona del placer cuando los voluntarios tomaban el vino caro. ¿Cuál era la gracia del estudio? Pues que los científicos habían intercambiado las etiquetas de los vinos. Fantástico: conocer el precio del vino no sólo te condiciona de manera subjetiva; la sensación física de satisfacción que experimentas en tu cerebro también es considerablemente mayor. « ¡Impresionante!», pensé de inmediato, y le pregunté a Rogier en qué estaba trabajando él. Se quedó pensando un momento y dijo: «Espera... ¿te gustaría participar en uno de nuestros estudios?». «¡Claro que sí!», respondí «Pues entonces no puedo explicártelo todavía para no condicionarte. Pásate la semana

que viene por el Departamento de Psicología de Harvard y lo preparamos». Así lo hice.

Durante esa reunión inicial Rogier no soltó ni el más ligero indicio sobre el contenido del estudio. De hecho, se limitó a pedirme que rellenara un montón de cuestionarios con datos de lo más eclécticos: nombres de personas conocidas, *tests* de habilidad visual, fechas significativas para mí, preguntas sobre mi pasado, aficiones. Pasados unos veinte minutos Rogier regresó y, sin grandes explicaciones, acordamos el día que debía presentarme en el Centro de Imagen por Resonancia Magnética del Massachusetts General Hospital.

Cuando un par de semanas después llegué a mi cita con la fMRI, volvieron a darme un listado de fechas para que confirmara cuáles eran realmente importantes en mi vida. Además me pidieron que también recordara el 24 de febrero como si fuera un día trascendental para mí.

Luego bata blanca, fuera metales, tumbate boca arriba, deja que te enclaustran la cabeza entre dos espumas para mantenerla completamente inmóvil, pregunta retórica sobre si estás cómodo, y hacia dentro de un estrecho aparato en el que se escuchaban ruidos muy extraños. Durante dos largas horas mi único contacto con los investigadores fue una pequeña pantallita por la que recibía toda la información, y dos teclas debajo de mi dedo índice y corazón con las que podía contestar «sí» o «no» a las preguntas que me realizaban.

El primer escáner realizado no medía actividad, era sólo para dibujar un mapa tridimensional de la estructura detallada de mi cerebro, sobre el que después insertarían las imágenes de actividad. El segundo escáner ya empezó a medir en qué áreas de mi cerebro aumentaba el flujo sanguíneo cuando llevaba a cabo las pruebas que me solicitaban. La primera fue muy sencilla, simplemente iban apareciendo fechas y debía responder si tenían algún significado para mí. Pasaron las mismas varias veces en diferente orden, y las únicas que identifiqué como importantes fueron mi cumpleaños y el 24 de febrero. Luego me dieron otras instrucciones: cuando viera mi cumpleaños tenía que mentir y pulsar la tecla «no», como si fuera cualquier otra fecha sin sentido alguno.

En principio, al mentir de manera consciente una zona de mi cerebro se debía iluminar.

Pero ése no era el objetivo del estudio, ya que dicho efecto ya había sido demostrado con anterioridad. Lo nuevo llegaba en la tercera tanda de escáneres. Se trataba de repetir exactamente lo mismo, pero añadiendo una pequeña tarea adicional. Al mismo tiempo que respondía debía realizar un pequeño gesto con la mano izquierda. Hice los tests de nuevo varias veces, y así terminó el experimento... ¿Ya está?

Luego Rogier me explicó mejor qué había sucedido: en realidad estaban comprobando si el escáner podía ser utilizado como detector de mentiras. Su hipótesis de partida era que no. En condiciones ideales, cuando alguien miente sí se puede distinguir claramente una zona iluminada bajo el escáner, pero sus sospechas

eran que esa zona también podía verse afectada por otras acciones que realizaras al mismo tiempo. El grupo de Rogier quería ver si en la tercera prueba, el hecho de mover conscientemente la mano izquierda ya era suficiente para interferir en la señal que aparecía cuando negaba que mi cumpleaños era un día significativo para mí. Si fuera así de simple, las fMRI quedarían invalidadas como detectores de mentiras.

Regresé a casa pensando lo frágiles que parecían esos lectores de mentes, y sospechando que gran parte de los estudios conductuales publicados sobre la fMRI quizá no tenían una base demasiado sólida. Hallé la respuesta a mis dudas un par de meses después, cuando tras asistir a un seminario con Rebecca Saxe sobre sus estudios con la fMRI me acerqué y le pregunté: « ¿Se publican muchos estudios mal hechos?». Su respuesta fue contundente: « ¡Y tanto! El 90 por ciento. Ya sea por las pocas muestras, el escaso rigor, las condiciones experimentales erróneas. Incluso en las revistas de referencia». Quedé sobrecogido. « ¿Y cómo podemos distinguirlos? Por ejemplo, hace un tiempo me explicaron un estudio llevado a cabo con vinos caros y vinos baratos que parecía bastante simplista». «Pues no; ése era de los aceptables. La señal de que algo te guste o no es muy clara, porque emerge de una zona específica del cerebro. En cambio, cuando veas un estudio que se fije en alguna parte de la corteza prefrontal, desconfía, porque allí ocurren gran cantidad de acciones entremezcladas». « ¿Como los detectores de mentiras?». «¡Exacto! Eso no tiene ningún sentido».

§4. Serotonina, oxitocina y el amor engañoso

¡Claro que no somos sólo química! También somos... somos... ¡Seguro que debe de haber algo más! ¿O no?

Si por el motivo que sea esta noche tus niveles de testosterona se encuentran más elevados de lo normal, tu apetito sexual se verá incrementado y estarás más predispuest@ a buscar una aventura amorosa.

Si no tienes éxito, tranquil@, que no te vas a quedar ansios@, la testosterona sube y baja rápidamente sin grandes secuelas y al día siguiente todo empezará de cero otra vez. El «Así no me puedo ir a casa» es sólo un mito.

Pero si estás de suerte y sí tienes sexo satisfactorio con algún furtivo, entonces notarás el deleite que genera en tu cerebro el subidón de dopamim, la hormona del placer. Cuidado, porque si realmente es bueno te gustará tanto que querrás repetirlo a casi toda costa. ¡Pero que la dopamim no te engañe! En el fondo, a ella le da igual si vuelves con la misma pareja o no; incluso te permite sentirte enamorada de dos personas a la vez. De acuerdo, de acuerdo, si ha estado *tan* bien, quizá al despedirte notes que han bajado un poco los niveles de serotonina, te sentirás desorientada y pensarás que esa persona es especial, tiene «algo» diferente, y el no estar con ella te generará intranquilidad. Empezarás a enamorarte. Quizá tras varios chutes de dopamim notes cierta sensación de adicción. Puedes relajarte y disfrutarlo tranquilo, en este estadio la testosterona y la dopamim no forman parte relevante de la historia.

Desdecirse no sería traumático todavía. Lo serio de verdad llega cuando la oxitocina aparece en escena. Tu cerebro la segrega en grandes cantidades en cada orgasmo, y es la responsable del sentimiento de apego, de unirse definitivamente a tu nuevo compañero o compañera. Si hubiera una hormona del amor, ésta sería la oxitocina. Cuando estáis juntos os reduce el estrés, el miedo disminuye, aumenta la confianza, la generosidad, la sensación de bienestar en cada abrazo, es la esencia química del afecto. Y lo más importante: hace que te sientas feliz cuando observas a tu pareja feliz. Su satisfacción pasa a ser más importante que la tuya propia. Ahora sí que puedes decir honestamente «Te quiero», en lugar del «Te deseo» propio de la etapa dominada por la dopamim.

De todas formas, no te confíes. Asegúrate de mantener los niveles de oxitocina altos a base de orgasmos, porque si no, pueden ir decreciendo hasta perder el apego. Si esto os ocurriera a los dos a la vez, tampoco sería tan grave. La tristeza de la separación daría paso rápidamente a una sensación de alivio. Lo peligroso, desdichado, insano, funesto, devastador, es cuando por cualquiera de los miles de motivos diferentes que existen, la relación se rompe cuando los índices de oxitocina están al máximo. Entonces la química cerebral se vuelve loca. La serotonina baja por los suelos: te deprime, te desespera, pierdes la cordura, dudas constantemente de lo correcto e incorrecto, aparece la ansiedad, la obsesión.

Te separas y de repente tus neuronas encargadas del placer ya no segregan nada de dopamim. Notas un síndrome de abstinencia brutal. Tu cerebro pide a gritos sinápticos volver a ver a tu amado.

No deberías hacerlo; es un suicidio hormonalmente hablando. Recaerás como el alcohólico que en el momento de más debilidad piensa «Será sólo una copa». Dale tiempo a tu química cerebral para que restablezca sus niveles normales. Además, allí ya no existe amor verdadero ni nada. Bueno, quizá sí lo hay, pero queda ofuscado por el deseo egoísta de sentirte mejor, de aliviar tu propio sufrimiento. En esos momentos no estás pensando en qué es lo mejor para él o ella. «Quiero continuar siendo tu amigo», puede decir el que haya salido más ileso de la desdichada ruptura. Científicamente es absurdo. Es como si pretendes curar al alcohólico diciéndole: «Debes dejar de beber. Pero puedes continuar yendo a los mismos bares, no hace falta que tires las botellas de tu casa, y dale un inocente beso al vino cada cierto tiempo». Los neurocientíficos expertos en adicción saben que eso no lleva a ningún sitio. Si les hiciéramos caso, la terapia del desamor incluiría borrar teléfonos, *mails*, y tirar fotos a la basura, por muy doloroso que sea.

Moléculas que condicionan nuestro comportamiento

Difícilmente aceptaríamos que este torrente de sustancias químicas en nuestro cerebro enamorado es la única justificación de nuestra conducta. Evidentemente no lo es, y uno puede pensar que toparse con una persona atractiva es lo que le hace subir la testosterona, y no al revés. Quizá, pero podemos encontrar múltiples ejemplos en los que claramente observamos que primero está la química, y luego la conducta. Tómate un café cargado cuando te sientas cansado y lo

comprobarás: si estás fatigado, el aumento de adenosina en tu cerebro le indica a tus neuronas que convendría bajar el ritmo y empezar a prepararse para dormir. Pero si en ese momento introduces moléculas de cafeína en tu cuerpo, cuando lleguen a las neuronas bloquearán los receptores de adenosina impidiendo que su señal sea efectiva.

Tras un largo período de depresión, los niveles de serotonina que una neurona envía a la siguiente en las sinapsis están muy bajos. Una forma de subirlos es bloquear con antidepresivos los canales por los que la neurona emisora recapta algunas moléculas de serotonina. Si impides que algunas moléculas vuelvan a entrar en la célula, indirectamente estás aumentando la cantidad de serotonina en el espacio sináptico. Y milagro, te sientes mejor. Es rotundamente cierto que hablar con un psicólogo experto puede ayudarte tanto como los fármacos, pero si observas tus sinapsis comprobarás que por esa vía terapéutica tu serotonina también ha terminado aumentando.

Pero volvamos a la oxitocina y su trascendental función amorosa en nuestras vidas. Los investigadores sabían desde hacía mucho tiempo que esta hormona se segregaba durante el parto y estaba relacionada con el apego de las madres a sus hijos. Luego, cuando descubrieron que también se liberaba en grandes cantidades durante el orgasmo, pensaron que podría causar el mismo efecto de unión emocional en las relaciones afectivas de las parejas. Para averiguarlo, un grupo de científicos realizó una serie de experimentos con dos especies prácticamente idénticas de ratones

de campo, pero que poseían una diferencia clave: los individuos de una especie llevaban una vida enteramente monógama, mientras que los de la otra no formaban ningún tipo de apareamiento permanente.

Primero los investigadores inyectaron oxitocina en los cerebros de los ratones promiscuos. Resultado: observaron anonadados que empezaban a formar enlaces estables. Luego bloquearon el efecto químico de la oxitocina en los ratones monógamos, ¿y sabéis qué?, al poco tiempo éstos dejaron de ser fieles a sus parejas. El vínculo entre «amor biológico» y oxitocina se estaba consolidando.

Pero si la oxitocina influía en el apego entre parejas y familiares, ¿por qué no en el resto de las relaciones sociales? En 2005 unos investigadores suizos se dedicaron a reclutar voluntarios, separarlos en dos grupos, suministrarles oxitocina por vía intranasal a uno de ellos, y ver si invertían más dinero en el proyecto que les proponía un desconocido. Los resultados publicados en *Nature* sugerían que, efectivamente, la oxitocina reducía los miedos y aumentaba la confianza en las relaciones sociales¹.

Por ridículo que parezca, a partir de estos estudios una empresa empezó a comercializar un spray con oxitocina llamado Liquid Trust dirigido a los vendedores, solteros que quieran ligar, y hombres de negocios que quieran transmitir confianza en sus reuniones.

¹ Michael Kosfeld, Markus Heinrichs, Paul J. Zak, Urs Fischbacher y Ernst Fehr, «Oxytocin increases trust in humans», *Nature* 435 (2005), pp. 673-676.

Y es que la primera motivación de muchos científicos es aplicar sus conocimientos a la corrección de los defectos, pero es difícil sucumbir a la tentación de ensalzar las virtudes.

§5. La mejora de tus capacidades cognitivas

El cambio de paradigma es el siguiente: antes nos conformábamos con ir al médico cuando estábamos enfermos para que nos devolviera a la normalidad. Pronto el concepto normalidad quedará obsoleto y aun estando sanos acudiremos a los ingenieros de la salud para que mejoren de manera radical nuestro cuerpo y capacidades cognitivas.

A 10 kilómetros de Washington D. C. hay un pequeño pueblecito llamado Bethesda que pasaría por ser el típico suburbio estadounidense de clase alta si no fuera porque está pegado a un campus de investigación donde trabajan 6.000 científicos aglutinados en 27 institutos que cubren todas las áreas de la medicina, y por el que a lo largo de su historia han pasado 115 premios Nobel. Los Institutos Nacionales de la Salud (NIH) de Estados Unidos no son una universidad, ni una institución hospitalaria; son un centro dedicado exclusivamente a la investigación científica y que se encarga de gestionar los más de 30.000 millones de dólares que el gobierno estadounidense invierte cada año en investigación en biomedicina. El 20 por ciento de ese dinero se gasta directamente en esa torre de Babel de las ciencias de la salud, el resto se reparte en becas de investigación por centros de todo Estados Unidos, y un 0,0001 por ciento constituía mi

salario durante el par de años que trabajé a tiempo parcial en su Departamento de Comunicación.

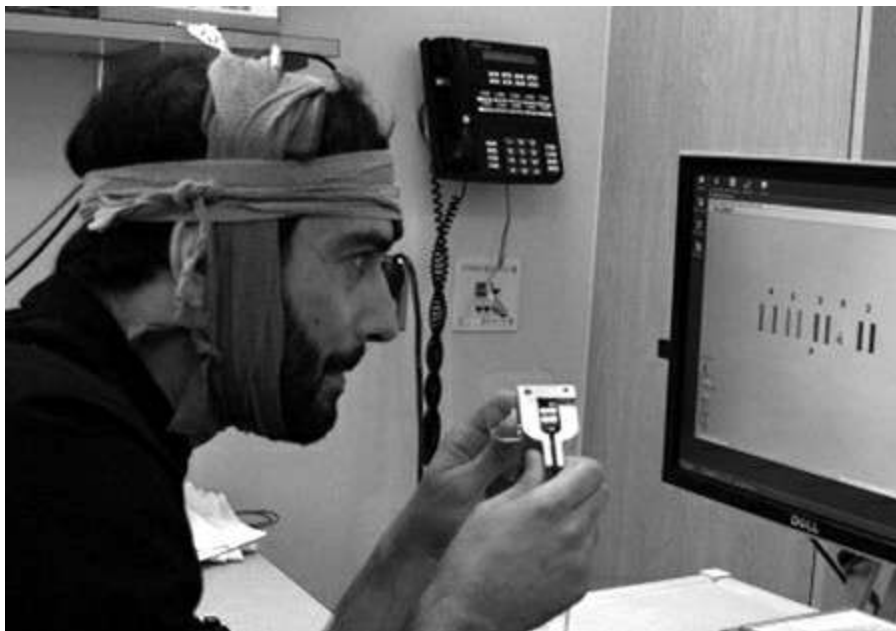
Si te diriges al central y emblemático edificio 10, subes al séptimo piso y recorres el pasillo D, al fondo a la izquierda encontrarás el laboratorio de Eric Wassermann, cuyo trabajo está dirigido a entender cómo la estimulación eléctrica directa del cerebro de pacientes con lesiones cerebrales puede restablecer su funcionamiento normal. Si le insistes un poco, quizá a regañadientes te enseñe un pequeño aparatito, una especie de pila de 9 voltios que pegaron con cinta aislante en la frente de unos voluntarios mientras se esforzaban en memorizar un listado de palabras. Resultado: aquéllos a los que se les estimuló eléctricamente el área dorsolateral de su córtex prefrontal lograron recordar significativamente más palabras que sus compañeros del grupo control que no recibieron ayuda externa.

Resulta perturbador. Wassermann aseguró que eran muy conscientes de los problemas éticos que el desarrollo de esta tecnología podría ocasionar, y que su objetivo final no era aplicarla a gran escala en el aprendizaje. Más bien en momentos concretos y cortos en los que estés haciendo un trabajo delicado o peligroso y necesites que tu cerebro rinda sus capacidades al máximo. «Imagínate un piloto en una operación militar, o a un cirujano durante una intervención muy complicada», puso como ejemplos. En esas situaciones cualquier ayuda puede estar justificada. «Además —añadió—, para llegar a utilizarlo no nos conformamos con encontrar resultados *estadísticamente* significativos. Eso ya lo

tenemos. Lo que buscamos son resultados *clínicamente* significativos». En términos menos epidemiológicos, eso significa que el efecto se note de verdad. Continuaba siendo perturbador. Debía probarlo por mí mismo.

Estimulando eléctricamente mis neuronas

La oportunidad llegó meses después, cuando otro investigador de los NIH, Leonardo Cohen, me permitió participar en un experimento que estaban realizando. Armado con una especie de placas conectadas a una batería y enviando una leve corriente eléctrica directamente al córtex de mi cerebro, mi misión era presionar con suavidad una especie de pinza metálica tremendamente sensible, que dirigía el movimiento de una pelotita en la pantalla de un ordenador, hasta lograr que dicha bolita roja se fuera colocando entre unos palos de colores que aparecían en la pantalla.



A base de entrenamiento, y sin contar con ninguna ayuda eléctrica, a los pocos días mi cerebro habría aprendido a realizar esta tarea

con precisión y rapidez Pero la neurocientífica Heidi Schambra, que era la responsable del experimento, quería averiguar si con ese apoyo transcraneal mi habilidad motora mejoraba considerablemente más rápido. « ¿Es eso posible?», le pregunté con tono escéptico a Heidi « ¡Claro! ahora contigo estamos analizando otras áreas cerebrales, pero con este mismo experimento ya demostramos que los voluntarios cuyo córtex motor primario se estimulaba eléctricamente aprendían significativamente más rápido que el grupo control al que no enchufábamos las placas». Debí de mostrar una expresión incrédula, pues enseguida me mostró el artículo de la revista *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, donde en febrero de 2009 publicaron sus sorprendentes resultados².

¿Impresionante? Pues todavía faltaba lo mejor. Salimos del laboratorio y Leonardo Cohen me acompañó por los laberínticos pasillos del edificio 10 hasta llegar a la parte del Medical Center. Bajamos a la primera planta, me condujo por una sección donde pude leer «Rehabilitation», y me invitó a entrar en una pequeña habitación oscura y silenciosa.

Allí, un paciente cuya habilidad motora se había visto reducida tras sufrir un accidente cerebral estaba realizando un ejercicio parecido al que yo había hecho minutos antes. Esta vez con el movimiento de todo su brazo debía dirigir otra pelotita al lugar donde le indicaba la pantalla. Llevaba tiempo repitiendo de manera rutinaria esta tarea

² Janine Reis, Heidi M. Schambra, Leonardo G. Cohen, Ethan R. Buch, Brita Fritsch, Eric Zerahnc, Pablo A. Celnik y John W Krakauerc, «Noninvasive cortical stimulation enhances motor skill acquisition over multiple days through an effect on consolidation», *PNAS* 106, n.º 5 (2009), pp. 1.590-1.595.

para ejercitar las neuronas y que las áreas cerebrales dañadas recuperaran parte de su funcionalidad; pero desde hacía poco también llevaba unas pilas enganchadas a su cabeza. Leonardo Cohen quería averiguar si combinando la rehabilitación con la estimulación eléctrica transcraneal no invasiva, las terapias a personas víctimas de accidentes cerebrales son más eficientes. Todo indica que sí. Impresionante.

De nuevo, la intención de los investigadores de los NIH es curar los cerebros enfermos. Pero ¿podría servir para mejorar los sanos? Sin duda. Para algunos, esto nos sitúa frente a un nuevo paradigma en la medicina: ya no iremos al médico sólo cuando estemos enfermos para recuperar la normalidad; en el futuro recurriremos a centros sanitarios aun estando sanos para que mejoren una «normalidad» que cada vez quedará más difuminada. Ya lo estamos haciendo con nuestros cuerpos, y algunos han empezado a intentar aumentar las capacidades de su mente. No sólo desde fuera con técnicas de estimulación transcraneal, sino también desde dentro.

Aumentar el potencial de nuestro cerebro

De la misma manera que existen fármacos contra la depresión, nada impide pensar en el diseño de sustancias químicas que mejoren sin efectos secundarios y de manera muy notable nuestro estado de ánimo, capacidad de concentración, memoria y felicidad.

El fármaco Ritalin se prescribe a los pacientes con trastorno por déficit de atención (TDAH), pero la revista *Nature* publicó en abril de 2008 que una de cada cinco personas que tomaban Ritalin no

tenían ningún problema de salud³. La mayoría eran académicos y científicos, y simplemente lo consumían para mejorar su rendimiento intelectual. Algo parecido ocurre con el fármaco ModaM, que se receta contra la narcolepsia para reducir el sueño diurno en los trabajadores que realizan turnos. El 90 por ciento de prescripciones se realizan en personas normales que pretenden incrementar su estado de alerta, pero es bien sabido que su uso se está extendiendo entre los estudiantes universitarios. Esto puede generar una primera sensación de rechazo, pero cuando me reuní con el director del centro para la aumentación humana del MIT, Ed Boyden, lo justificó diciendo que el café también era un potenciador cognitivo importante. Con Ed Boyden hablamos de la neuroingeniería, las prótesis cerebrales y la química, cuyo objetivo es mejorar al máximo la calidad de vida de las personas.

Incrementar la memoria es uno de los objetivos más buscados. Los científicos persiguen consolidar las memorias antiguas y potenciar los recuerdos recién adquiridos que nos interese fijar. E incluso intentar borrar los indeseados. Quizá en el futuro utilizaremos alguna versión de los fármacos diseñados para tratar el desorden de estrés postraumático con la intención de controlar nuestros propios recuerdos. Y es que los límites del cerebro no están tan claros. Jorge Luis Borges imaginó a Funes el memorioso como alguien con una memoria tan desarrollada que no podía olvidar nada de lo que percibía. Era un personaje de ficción desdichado que terminó volviéndose loco, pero resulta que alguien «parecido» existió en la

³ «Poll results: look who's doping» *Nature* 452 (2008), pp. 674-675.

realidad. El ruso Solomon Shereshevskii era capaz de recordar discursos enteros palabra por palabra, complejas fórmulas matemáticas, o aprender textos en idiomas desconocidos en cuestión de minutos. Su memoria era extraordinaria y fue sujeto de numerosos estudios científicos. Seguro que Shereshevskii ya nació con un cerebro diferente, y alguien convencional nunca podrá adquirir una capacidad de recordar parecida, pero eso no quita que nuestras conexiones neuronales no sean más maleables de lo que nos imaginamos.

Un estudio del año 2007 demostró que el ejercicio físico aumentaba la neurogénesis en áreas del cerebro relacionadas con la memoria y el aprendizaje. Cuando estás corriendo llega más oxígeno al cerebro, pero también aumentan los niveles de ciertos factores de crecimiento neuronales y de una proteína llamada BDNF (Brain-Derived Neurotrophic Factor) que dirige el desarrollo neuronal en el hipocampo. Es decir, la actividad muscular genera de manera indirecta una serie de sustancias químicas que afectan al rendimiento del cerebro. No parece imposible que algún día se plagie este mecanismo (o cualquier otro) y se induzca de forma directa.

Quién sabe si los universitarios del futuro tomarán pastillas antes de estudiar, o repasarán la lección con cascos que les estimulen eléctricamente el cerebro. Quizá sólo lo harán —como decía Wassermann— cirujanos, pilotos de aviones militares, o en cualquier trabajo peligroso en el que se necesite tener el cerebro trabajando al máximo de sus capacidades durante un periodo de

tiempo determinado. En la década de 1960 se utilizaba electricidad para mejorar el estado anímico de personas con desórdenes psiquiátricos; quizá dentro de unos años, cuando estemos bajos de moral, terminaremos acudiendo a centros de masajes neuronales en los que introduciremos por unos minutos nuestras cabezas en un casco magnético que irá activando áreas cerebrales específicas para relajarnos, darnos placer, y de paso fijar lo que acabamos de aprender. O tal vez nunca se reproduzcan estos escenarios, pues el estado anímico individual parece ser muy robusto y difícil de manipular. Pero lo que sí está claro es que la idea de potenciar las capacidades de los cerebros normales más allá del esfuerzo ya no es sólo una ilusión. Se ha empezado a investigar, y todo indica que la posibilidad de mejorar significativamente el cerebro humano está ahí, esperando a que la tecnología nos lo permita. No son elucubraciones futuristas más propias de la ciencia ficción que de los laboratorios serios. Da que pensar que una institución científica de reconocido prestigio como el MIT haya creado un centro llamado Center for Human Augmentation, organizado un evento titulado «h2.o; Bienvenidos a la nueva ciencia de la adaptación humana», y que sus investigadores como Ed Boyden reconozcan abiertamente poseer una nueva categoría de herramientas que cambiará nuestros cuerpos, mentes e identidad, a una velocidad nunca antes contemplada. La revolución ha empezado. La era del humano 2.0 se aproxima.

§6. Fusión del cerebro con la máquina

Cuando vi por primera vez a Hugh Herr caminando por los pasillos del Media Lab en el MIT no aprecié nada extraño. Fue al dirigir mi mirada hacia el suelo cuando distinguí por qué se trata de una persona tan especial. Años atrás a Hugh Herr le habían amputado ambas piernas por debajo de la rodilla tras perderse varios días en las gélidas montañas de New Hampshire. Pero en ese momento llevaba los dos tobillos electrónicos más avanzados del mundo, que él mismo había diseñado en su laboratorio de prótesis biomecánicas. Durante una charla en el museo del MIT aseguró que se sentía tan satisfecho con ellos, que no los cambiaría por unos naturales. «Cuando tengáis ochenta años vuestros tobillos ya estarán deteriorados por la edad; en cambio, los míos continuarán más fuertes que los de un chico de dieciocho años», nos dijo.

Aquí nos encontramos de nuevo en un salto conceptual enorme. Los ingenieros de prótesis ya no se conforman con copiar e igualar a la naturaleza, ahora pretenden mejorarla. «Dentro de muy poco los atletas discapacitados batirán los récords de los deportistas convencionales», añadió Herr en referencia al velocista amputado sudafricano Oscar Pistorius, al que no se le permitía correr con el resto de los atletas porque sus prótesis le ofrecían cierta ventaja. Hugh Herr continuó su charla explicando que, tras su amputación, los médicos le dijeron que ya no podría volver a practicar una de sus pasiones, la escalada, pero se equivocaron. Hugh Herr ha diseñado unas piernas ortopédicas con unos pies especiales que le permiten subir paredes con mucha más agilidad que antes de su accidente.

Y es que la discapacitada es la tecnología, no los humanos. De momento, el principal objetivo es devolver la normalidad a personas que han sufrido amputaciones o embolias, pero sin duda llegará el día en que no nos conformaremos con la normalidad biológica y sustituiremos partes de nuestro cuerpo sanas por otras mejoradas. Incluso del cerebro.

La conexión directa de terminaciones nerviosas con circuitos electrónicos ya se ha conseguido. Tu cerebro manda una señal por medio de los nervios a tu brazo para que se mueva, y allí un sensor la recibe, decodifica, y hace que tu miembro ortopédico se levante. Suena increíble, pero los científicos están investigando incluso que sea recíproco: dotar de terminaciones nerviosas a la mano protética para que transmita sensibilidad al cerebro. No sólo eso, pues otro de los grandes hitos es leer directamente la actividad del cerebro y transmitirla a un ordenador para que la distribuya donde sea conveniente.

Hablar con el pensamiento

Me quedé absorto cuando la neurocientífica y amiga Maya Peeva me explicó lo que hacían en su laboratorio de la Universidad de Boston. Ni más ni menos que enseñar a hablar con la mente a una persona totalmente paralizada. Eric Ramsey es un chico de veinticuatro años al que un accidente de tráfico dejó postrado en una silla de ruedas sin poder mover un solo músculo. Tras varios meses investigando con él, los científicos han logrado distinguir con relativa precisión qué patrones de actividad cerebral se producen en su cerebro

cuando piensa en una sílaba o en otra. Comprendiendo este proceso, ya son capaces de hacer que un sintetizador de voz reproduzca distintas vocales cuando Eric piensa en ellas. Es cierto que por el momento la actividad mental de Eric sólo puede producir un rudimentario «aaaaaaaaaa, oooooooooo», pero no creo equivocarme al considerar que eso que para los neurocientíficos puede no ser nada del otro mundo, para el resto de los mortales es espectacular. Vuela la imaginación.

Algo parecido está intentando Scott Mackler, un neurocientífico postrado en una silla de ruedas desde que la enfermedad de Lou Gehrig desactivó las conexiones de su cerebro con sus músculos. Con la ayuda de sus propios ex compañeros de laboratorio Scott ha diseñado un casco que registra sus pensamientos y los transmite a un ordenador. Si piensa en la letra N, tras veinte segundos aparece una N en la pantalla. Lo mismo con la A, la S y cualquier letra del abecedario. No es muy rápido, pero Scott puede construir frases enteras para comunicarse con su familia.

Una de las limitaciones de la metodología utilizada por Scott y Eric es que registran la señal del cerebro con dispositivos fuera del cráneo, y esto hace que la señal llegue un poco distorsionada. Sería mucho más efectivo registrarla directamente con electrodos colocados dentro de la cabeza. Algo tan invasivo es más peligroso, pero hace unos años ya se logró que un mono cogiera una pieza de fruta y se la metiera en la boca con un brazo robótico conectado electrónicamente a su cerebro. También a Cathy Hutchinson le implantaron electrodos directamente en la corteza motora de su

cerebro cuando aceptó participar como voluntaria en un proyecto que podría hacer que volviera a relacionarse con el mundo, tras un derrame cerebral que la dejó absolutamente paralizada. Ahora Cathy es capaz de mover con su mente un cursor en una pantalla de ordenador. Este hecho representa un salto de dimensiones abismales: Cathy es capaz de mover el cursor hacia el rincón donde está el icono «música», y seleccionar el grupo que más le apetezca oír de la lista. Puede presionar una señal de atención si requiere asistencia, navegar por internet, o ir al icono del teclado y empezar a escribir un correo electrónico con sólo pensar dónde quiere dirigir el cursor. Es prodigioso. Cuesta poner límites absolutos a las posibilidades futuras de la conexión neuronal directa con los ordenadores. Los científicos están llamados a ser los héroes del siglo XXI.

§7. Neurofilosofía: buscando moralidad en la naturaleza humana

Matar a otro ser humano es malo. ¿Desde cuándo estamos de acuerdo con tal afirmación? ¿Es algo aprendido, o ya nacimos con dicha instrucción programada en el cerebro? Y todavía te hago una pregunta más: ¿se puede averiguar esto científicamente? Si se lo hubieras planteado a B. F. Skinner o algún otro de los conductistas más acérrimos de mediados del siglo XX... ¡sólo de oírlo le habría dado un patatús!

Conocer en persona a Noam Chomsky fue uno de los momentos estelares de mi experiencia en Boston. Chomsky es el octavo

personaje más citado de la historia según el *Arts and Humanities Citation Index*, por detrás de —en este orden— Marx, Lenin, Shakespeare, Aristóteles, la Biblia, Platón y Freud. Lo es por sus más de cien libros escritos y por haber sido durante décadas uno de los activistas políticos más críticos y corrosivos contra Estados Unidos, país que durante nuestro seminario definió como «el peor monstruo imperialista del mundo». Pero más allá de su ideología política, Chomsky forma ya parte de la historia de la ciencia por la revolución que supuso hace cincuenta años su teoría de la gramática universal, y la influencia posterior que tuvo en el desarrollo de las ciencias cognitivas. Sus ideas iniciales han sido revisadas, actualizadas y discutidas por muchos otros lingüistas, pero, como veremos, el concepto fundamental que subyace en su idea de la predisposición innata al aprendizaje del lenguaje continúa siendo una referencia para los científicos que investigan la naturaleza de la mente humana.

A finales de la década de 1950 la escuela imperante en psicología era el conductismo fundado décadas antes por el psicólogo estadounidense John Watson. El planteamiento conductista asuma que nuestros sentimientos, conducta y pensamiento venían contruidos casi exclusivamente por el aprendizaje y las pautas de comportamiento que desarrollábamos a lo largo de nuestra vida. Sin duda nacíamos con algunos reflejos condicionados, pero en lo referente a procesos cognitivos, para los llamados conductistas radicales como B. F. Skinner nuestra mente nacía como una tabla rasa que podía ser modulada por las experiencias, sin que ninguna

predisposición innata o genética ofreciera resistencia. Aunque ahora tal menosprecio a los condicionantes biológicos nos suene exagerado, ese conductismo clásico (no el actual) era la corriente filosófica dominante en el estudio de la conducta humana.

Pero entonces apareció un lingüista llamado Noam Chomsky, que siguiendo una metodología científica propuso algo que resultaba inconcebible para el *radical behaviorism* de Skinner: el lenguaje no se aprendía desde cero después del nacimiento; nuestro cerebro ya llegaba a este mundo programado con un instinto innato que le predisponía a entender y construir oraciones siguiendo una gramática universal compartida por todos los seres humanos. Cada individuo terminaba hablando una lengua diferente en función del lugar donde naciera, pero todas las gramáticas de todas las lenguas existentes compartían ciertas estructuras básicas. Y eso no era casual, sino fruto de unos principios que la evolución había dejado insertados en nuestras mentes.

El valor simbólico de esta teoría fue enorme: en algunos aspectos, podíamos ya nacer predeterminados a aprender unas cosas y no otras.

La gramática universal de Chomsky se fue reformulando, pero su enérgica crítica al conductismo radical de Skinner, junto al trabajo de otros investigadores con una perspectiva más naturalista de la mente humana, fue forjando un nuevo enfoque de las ciencias cognitivas: el cerebro no es una tabla rasa que el ambiente va modulando sin resistencia. La evolución lo ha tejido con unos procesos mentales innatos que condicionan algunos de nuestros

comportamientos. ¿Cuáles? La pregunta no era nueva en absoluto; la manera y las herramientas para intentar responderla sí.

Las reflexiones sobre la naturaleza humana son tan antiguas como la propia humanidad, pero las preguntas filosóficas pasan a ser científicas cuando pueden ser testadas experimentalmente, y en la segunda mitad del siglo XX varios científicos tomaron el relevo de los grandes pensadores de la historia para intentar abordar su estudio desde una perspectiva científica.

De la misma manera que la apetencia por el sabor dulce era genética y disfrutar con el amargo cultural, debíamos entender científicamente cuál era el peso relativo de la genética o el entorno en las emociones individuales, el comportamiento social, el modo de emparejarnos, las conductas agresivas, empáticas, o incluso los pensamientos.

¡No es un asunto baladí! Conocer este innatismo no nos debe servir para justificar nuestras acciones ni aceptarnos tal y como somos, sino para saber qué cualidades podemos potenciar y cuáles ofrecerán resistencia cuando intentemos corregirlas a fin de conseguir el bienestar individual y común.

En los últimos años hemos vivido una explosión de ideas y experimentos alrededor de esta comprensión científica de la naturaleza humana. Uno de los ejemplos más recientes y controvertidos es el estudio de los juicios morales. ¿Forma algo tan abstracto como la moralidad parte de nuestros instintos?

El instinto moral

Immanuel Kant postulaba que los juicios morales dependían de la razón. En cambio, para David Hume era la emoción la que guiaba cualquier decisión moral tomada de manera súbita. Ahora las intuiciones morales son diseccionadas en los laboratorios mediante *tests*, análisis de pacientes con lesiones cerebrales, estudios con primates, herramientas de biología evolutiva y aparatos de resonancia magnética (fMRI), en lo que representa un campo de estudio emergente: la neurofilosofía; el estudio científico de aspectos de la naturaleza humana que antes quedaban reservados sólo a los filósofos.

Posiblemente, el principal exponente de este acercamiento a la moralidad desde la metodología científica es Marc Hauser, profesor de psicología en la Universidad de Harvard y autor del libro *La mente moral: cómo la naturaleza ha desarrollado nuestro sentido del bien y del mal*. Cuando le visité en su despacho y le pregunté acerca del origen de sus ideas citó a Chomsky: «De la misma manera que Noam Chomsky estableció la existencia de una gramática universal, yo quería averiguar si los humanos nacíamos con unos instintos inconscientes que nos condicionaban a seguir las instrucciones de una gramática moral universal codificada por la selección darwiniana en el cerebro».

Hauser y muchos otros investigadores han encontrado evidencias que lo confirman. Resulta obvio que la cultura y el entorno socioeconómico en el que te encuentres modulará tus creencias y actos hasta generar las enormes diferencias que percibimos en distintas partes del mundo. Pero, según Hauser, eso no excluye que

puedan existir unos principios biológicos universales subyaciendo en nuestros juicios espontáneos de origen inconsciente sobre lo correcto o lo incorrecto.

Uno de los experimentos que Hauser realizó para comprobarlo es un test del sentido moral que realizaron miles de personas de diferentes culturas, exponiendo situaciones como la siguiente: imagina que conduces un tranvía y ves a lo lejos cinco personas dormidas encima de la vía. Pitas, pero nada suena; te dispones a frenar y los frenos no funcionan. Has perdido totalmente el control del tranvía, y se dirige inexorablemente a matar a esas cinco personas. Por «suerte», antes de llegar a ellas hay una bifurcación y puedes cambiar de vía. El inconveniente es que en esa vía hay una persona durmiendo que también sería atropellada. ¿Qué haces? Debes decidir. ¿Es moralmente permisible caminar de vía para matar una persona en lugar de cinco? No sé qué responderías tú, pero el 90 por ciento de los encuestados por Hauser dijeron que sí.

Imagina ahora una segunda situación: el tren va a atropellar a cinco personas, pero tú puedes frenarlo empujando a un desafortunado transeúnte que camina al lado de la vía. Figúrate que sepas con seguridad que sacrificando esa persona vas a salvar a las otras cinco. El resultado final es el mismo. ¿Lo harías? La mayoría de las personas, sin saber explicar muy bien por qué, consideran esta segunda acción mucho menos aceptable moralmente y responden que en ese caso no intercederían. Cuando te explican la situación, enseguida intentas justificarla racionalmente, pero la decisión ya ha

sido tomada de antemano y de manera instintiva, aunque nunca antes hayas reflexionado sobre un dilema parecido.

De hecho, «que nunca hayas pensado sobre el dilema» es un factor clave. Si te preguntan acerca de la pena de muerte, la eutanasia, los crímenes de honor, o las situaciones morales sobre las que ya hayas reflexionado, responderás en función de la cultura y enseñanza que hayas recibido. Pero las situaciones planteadas por Hauser en el test del sentido moral estaban diseñadas de manera que no pudieran ser interpretadas de ninguna manera como un caso cercano. ¿Y sabes qué? Las 150.000 personas de los 120 países que participaron en los tests reflejaron una unanimidad asombrosa. Hombres, mujeres, jóvenes, mayores, conservadores, liberales, ateos, budistas, católicos, de diferentes razas, con más nivel cultural o menos, residentes en Estados Unidos o en otras partes del mundo, con mayores o menores ingresos, todos parecían seguir un código moral universal; unos principios que les guiaban a emitir los mismos juicios inconscientes sobre lo correcto o lo incorrecto. Nacemos con un instinto moral que la evolución ha configurado en nuestro cerebro. Luego las culturas se encargan de potenciarlo o distorsionarlo.

Hay más evidencias de ello. Imagina ahora un caso todavía más extremo que el del tranvía anterior: estás en un hospital, y cinco pacientes necesitan de manera urgente un trasplante, cada uno de un órgano diferente. Aunque el resultado sea el mismo... ¿es lícito salir a la calle, escoger al azar a un individuo sano, y extraerle sus órganos para salvarlos? El 97 por ciento de encuestados responden

que no. Ese 3 por ciento restante « ¡deben de ser psicópatas!», puedes pensar. Y quizá estás en lo cierto. Estudios de Marc Hauser en los que se planteaban dilemas morales a psicópatas en cárceles holandesas demostraron que sus juicios estaban intactos. A diferencia de lo que otras corrientes sugerían, los psicópatas sí sabían muy bien qué era lo correcto y lo incorrecto. Simplemente, no parecía importarles y actuaban sin dejarse frenar por emociones morales. El juicio y la acción son dos procesos diferentes del cerebro.

De hecho, los neurocientíficos escanearon el cerebro de voluntarios normales mientras se les planteaban los dilemas del tranvía y observaron que, cuando se decidía accionar una palanca para que el tren atropellara a una persona en lugar de cinco, las zonas del cerebro que se activaban eran principalmente las del pensamiento racional. Pero cuando se pedía empujar a alguien a la vía empezaban a iluminarse regiones implicadas con las emociones. La moralidad parece tener un sustrato neurobiológico. Algunos estudios de sujetos con lesiones cerebrales parecen confirmarlo. Pacientes con daños en un área del córtex frontal que interviene en la gestión de las emociones también se mostraban mucho más pragmáticos ante las preguntas del test del sentido moral.

¿Y qué dicen nuestros parientes los primates? Marc Hauser cita sus propios estudios con macacos y los de muchos otros primatólogos, observando actos que podrían ser considerados morales; como evitar comer si eso implicaba que un compañero recibía una corriente eléctrica, enfadarse ante situaciones injustas, o reaccionar

de manera muy diferente ante un incidente si lo percibían como fruto del azar o de una acción intencionada. Los animales no poseen los conceptos de lo correcto o lo incorrecto, pero sí se observa un instinto primario de colaboración y penalización ante conductas perjudiciales para el grupo, que podría ser la base evolutiva de lo que con el tiempo constituiría nuestro sentido moral.

No necesitamos que nadie nos explique que matar es malo; ese juicio moral tiene su sustrato neurobiológico, lo llevamos insertado de manera innata en las áreas más profundas de la emoción, y florece inconscientemente como el hambre, los miedos, o la gramática con que hablamos. Luego el desarrollo individual, la sociedad y la cultura se encargan de potenciar o corregir esas vocecitas en lo más profundo de nuestra mente.

Todo indica que, además de nuestros cuerpos y emociones, la selección natural también nos ha equipado con unos procesos cognitivos que antes asumíamos como exclusivamente ambientales. Quizá el más llamativo de todos resulte la predisposición a las creencias religiosas, que según los psicólogos evolutivos ha sido favorecida para mantener al grupo cohesionado y encontrar explicaciones al mundo que rodeaba a nuestros ancestros. Además, determinados neurocientíficos están viendo zonas en el lóbulo frontal y parietal del cerebro que cuando se activan, inducen alucinaciones y experiencias místicas. El reciente campo de la neuroteología, que busca encontrar a Dios entre nuestras neuronas, es junto a la neuroética, el neuromarketing y el neurodetodo, un buen ejemplo del auge de una neurociencia decidida a recoger el

testigo de los filósofos clásicos que estudiaron la naturaleza humana.

No hay «fantasma en la máquina», como insinuaba el dualismo cuerpo mente de René Descartes. Nuestros pensamientos y acciones pueden estar más o menos influidos por los genes, el desarrollo individual, la cultura o la sociedad; pero al final no dejan de ser impulsos químicos en nuestro cerebro cuyo estudio científico está significando una de las revoluciones intelectuales más apasionantes de la historia.

Es tan sobrecogedor que a veces la visión cientifista de nuestra naturaleza peca de codiciosa. Aunque la evolución, la genética y la neurociencia lleguen a explicar cómo somos, nunca podrán generar por sí solas una visión filosófica completa de la vida, ni dictar la ética de nuestras decisiones individuales o en comunidad. Su labor se deberá limitar a ser la mejor fuente de información de que disponemos. Que no es poco.

§8. Neuroarrogancia en los juzgados

Las dos motivaciones para penalizar a un criminal son: porque se lo merece, y para que no repita de nuevo su fechoría. ¿Podrían los avances en la neurociencia actual influir en sendos principios? La respuesta no sólo tiene implicaciones en el sistema legislativo, sino en la propia concepción de la naturaleza humana.

Piensa en el concepto de castigo. ¿Por qué castigamos a un delincuente? El planteamiento más utilitarista lo contempla como

una medida para evitar que actúe de nuevo. Pero imagina que algún día podamos prever que alguien vaya a cometer un delito. ¿Deberíamos actuar como si la violencia fuera un asunto de salud pública, e intentar anticipar medidas preventivas antes de que la realice?

Pondré un ejemplo concreto: una de las señales más claras que pueden detectar los escáneres de resonancia magnética funcional (fMRI) son las alteraciones en los cerebros de los pederastas. Si pasas fotografías comprometidas, en un área de sus cerebros podrás distinguir con muy poco margen de error el diferente grado de deseo que experimentan. ¿Se debería entonces hacer una prueba a los que opten a ser profesores de educación infantil? ¿O empezar una terapia con los que manifiesten cierta susceptibilidad, a pesar de que nunca hayan realizado ningún acto ofensivo contra los niños?

Preguntas como éstas, planteadas en la reunión de expertos celebrada en Harvard bajo el pretencioso título « ¿Debería ser reconsiderada la ley criminal en vista de los avances de la neurociencia?», esconden la siguiente reflexión: el cerebro humano es un sistema mecánico cuyo funcionamiento podremos comprender y predecir algún día con un alto grado de fiabilidad. Yo tenía serios problemas en asumirlo. Pero todavía irían más lejos.

El planteamiento retribucionista del castigo, sin embargo, lo plantea como algo merecido tras haber realizado una acción penalizable. Pero ¿somos siempre responsables de nuestros actos? Desde luego, es algo que se ha debatido desde tiempos inmemoriales, pero, de

nuevo, los neurocientíficos más deterministas insinúan que el grado de libertad individual que poseemos es menor del que nos pensamos, y que ellos son capaces de informar en qué momento podría ser un atenuante de responsabilidad. «Si un tigre ataca a una niña en una aldea lo sacrificarás para que no repita la acción, no porque lo merezca —decía Joshua Greene—, de la misma manera que hay individuos con la capacidad de autocontrol muy mermada». Los ejemplos de pacientes con lesiones cerebrales son los más llamativos, pero Greene también planteaba que personas con problemas genéticos, y que hubieran crecido en un entorno que les conducía a la criminalidad, no eran completamente libres ni tan responsables de sus actos.

Si pensamos fuera del ámbito delictivo, ya hay una situación en la que los expertos llevan tiempo solicitando un cambio de percepción social: la drogadicción. Estudiando el cerebro de adictos, los neurocientíficos han comprobado dos cosas: su deseo de consumir una determinada sustancia es extremadamente mayor de lo normal, pero además la parte de su corteza cerebral donde se toman decisiones presenta mucha menos actividad. Es decir, el adicto no sólo tiene más deseo, sino también menos autocontrol, y por tanto su responsabilidad es mucho menor. Una vez enganchado, no debe considerarse como una persona sin fuerza de voluntad y que toma decisiones equivocadas, sino como un enfermo que ha perdido su capacidad de decisión y necesita ayuda.

Abstrayéndonos de los casos concretos, lo que esta segunda parte del debate ponía en tela de juicio era la visión más o menos

determinista que tengamos de nuestro cerebro. Es obvio que no hay nada mágico en el funcionamiento de la red de cien mil millones de neuronas que van transmitiendo señales químicas entre ellas, pero ¿implica eso que funciona de manera más automática de lo que pensamos? En el fondo, esta segunda consideración era un debate sobre el *free will* o libre albedrío. Me invento un ejemplo concreto de las reflexiones que están teniendo los que conciben el cerebro humano como un sistema mecánico cuyo funcionamiento algún día podremos comprender y predecir con un alto grado de fiabilidad. Imagina el siguiente escenario del futuro: «Con un análisis genético del paciente, imágenes de su cerebro en fMRI, y evaluación psicológica, concluimos que su predisposición a la pedofilia es del 73 por ciento». Dudas: 1) ¿seremos capaces algún día de dar una cifra así?; 2) ¿podrá esa persona controlar «libremente» esa predisposición?; 3) ¿es menos responsable que otro individuo con una predisposición del 14 por ciento?, y 4) ¿a partir de qué porcentaje alguien decidirá que se deben tomar medidas preventivas?

Tenemos tiempo de pensar bien las tres últimas cuestiones, porque la conclusión final de la sesión a la primera pregunta fue un «De momento, no»; la neurociencia todavía no está tan desarrollada como para irrumpir en los juzgados ni reconsiderar la ley criminal. Sin embargo, entre los ponentes, Joshua Greene se mostró convencidísimo de que ese día llegaría. Su visión mecanicista de nuestra conducta me dejó tan perplejo que le pedí entrevistarnos al cabo de dos semanas en su despacho de Harvard para debatir los

dos planteamientos básicos que tan convencido había defendido: 1) algún día podremos llegar a comprender y predecir perfectamente el funcionamiento del cerebro, y 2) nuestras acciones están determinadas, y tenemos mucho menos control sobre ellas de lo que nos creemos. El asunto es apasionante. El impacto de la neurociencia en la ley criminal es sólo uno de los ejemplos de las cuestiones éticas que están siendo debatidas ante la futura llegada de la neurosociedad. La comprensión científica del funcionamiento interno de las redes neuronales, las técnicas de neuroimagen que posibilitan leer el sustrato de nuestros pensamientos y la posibilidad de manipular cerebros enfermos y sanos con nuevos psicofármacos o neurotecnología fuerzan a un debate amplio sobre las repercusiones éticas, sociales y legales del progreso en nuestro conocimiento sobre los procesos que regulan la mente humana, y cómo debemos aplicarlo. Hablé de todo ello con un Joshua Greene conocedor de las limitaciones de la neurociencia pero también convencido de sus posibilidades. Yo no quería desviarme de los dos puntos básicos que quería tratar.

Ilustré mis dudas sobre la capacidad futura de pronosticar el comportamiento del cerebro de la siguiente manera: «Hace sesenta años los meteorólogos estaban entusiasmados con la llegada de los primeros ordenadores. Ellos sabían que el clima es un sistema físico regido por las leyes de Newton. Creían que conociendo cada vez mejor los parámetros que lo regulaban, encontrando modelos más ajustados y aprovechando el inmenso poder de cálculo de las computadoras, sin duda en el futuro se llegaría a predecir el tiempo

atmosférico con total exactitud. Luego descubrieron la teoría del caos, y que el clima era un sistema tan complejo que nunca se podría llegar a predecir con absoluta fiabilidad. Veo su ilusión de hace sesenta años como una situación análoga a vuestras expectativas actuales sobre la futura comprensión completa y predicción del funcionamiento del cerebro humano».

Greene respondió con un matiz muy interesante: el cerebro humano puede contener caos a nivel neuronal o de las sinapsis, pero a nivel funcional no puede comportarse de manera caótica, debe responder de una manera concreta a determinados estímulos. Si no, no sería efectivo. A diferencia del clima, a un nivel superior el cerebro no es caótico; está organizado y es robusto en su funcionamiento porque evolucionó para realizar unas tareas concretas. Por lo tanto, si asumimos que el comportamiento humano es fruto de un sistema puramente mecánico y con cierto grado de orden, los neurocientíficos albergan más esperanzas que los meteorólogos en poder llegar a predecirlo desde un planteamiento mecanicista.

Glups... juntas de nuevo los labios que en algún momento de la respuesta se habían separado, tragas saliva, y pasas a abordar el asunto del libre albedrío y la capacidad de decisión. «Da igual cómo lo plantees; no puedo creer que yo no sea responsable de mis actos, y no aceptaría como excusa que mi pareja justificara una infidelidad diciendo que su comportamiento está predeterminado, y por tanto no debería ser penalizada». Greene respondió que, obviamente, teníamos mayor capacidad reflexiva que el resto de los animales, y podemos controlar nuestros impulsos gracias a deseos de segundo

orden. Pero hay muchas situaciones en las que nuestra capacidad de decisión se ve atenuada, y si fuéramos capaces de entender todos los aspectos biológicos y ambientales que influyen en nuestro comportamiento, encontraríamos menos grado de libertad de lo imaginado. Una libertad que quizá sea sólo una ilusión del cerebro.

§9. Tu libertad es una ilusión del cerebro

«¡Eh, tú!, ¿por qué hoy has comprado seis yogures en lugar de cuatro?». «Porque he pensado que...». ¡Espera!, ¿has «pensado»? ¿No será este cálculo racional una justificación posterior a tu apetencia inconsciente de comer lácteos tras la pesada cena de ayer? Decidir a conciencia o conciencia tras decidir, ésa es la cuestión.

Imagínate en una cafetería, inmersa en una cautivadora conversación sobre ciencia. Estás absorta escuchando las explicaciones de tu contertulio, y de golpe tu cerebro decide mandar una señal a tu brazo para que se mueva hacia la taza de café, la acerque a tu boca, la incline al tiempo que tus labios conforman un beso, tomas un pequeño sorbo del líquido que contiene, y la vuelves a dejar sobre la mesa.

Entonces tu compañero te pregunta: « ¿Has cogido la taza de manera consciente?». «¿¿Cómo??», respondes atónita. Él insiste: « ¿Habías decidido que ése era el momento exacto en que te apetecía tomar el café?, ¿o ha sido un proceso totalmente automático e irreflexivo?». Tú no tienes ningún reparo en decirle que no, que no eras consciente, que ha sido uno de los centenares de procesos

automáticos que realizamos continuamente sin pensar previamente en ellos. ¡Faltaría más que debiéramos andar pendientes de decidir cuándo respirar, modificar nuestra posición en la silla, o cambiar de marcha mientras conducimos!

«Ok, estoy absolutamente de acuerdo —responde—. Pero ahora olvídate de nuestra conversación anterior, concéntrate sólo en la taza de café, y durante el próximo minuto elige meticulosamente las tres veces que vas a darle un sorbo. Hazlo cuando quieras hacerlo».

Sigues la corriente a tu excéntrico amigo, y pasado el minuto te pregunta: « ¿Has tomado la decisión de manera libre ahora?». Tú contestas un contundente « ¡Claro! ¡Esta vez sí que lo he pensado antes!», y casi te ofendes cuando el muy chalado te replica: «No. La percepción de la voluntad es una ilusión que crea el cerebro con posterioridad a que otros procesos inconscientes hayan mandado la orden de coger la taza de café a tu córtex prefrontal».

Suena extraño, pero un experimento muy parecido hizo en la década de 1980 Benjamin Libet, en lo que representó la primera amenaza testada científicamente al *free will* o libre albedrío. Libet pidió a varios voluntarios que realizaran una serie de acciones con su brazo mientras registraba la actividad eléctrica de diversas áreas de sus cerebros y el momento exacto en que ellos creían estar tomando la decisión. Los resultados indicaron que ciertas zonas del córtex prefrontal relacionadas con la planificación de las acciones motoras se activaban medio segundo antes de que los individuos fueran conscientes de su elección. Inicialmente, los datos de Libet fueron tomados con escepticismo y aparecieron varias críticas al

planteamiento metodológico de su experimento, pero desde entonces y con mejores técnicas han sido replicados en numerosísimas ocasiones. Una de las últimas, en un artículo publicado en 2008 en *Nature Neuroscience*, que explica el descubrimiento de otras áreas del córtex parietal que se activan hasta varios segundos antes de ser conscientes de la decisión que nuestro subconsciente ya ha tomado por nosotros⁴. La abrumadora conclusión es que nuestros actos están muchísimo más predeterminados por mecanismos cerebrales involuntarios de lo que creemos. No tenemos dudas al afirmar que el comportamiento de una hormiga es puramente mecánico, o que una rana hambrienta se mueve sólo por instintos, o incluso que el cerebro de un gato es un órgano que en gran medida gestiona de manera automática e irreflexiva las entradas y salidas de la información. En cambio, nosotros nos suponemos libre albedrío; pensamos que nuestros movimientos no están tan predeterminados, que no somos robots al servicio de un subconsciente que se inventa ilusiones para dejarnos tranquilos creyendo que sí tenemos cierta capacidad de control. No exageremos, quizá menos de lo que nos pensamos, pero algo de libertad de acción sí debemos tener, ¿no?

Puede, pero de momento la neurociencia no lo ha encontrado. En un muy recomendable artículo titulado «Volitional control of movement: the physiology of free will», el investigador Mark Hallett de los Institutos Nacionales de la Salud hace una revisión de todos los estudios y la bibliografía científica acumulada hasta el año 2007,

⁴ Chun Siong Soon, Marcel Brass, Hans-Jochen Heinze y John-Dylan Haynes, «Unconscious determinants of free decisions in the human brain», *Nature Neuroscience* 11 (2008), pp. 543-545.

y concluye que «no hay ninguna evidencia de que el *free will* sea una fuerza en la generación de movimiento⁵. La sensación de libertad existe, pero no es la causa del movimiento, sino una percepción posterior. Los movimientos se generan inconscientemente, y la ilusión de voluntad llega después».

Resulta angustioso. Un resumen de las dos opciones a considerar sería el siguiente:

- La voluntad (*free will*) como fuerza generadora de movimiento: primero tomamos una decisión consciente, ésta activa los mecanismos del cerebro motor, y ellos generan un movimiento.
- La voluntad como percepción: una serie de procesos inconscientes activan los mecanismos del cerebro motor, se genera un movimiento, y a imperceptibles instantes aparece una decisión consciente de haber tomado esa decisión.

En el caso del control del movimiento, la neurociencia está demostrando que la opción b) es la que más se ajusta a la realidad, aunque la mayoría pensemos que debe de tratarse de limitaciones tecnológicas, porque obviamente la a) *tiene que ser la correcta*.

Pero reflexionemos un momento desde una perspectiva más filosófica. La opción a), efectivamente, es la más lógica, pero tiene unas ligeras connotaciones dualistas; parece implicar la existencia de *algo* más allá de la actividad del cerebro que les dijera a las neuronas lo que deben hacer. Hoy en día esta explicación de tinte más espiritual está ya bastante descartada. Entonces, ¿nos toca

⁵ Mark Hallett, M. D., «Volitional control of movement: the physiology of free will», *Clinical Neurophysiology* 118, 6 (2007), pp. 1.179-1.192.

aceptar que nuestras acciones están mucho más programadas de lo que nos pensamos, por todo lo que va acumulándose en el subconsciente de programación genética, experiencias, influencias sociales, aprendizaje, traumas, o estímulos subliminales? La neurociencia parece indicar que sí.

No sólo Mark Hallett aborda científicamente esta cuestión sobre el determinismo en nuestra conducta que hasta hace poco quedaba reservado a los filósofos. En el texto «La neurología de la autoconciencia», V.S. Ramachandran describe *el free will* como otra sensación generada por el cerebro para sobrevivir, como la sensación de unidad entre todas nuestras impresiones y creencias, de continuidad en el tiempo, o de un cuerpo propio que nos contiene. En «The neuroscience of “free wil”» Laurence Tancredi interpreta los últimos estudios científicos como una clara erosión a la dicotomía mente/cerebro⁶. Y en una revisión más conciliadora titulada «The implications of advances in neuroscience for freedom of the will neurotherapeutics», la bioética Hilary Bok reconoce un mayor grado de determinismo en nuestro comportamiento del que pensamos, pero opina que esto no excluye de ninguna manera que sí mantengamos la capacidad de decisión y la responsabilidad sobre nuestras acciones más complejas⁷.

La amiga con quien tomé un café cierto fin de semana tampoco quedó muy convencida de que toda una serie de mecanismos inconscientes fueran los verdaderos responsables de dirigir su brazo

⁶ L. R. Tancredi, «The neuroscience of “free will”», *Behavioral Sciences Law* 25, 2 (2007), pp. 295-308.

⁷ Hilary Bok, «The implications of advances in neuroscience for freedom of the will neurotherapeutics», vol. 4, n.º 3 (2007), pp. 555-559.

hacia la taza, antes incluso de que ella tuviera la sensación de haberlo decidido. Y tampoco pareció gustarle que le dijera, cuando me explicaba los motivos racionales por los que eligió continuar viendo a su último ligue, que se dejara de historias porque su subconsciente ya había decidido que ese chico le gustaba bastante antes de su riguroso análisis de los pros y los contras a plena consciencia. Y malo si no era el caso.

Y es que después de tanto ataque neurocientífico al libre albedrío yo sigo convencido de que sí tenemos libertad para hacer lo que queramos, pero... ¿podemos decidir lo que queremos?

Capítulo II

Lagunas en el comportamiento humano

Contenido:

- § 1. ¿Dónde está mi libreta?*
- § 2. Puertas, cabras, coches y sin sentido común*
- § 3. Contra el Homo economicus*
- § 4. La infelicidad del maximizador*
- § 5. Efectos negativos del pensamiento positivo*
- § 6. Superstición y conspiraciones ante la falta de control*
- § 7. El efecto «lo dijo un» y la amnesia de fuente*

En ocasiones el cerebro peca de arrogante. Él cree saber lo que nos conviene y nos engaña a inconsciencia porque desconfía de nuestras decisiones más meditadas, pero no se da cuenta de que algunas de sus partes más primitivas están atrapadas en una programación genética caducada que no se ha actualizado desde hace centenares de miles de años.

El cerebro es la estructura más compleja del universo; cien mil millones de neuronas interconectadas entre sí codificando percepciones, memorias, razonamientos, emociones, y un sinfín de procesos fisicoquímicos. Un prodigio de la evolución que la selección natural ha ido sofisticando poco a poco con el objetivo de guiarnos lo mejor posible por el mundo. ¡Pero cuidado! A él, mostrarte la realidad de manera fiel le importa bien poco. Lo que pretende es que sobrevivas lo más feliz posible, y si para ello debe engañarte, no

duda en hacerlo. De hecho, detesta la incertidumbre. Si los sentidos no le dan suficiente información, se inventa ilusiones sensoriales con las que mantener un control tranquilizador. Mezcla memorias reales con recuerdos imaginados para que las historias rememoradas sean lo más plausibles posibles. Y va acumulando información de manera inconsciente, que cuando sale a la luz en forma de intuiciones puede generar batallas encarnizadas con tu pensamiento más racional. La duda también es su enemigo natural; él se aferra a la realidad subjetiva que más le convenga y distorsiona todo aquello que contradiga sus asunciones. Y en realidad no soporta a la ciencia; porque le pide esfuerzos demasiado costosos, porque le quita protagonismo a su dueño, y porque algunas investigaciones en psicología empiezan a dejarle en evidencia, airear sus vergüenzas, y poner de manifiesto lo mucho que se equivoca cuando toma simples decisiones de lo más cotidianas.

§1. ¿Dónde está mi libreta?

El martes 20 de noviembre de 2007 sufrí un ataque de pánico durante tres horas. Fue terrible. Abrí mi maletín para coger la libreta en la que tenía anotados todos los apuntes de seminarios, conferencias, clases, ideas, contactos, que había acumulado durante los tres primeros meses de mi beca de periodismo científico en el MIT, y no estaba. Miré encima de la mesa, y tampoco. Entre las fotocopias esparcidas por el sofá, y nada. A ver, Pere, a ver, tranquilo, mantén la calma. No puedes haberla perdido; es como un

tesoro para ti Estaba a punto de terminarse y contenía todas tus anotaciones y reflexiones con las que en escasos cinco días ibas a empezar un blog llamado «Apuntes científicos desde el MIT» en elpais.com Es demasiado valiosa, no puedes haberla perdido, no puedes haberla perdido, ¡no puedes haberla perdido! ¡¡Busca!!! Desesperado, me costó menos de cinco minutos registrar mi diminuto apartamento y convencerme de que la había olvidado en algún lugar el día anterior. Qué horror. A ver, respira hondo, intentemos rebajar el estrés, y repasemos mentalmente: por la mañana del lunes 19 de noviembre visité los estudios de televisión donde se realiza el programa científico *Nova*. Allí me reuní con el productor Joe McMaster y hablamos de su último documental sobre el juicio en la localidad de Dover, cuya escuela pública quería enseñar diseño inteligente dentro de la asignatura de ciencias. Entre otras cosas, Joe me dijo que un tercio de los estadounidenses rechazaban de cuajo la teoría de la evolución. Recuerdo que no me creí del todo este dato, y lo anoté en mi libreta para comprobarlo más tarde. Luego asistí a la presentación del libro *Molecules and Medicine* del Premio Nobel, E. J. Corey. Fue aburrido, pero escribí en la libreta una cita suya sobre la revolución que supuso concebir ciertas enfermedades como desajustes moleculares en lugar de celulares. Después pasé un momento por la biblioteca Cabot de Harvard para estudiar un poco mientras se acercaba la hora de visitar el instituto de genómica más avanzado del mundo, el Broad Institute. Había quedado allí con Jordi Barretina, un posdoctorado español que me guió por las instalaciones de este impresionante

centro mostrándome varios de los proyectos en que allí investigan. ¡Ya está! Recuerdo perfectamente que cuando bajamos al vestíbulo le dije a Jordi: «Ahora nos sentamos tú y yo en estos sillones, y me explicas cómo funciona de verdad este instituto». En ese momento saqué mi libreta y la dejé encima de la mesa. Creo que no escribí nada, pero sí recuerdo que al final cogí la cámara y tomé unas fotos. Estaba claro; me despisté al salir y la libreta se quedó allí, encima de la mesa. Bien. Llamé a Jordi de inmediato para que preguntara en recepción. Con lo civilizados que son en este pueblo, y lo que aprecian los investigadores sus libretas de laboratorio, seguro que alguien la había guardado. Pero cuando a los veinte minutos Jordi devolvió mi llamada diciéndome que nadie sabía nada de mi libreta, me fustigué a mí mismo.

Afligido, cabizbajo, y con una nueva y triste libreta vacía, me fui hasta la Universidad de Harvard, donde habíamos quedado para charlar de física teórica y del gran colisionador de hadrones con Nima Arkani-Hamed. Instintivamente, pasé por la biblioteca donde había estado el día anterior, y sin esperanza alguna pregunté si habían encontrado una libreta amarilla. Casi me pongo a llorar. ¡Allí estaba! De verdad. ¡¡¡Mi libretaaaaa!!! Me sentía eufórico. Tenía una sonrisa de oreja a oreja. Estaba tan alterado que, cuando a los pocos minutos entré en la Facultad de Física y me crucé con Lisa Randall, una de las físicas teóricas más reconocidas que existe, le espeté con total descaro: « ¡Hola, Lisa! Me llamo Pere y me dedico a la comunicación científica. Mi ex jefe te entrevistó para un programa de televisión español llamado *Redes*. ¿Lo recuerdas?». Contestó un

risueño *of course* que todavía no sé cómo interpretar, y le dije que ya pasaría a verla un día, como si nos conociéramos de toda la vida. Estaba todavía embelesado.

Pero luego, explicando la anécdota de la libreta a mis compañeros, me di cuenta de algo extraño. ¿De dónde salió el recuerdo del Broad Institute? Si antes ya había olvidado mi libreta en la biblioteca de Harvard, no podía haberla tenido durante mi encuentro con Jordi. Resultaba obvio que mi cerebro se había inventado descaradamente la imagen de mi brazo sacándola del maletín y dejándola sobre la mesa del vestíbulo del Broad. No podía ser de ninguna otra manera. Pero incluso ahora, cuando rememoro ese momento, tengo pleno convencimiento de que ese recuerdo corresponde a una situación real. No es diferente en absoluto al de la mañana en los estudios de *Nova*. De hecho, incluso parece más intenso.

Qué mentiroso es nuestro cerebro. Comprobadlo vosotros mismos. Intentad reconstruir en detalle cómo ha transcurrido vuestro desayuno esta mañana. Probadlo durante unos segundos. ¿Qué recordáis? Haced la prueba. ¿Seguro que estáis visualizando lo que percibisteis realmente? ¿Vuestra mente dibuja primeros planos, u os observáis a vosotros mismos sentados a la mesa, o caminando por el comedor, como si hubiera una cámara en algún rincón de la estancia? Si esto segundo es lo que veis, no hay duda de que vuestro cerebro se ha sacado esta imagen de la neurona. Se ha inventado esta evocación que os parece tan real. Por lo tanto, ¿hasta qué punto nos podemos fiar de la memoria? Cuando alguien «recuerda» cómo fue un robo, o una agresión, y explica ciertos

detalles vividos bajo una situación de estrés, ¿podemos estar seguros de que sucedieron realmente? Aunque suela costar percibirlos, engaños de la memoria como el que me ocurrió a mí con la libreta —incluso en temas más relevantes— son más habituales de lo que nos imaginamos. De hecho, el catedrático de psicología de Harvard Daniel Schacter presenta en su libro *Los siete pecados de la memoria* las siete maneras diferentes en que nos fallan. El debilitamiento con el tiempo, la distracción, o el bloqueo, son pecados por omisión, mientras que la asignación errónea, la implantación de memorias por sugestión, la alteración que ejerce el presente sobre un evento pasado, o la persistencia de un recuerdo que querríamos olvidar, son pecados por acto. Pero tampoco le echéis del todo la culpa a tu torpe y desaliñado cerebro; la evolución le ha dicho que en ciertas ocasiones es mejor dejarse engañar y tenernos contentos. Si esto pasara sólo con la memoria.

§2. Puertas, cabras, coches y sin sentido común

Utilizar el sentido común para resolver problemas es de sentido común; lástima que nos confunda en tantas ocasiones. Una de las más graciosas es el «Monty Hall Problem», un juego ya antiguo que planteé a los lectores del blog, y desesperó a más de uno.

El «Monty Hall Problem» es la reproducción de un sencillo concurso de la televisión estadounidense llamado *Let's Make a Deal* («Hagamos un trato»), en el que el presentador mostraba tres puertas a los concursantes y les ofrecía escoger una para quedarse con el premio que escondía. Intentemos visualizarlo.

Imagínate que estás en dicho concurso, y Monty Hall te muestra tres puertas cerradas, diciendo que una esconde un coche, y detrás de las otras dos hay una cabra en cada una. Entonces te pide que elijas una, y tú escoges la del medio. Pero justo antes de desvelar su contenido, el presentador abre una de las dos puertas restantes, y te muestra una cabra. A continuación te pregunta: « ¿Quieres modificar tu elección?». Congelemos el tiempo en ese preciso momento. ¿Importa realmente cambiar de puerta o no? La lógica te dice que no; es como si la elección empezara de cero otra vez. La puerta abierta ya no existe. Lo que tienes enfrente son dos puertas, una que esconde un coche y otra una cabra: el 50 por ciento de posibilidades cada una. Da igual una que otra. ¿Correcto? ¡No! Si cambias, tendrás más posibilidades de ganar. «¿¿¿Cómo??? ¿Por qué? Hay dos puertas, no importa cuál me quede.» ¡¡¡¡Noooooooo!!!! ¡¡Tienes que cambiar!! «Pero... si podría haber elegido la otra, cambiar o no cambiar no tiene sentido en estos momentos». Sí lo tiene. Deja que me explique.

Imaginemos que el coche se esconde en la puerta A, y analicemos qué ocurre cuando cambias de puerta, y cuando no cambias:

- No cambias: si inicialmente escoges A, ganas. Si escoges B o C, pierdes. La probabilidad de llevarte el coche es del 33 por ciento. Obvio.
- Cambias: si inicialmente escoges A, pierdes. Si escoges B o C, ganas. La probabilidad de ganar es del 66 por ciento. Absolutamente irrefutable.

Repásalo si quieres. El truco que nos puede pasar desapercibido es que cuando al presentador le toca abrir una puerta para mostrar una cabra, si no has acertado inicialmente sólo tiene una opción, y por tanto te dejará el premio en bandeja. Está afectando a las posibilidades futuras. ¿No es sorprendente? Si yo hubiera participado en el concurso antes de leer esto, mi lógica me habría dicho que no importaba cambiar o no. ¡Incluso hubiera argumentado que era un planteamiento absurdo! Ahora mi cerebro está completamente convencido de lo contrario. Es fantástico.

Pero lo verdaderamente relevante del caso es constatar que, ¡nuestra inclinación natural es a no cambiar! Incluso creyendo que las posibilidades sean idénticas, cuando ya hemos tomado una decisión, nuestra tendencia natural es a reforzarla y quitar valor a lo rechazado. Éste es un efecto que en psicología de toma de decisiones se llama disonancia cognitiva: cuando escoges entre dos opciones, inconscientemente rebajas el valor del objeto desestimado. Es decir; te muestran tres regalos X, Y y Z sobre los que *a priori* no tienes ninguna preferencia. Para ti tienen el mismo valor y te da igual cuál quedarte. Entonces te piden que escojas entre X y Z. Aunque sea al tuntún, el que rechaces perderá un poco de interés. Si eliges X, cuando luego te hagan escoger entre Z o Y, es mucho más probable que te quedes Y, porque Z ya lo habías rehusado antes. Hace más de cincuenta años que los psicólogos tienen en cuenta esta disonancia cognitiva en los estudios sobre la toma de decisiones. Pero, según un trabajo de Keith Chen en Yale, este efecto podría influir mucho menos de lo que se ha estado

considerando, y bastantes de los estudios en psicología deberían rediseñarse porque estaban aquejados de una especie de Monty Hall Problem. Ya sé que esto último te deja indiferente, pero esta revisión de algo tan bien asumido como la disonancia cognitiva es algo que puso en alerta a muchos psicólogos, especialmente aquéllos que trabajan en algo tan de moda como entender qué criterios utiliza nuestro frágil cerebro para tomar decisiones equivocadas.

§3. Contra el *Homo economicus*

Tu compañero ideal para ligar debe parecerse físicamente a ti, pero ser un poquito más feo. De esta manera, según nos explicó durante una charla el experto en *behavioral economics*, «economía conductual», Dan Ariely, las chicas del local te percibirán inconscientemente más atractivo que si fueras acompañado de alguien con un aspecto o estilo totalmente diferente al tuyo.

Cuando todavía investigaba en el MIT, Dan Ariely mostró a sus alumnas las fotografías de dos caras masculinas de características similares, acompañadas de la imagen un poco distorsionada de una de ellas. Cuando pidió a las chicas que escogieran quién les parecía más atractivo, la mayoría prefirieron la versión intacta de la cara que había sido desfigurada. Después repitió el experimento con un nuevo grupo de alumnas y las mismas dos caras iniciales, pero distorsionando el otro rostro. De nuevo consideraron la versión no retocada —que en esta ocasión era la otra— como la persona más apuesta. Ariely concluyó que la clave para ganar unos puntos de

interés no es ir acompañado de una persona menos atractiva que tú; lo más importante es que, además de serlo, se parezca a ti.

Quizá porque sobre gustos no hay nada escrito, Ariely realizó un nuevo experimento preguntando a un grupo amplio de personas si preferían como regalo:

1. tres noches de hotel en París con desayuno incluido;
2. tres noches de hotel en Roma con desayuno incluido, o
3. tres noches de hotel en Roma sin desayuno incluido.

La tercera opción parece del todo irrelevante, pero cuando después la sustituyó por «tres noches de hotel en París sin desayuno incluido», la proporción de gente que se inclinó por la capital francesa aumentó considerablemente respecto al primer caso.

Los alumnos a los que Dan Ariely enseña lo irracionales que somos en la toma de decisiones son estudiantes de economía, y claro, para ellos estos engaños sistemáticos de la percepción no se quedan en una simple curiosidad. Hay mil maneras de explotarlos en técnicas de marketing, desde el menú en un restaurante, la distribución de productos en una tienda, o las suscripciones a unas revistas.

Hace unos años, en el apartado de suscripciones de *The Economist* había las siguientes opciones:

- a. suscripción de un año al economist.com con acceso online a todos los artículos desde 1997: 59 dólares;
- b. suscripción de un año a la versión impresa de *The Economist*, 125 dólares, y

- c. suscripción de un año a la versión impresa de *The Economist* con acceso online a todos los artículos desde 1997: 125 dólares.

¿Absurdo? Cuando se encuestó a un centenar de voluntarios sobre qué opción contratarían, el 16 por ciento escogieron la primera, el 84 por ciento la tercera, y, evidentemente, ninguno la segunda. Pues bien, cuando se quitó esa segunda alternativa y se pidió a cien nuevos voluntarios que eligieran sólo entre la a) y la c), los porcentajes se invirtieron drásticamente: el 62 por ciento optó por la primera y el 32 por ciento por la tercera. Ciertos productos son una especie de trampa para hacer que nos inclinemos hacia otras opciones.

Estos economistas estrategas se llenan de satisfacción al considerar que tienen nuestras decisiones en sus manos. Pero que no vayan de listillos. A pesar de creerse expertos, ellos también se equivocan sistemáticamente en su propio campo de experiencia.

De hecho, Ariely pasó de la psicología a la economía conductual tras una explosión en Israel que quemó el 70 por ciento de su cuerpo. Él explica que lo peor para los afectados por quemaduras es la dolorosa retirada de los vendajes. Cada día durante los seis meses que estuvo en el hospital, las enfermeras pasaban una hora quitándole vendas adheridas a su carne. Lo hacían empezando por los pies y subiendo hacia la cabeza, y con tirones rápidos, porque decían que ésa era la mejor manera de minimizar el dolor. Ariely dudaba de que fuera el mejor método, pero como ellas eran las

expertas, asumía que debían de tener razón. Sin embargo, al salir del hospital empezó a documentarse y vio que, ¡las enfermeras estaban equivocadas! La literatura médica establecía que en realidad era mejor quitar las vendas poco a poco, empezando por una zona más dolorosa como la cabeza y terminando por los pies. ¿Cómo podía ser que unas profesionales con tanta experiencia, y que en teoría eran expertas en esa tarea, estuvieran tan equivocadas? Y lo que más le intrigaba: ¿pasaría lo mismo con otros grupos de profesionales? ¿Se estarían tomando en campos todavía más trascendentales decisiones sistemáticamente erróneas, que el resto asumiríamos como correctas siguiendo el principio de autoridad? En ese momento empezaron las investigaciones de Dan Ariely en *behavioral economics*, demostrando que, lamentablemente, eso ocurría de manera frecuente incluso en los mercados financieros.

No puedo evitar citar aquí una anécdota personal. A principios de 2007 un buen amigo y asesor en un banco organizó mis ahorros: un porcentaje en la cuenta corriente, otro a plazo fijo, y otro en estas acciones de bolsa que yo te recomiendo. «Ok, tú mandas». A los seis meses me dijo: «Mira, tus acciones han ganado X, ahora las vendemos y compramos éstas, que están a 17 euros la acción y se prevé que suban hasta 19». «Ok, tú eres el experto». Seguí su consejo, pero a los dos meses me fijé en que las acciones estaban a 16. «No te preocupes», respondió tajante. Al poco bajaron a 15. «Oye, que yo miro la gráfica esta y va bajando, ¿no deberíamos vender? Las acciones son de un banco, y con todo esto de la burbuja

inmobiliaria, ¿seguro que no?». «No te preocupes, los bancos son inversiones de poco riesgo». Fue pasando el tiempo. Bajaron a 14, 13. « ¡Te lo dije!, ¿no bajarán más?». «Espera que pregunto a los expertos [...] mira, me han dicho que tranquilo, que es un valor seguro y recuperará». En verano de 2008, pocos meses antes del gran estallido de la crisis económica, estaban oscilando entre 10 y 9 euros la acción. Como las enfermeras de Ariely, mi amigo y los «expertos» a quienes consultó estaban equivocados. Todos «sabían» que vender no era la opción correcta, pero «saber» quería decir «hacer caso de lo que dicen los que saben más». Esto (que es lo mismo que yo hice) en economía también se llama efecto cascada de la información, y es uno de los varios factores irracionales que contribuyen a la ineficiencia de los mercados y la aparición de burbujas. No pretendo dárme las de más visionario que los asesores del banco, pero tuve una mala intuición (como Ariely con los vendajes). ¿Por qué ellos no? O si la tuvieron, ¿por qué no hicieron caso de ella? Pues por otra trampa de nuestra mente: cuando tomamos una decisión compleja de manera irrevocable, tendemos luego a ver los aspectos que la refuerzan en lugar de los que la contradicen. Y, además, cuanto más experto eres en un asunto determinado, más te cuesta aceptar algo que contradiga los pilares de tus creencias. *A posteriori* del hecho insólito, como diría Nassim Nicholas Taleb, todo es predecible, y los analistas del banco de mi amigo seguro que saben explicar perfectamente por qué perdí una pasta en la inversión.

Estoy de acuerdo en que a este caso concreto se le pueden encontrar flecos. Pero muchos investigadores en *behavioral finances*, «finanzas conductuales» (lo mismo que *economics* pero a escala de mercados en lugar de individual), están intentando comprender cómo gente tan preparada comete errores sistemáticos de manera tan frecuente, y poniendo de manifiesto el papel que el pánico, los rumores, o las ventas precipitadas juegan en las crisis económicas a gran escala. La expresión «Los mercados se rigen por sentimientos» hace referencia a las decisiones irracionales que a menudo toman los líderes, los inversores o los directivos con acceso a la mejor información objetiva posible.

El problema es que de los cuatro pasos que necesitamos para tomar una decisión (1. percibir la situación; 2. imaginar posibles formas de actuar; 3. calcular cuál es la mejor, y 4. realizar la acción), los economistas clásicos consideran que la tercera —calcular racionalmente— es la más relevante. Sin embargo, los psicólogos que trabajan en economía conductual están demostrando que la primera —la manera en que percibes la situación intuitivamente— tiene un peso descomunal. La idea del *Homo economicus* (somos seres racionales que usamos nuestra coherencia para tomar decisiones que maximicen los beneficios) está cada vez más entredicho. Tanto expertos como neófitos compartimos unos principios irracionales que nos inducen a cometer errores de lo más absurdos. Fiarte de las intuiciones y no de la razón no es malo en absoluto. De hecho, puede ser muy útil en actividades cotidianas, sociales o incluso amorosas. Pero no debemos olvidar que el cerebro

suele engañarnos en la manera como percibe el mundo. Y lo más interesante, esos engaños no son del todo aleatorios. «Somos irracionales predecibles», diría Ariely: hay una serie de maneras de equivocarnos que se repiten continuamente y de manera sistemática. Y en teoría, si somos conscientes de ellas, deberíamos poder evitarlas.

Veamos algunos ejemplos, todos ellos —o casi— fruto de estudios científicos.

El efecto ancla

Si os pregunto: « ¿Cuántos habitantes tiene Nigeria?», y os pido que antes de dar una cifra me respondáis « ¿Más o menos de 400 millones?», diréis: « ¡Menooooos!», pero la cifra final que me daréis será mucho mayor que si os hubiera preguntado « ¿Más o menos de 10 millones?». El 400 os ha «anclado» hacia arriba. Si te hacen escribir las dos últimas cifras de tu DNI en un papel, y luego te preguntan cuál sería la cantidad máxima que pagarías por un buen vino para llevar a una cena, cuanto mayor sea el número que inicialmente hayas escrito más alta será la cantidad que estarás dispuesto a pagar. Puede quedarse en una curiosidad, pero las empresas toman buena nota de estos efectos ancla a la hora de redactar una lista de precios o una carta de vinos. Si has estado en los mercados ambulantes de Pekín preguntando el precio de las impecables imitaciones que venden, habrás visto que cuando te sacan la calculadora para indicarte la cantidad escriben una cifra absurdamente elevada. No esperan que aceptes, claro. A partir de ahí empieza la negociación. Lo que pretenden es anclar tu

inconsciente hacia arriba. Y aunque nos creamos muy listos, funciona. Nuestra vida está llena de negociaciones en las que conocer estratagemas para anclar la mente del otro puede ofrecer una gran ventaja.

Valoraciones desmesuradas

Cuidado si participas en un speed dating, un encuentro donde tendrás la oportunidad de conocer por unos minutos a varios solteros o solteras y ver si surge un interés mutuo. Aquí el cerebro también te puede engañar. Si tras conocer a alguien que te ha gustado te hacen una serie de preguntas sobre él, responderás con gran optimismo incluso a los aspectos de los que no tengas dato alguno. Como ya te has sentido atraída, rellenarás los huecos de información con expectativas bastante elevadas. La conclusión también puede resultarte útil; si algo o alguien ya ha «enamorado», cuanto menos se dé a conocer, casi mejor. De hecho, hay quien piensa que este efecto estuvo detrás del éxito que tuvo Obama en la carrera presidencial estadounidense.

Moralidad subliminal

Si haces un examen a un grupo de estudiantes y luego les das la posibilidad de autocorregirse en un entorno en el que nadie puede descubrir si hacen trampa, en mayor o menor grado la inmensa mayoría falsea algún resultado. Si repites el experimento con un grupo de estudiantes equivalente, pero a la mitad les pides antes que redacten una lista de diez libros, y a la otra los diez mandamientos, el segundo grupo mentirá

muchísimo menos. Plantear un discurso moral antes de solicitarte hacer una tarea determinada puede condicionar tu decisión, incluso inhibir conductas deshonestas.

Económicamente nefastos

El «efecto gratis» es algo que tampoco gestionamos de manera demasiado coherente. Se suele preferir comprar un chocolate muy bueno por 50 céntimos que uno horrible por 5. Pero si te dan a escoger entre pagar 45 céntimos por el bueno, o coger gratis el malo, lo más probable es que elijas el gratuito. Nos hartamos en los bufets porque el precio es fijo, ahorramos 20 céntimos de euro en el súper, pero nos gastamos un dineral en el restaurante. El chip inconsciente no entiende de cantidades ni proporciones.

Repetimos una misma tipología de decisiones ilógicas una y otra vez, sin darnos cuenta y de manera bastante predecible. Esta posibilidad de vaticinar errores sistemáticos irracionales es lo que intentan utilizar consultores y expertos en marketing para manipular nuestra voluntad como consumidores. Por nuestra parte, la clave está en aprender a identificar las lagunas de nuestro cerebro e intentar corregirlas. Aunque a veces pensar mucho y tener amplia libertad donde elegir no sea lo más preferible.

§4. La infelicidad del maximizador

Cuando empecé mi beca de periodismo científico en el MIT me dijeron: «Tienes acceso a todo el MIT y Harvard. Puedes asistir como oyente a

todas las clases que quieras». ¿Es mejor elegir entre muchas opciones o pocas? No está tan claro...

Imagina que es sábado por la tarde y sales de tu casa dispuesto a comprar un jersey azul que no cueste más de 50 euros. Llegas a la primera tienda, revuelves un par de mostradores, y, ¡vaya! ¡Ahí está! Un jersey azul, más o menos como el que habías imaginado, por 47 euros. Te lo pruebas y, bueno, no es la prenda que más te favorece del mundo, pero no está nada mal. Es lo que andabas buscando, y en sólo cinco minutos. ¿Qué haces?, ¿te lo compras? Si lo haces, tu personalidad encaja en la categoría de los *satisfiers*, personas que cuando encuentran algo que ya cumple sus expectativas, dejan de contemplar otras opciones.

En cambio, si tu talante es más inconformista piensas: «De aquí el jersey no se mueve en un par de horas. Ojearé más tiendas a ver si encuentro otro con un azul más bonito, o un poco más barato, o que me siente mejor, y si no lo encuentro, volveré a por él». Si adoptas esta actitud, quizá eres un *maximizer*, alguien que necesita conocer el máximo de alternativas para conseguir siempre «a mejor» posible. Evidentemente, esta clasificación es difusa, y decenas de otros factores influirán dicho sábado en tu decisión de zanjar rápido el asunto del jersey o no. Pero en general. Cuando escucháis la radio en el coche, ¿cambiáis frecuentemente de emisora aunque lo que suene no os esté gustando? A pesar de estar satisfechos en vuestro trabajo, ¿estáis pendientes de que aparezca una oportunidad mejor?, ¿os cuesta elegir regalos para un amigo?,

¿invertís mucho tiempo en el súper comparando etiquetas y precios?, ¿sois muy exigentes con vuestras parejas?, ¿os gustan las listas de *rankings* estilo «las diez mejores películas del año»? Según Barry Schwartz, psicólogo y autor del libro *Por qué menos es más: la tiranía de la abundancia*, las respuestas a tales preguntas pueden indicar en qué grado eres más o menos *satisfier*, o si para tu desgracia formas parte del 10 por ciento de los maximizadores extremos que él ha encontrado en Estados Unidos.

Barry Schwartz ha investigado cómo influye la cantidad de opciones disponibles frente a una elección y ha concluido que: 1) pasarse de exigente genera infelicidad, y 2) tener muchas opciones puede ser peor que disponer de pocas.

Ser maximizador no es algo negativo, mientras sepamos controlarlo. Sin duda, el maximizador terminará encontrando un jersey más bonito, un trabajo mejor valorado, o escogerá el mejor restaurante de la ciudad que visite. ¿Le hará esto más feliz? No siempre. Barry Schwartz ha comprobado que cuantos más esfuerzos (tiempo, coste económico, sacrificios personales) inviertas en una decisión, más exigente te volverás con ella. Y lo peor de todo, más arrepentimiento sentirás en caso de que no cumpla tus expectativas. ¿Qué ocurre cuando le salen bolitas al jersey? Si has dedicado cinco minutos a comprarlo no será ningún trauma desterrarlo al fondo de un armario. Pero si eres un *maximizer* e invertiste toda una tarde eligiéndolo, la decepción por «haberte equivocado» te corroerá por dentro.

La insatisfacción permanente es otra trampa. El querer siempre *un poquito más* puede ser disfrazado de «estímulo para mejorar», pero en el caso del maximizador extremo llega a ser traumático. Los *extreme maximizers* terminarán siendo la líder de la empresa, o el mejor vestido de la fiesta, pero nunca se sentirán satisfechos. Les costará disfrutar de sus logros, y enseguida empezarán a pensar patológicamente en los siguientes retos; en llegar más lejos todavía. De hecho, los estudios de Schwartz han encontrado una correlación directa entre el grado de maximizador y la propensión a la depresión. A todos nos ocurre que la decepción tras una pérdida suele ser más intensa que el bienestar generado por una ganancia equivalente. Pero en los maximizadores la desazón es muchísimo más aguda.

La expresión «Menos es más» del arquitecto Mies van der Rohe encaja perfectamente en el contexto de las investigaciones sobre la toma de decisiones: tener muchas opciones para elegir no siempre es positivo. Una de las claves está en la sensación de pérdida sobre lo que has rechazado. Imagínate que en un concurso ganas un viaje a Mallorca. Perfecto, ¿no? Pues te vas a Mallorca. Y si llegas y llueve, mala suerte, a caballo regalado. Pero imagina ahora que te dan a escoger entre un viaje a Mallorca, un fin de semana en Praga, una visita a Londres, y tres o cuatro opciones más. Si enseguida lo ves claro, no hay problema. Decides convencido y adelante. Pero si empiezas a dudar y a analizar minuciosamente todos los factores, por insignificantes que sean, puedes terminar en Mallorca pensando en lo que te estás perdiendo al rechazar Praga. Si encima eres un

poco *maximizer* y llueve en tu viaje, te echarás las culpas por no haber contemplado los pronósticos meteorológicos para esa época del año. Y lo peor: si después de una elección aparece el indeseable arrepentimiento, olvídate de disfrutar enteramente de la opción que hayas elegido.

Otra consecuencia negativa del incremento de opciones es el efecto bloqueo que producen. Imagínate que acudes a una cita múltiple donde te presentarán varias parejas potenciales. ¿Prefieres poder «elegir» entre ocho, o entre veinte? Vas al banco decidida a contratar un plan de pensiones. Mejor que te propongan bastantes y así encontrar el que mejor se adapte a tus necesidades, ¿verdad? Tienes un comercio, ¿pondrías la mayor cantidad de chocolatinas posibles para que el cliente encuentre seguro una que le agrade? Si tu profesor propone una serie de temas sobre los que hacer una redacción para subir nota, ¿prefieres que la lista de temas sea larga o corta?

Los estudios realizados sobre estos casos concretos demuestran que al final se forman más parejas en las multicitas con menos candidatos; que si en el banco te muestran muchos fondos diferentes tienes más posibilidades de irte sin firmar ninguno; que cuando las tiendas reducían su oferta de *snacks* vendían más; y que cuanto más largo era el listado de temas propuestos por el profesor, menos alumnos se lanzaban a hacer la redacción. Conclusión: incrementar las opciones disponibles puede no generar libertad, sino parálisis. El dogma de maximizar el bienestar a base de maximizar la libertad es erróneo; tener algunas opciones es mejor

que ninguna, pero muchas es peor que algunas. En la mayoría de los casos.

Todos sabemos equivocarnos solos, pero aunque dé un poco de grima también podemos extraer unos consejos para que la sobredimensionada oferta de la sociedad actual no nos cree tanta infelicidad: a) escoger cuándo elegir: cuando una decisión no es crucial, deberíamos esforzarnos en limitar nuestras opciones. No visitar más de cuatro tiendas, por ejemplo, si en el fondo no tienes que lucir el jersey en ningún evento tan glamuroso; b) aprender a aceptar el «ya va bien»: fijar un objetivo y cuando lo consigamos, dejar de pensar en «algo todavía mejor»; c) despreocuparse por lo que te estás perdiendo: todo tiene partes buenas y malas. Cuando eliges, a veces continúas pensando sólo en las partes buenas de lo rechazado y en las malas de lo que te has quedado. Evita esta tortura; d) controla tus expectativas: si empiezas un trabajo o una relación personal convencido de que todo va a ser perfecto y nunca habrá ningún tipo de problema, la llevas clara. Tienes todos los números de padecer un desengaño. Cuando aconsejes a alguien ir al cine a ver una película le haces un flaco favor diciéndole que es maravillosa; le crearás tantas expectativas que al compararlas con la realidad sentirá cierto desencanto.

Y no fastidies ofreciendo planes alternativos si no estás segura de que son excelentes. Imagínate que te estás acicalando para ir a una fiesta y te llama una amiga proponiéndote acudir a otra. Dudas... y al final decides aceptar el segundo plan. A no ser que te lo pases en grande, recordar la fiesta desestimada quizá te creará incertidumbre

e impedirá que disfrutes al máximo de la velada. Pero, además, otro efecto contraproducente es que para convencerte de haber escogido la opción correcta, durante el proceso de elección has aumentado inconscientemente las expectativas de la noche que te espera, incrementando así también las posibilidades de salir defraudada al contrastarlas con la realidad. La paradoja es que aunque hayas ido a una fiesta un poco mejor, te has sentido un poco peor.

Viví en primera persona algunas de estas situaciones durante mis dos primeros meses en Cambridge. La selección de asignaturas y actividades que planeaba realizar fue un verdadero estrés. No había manera de reducir el listado a cuatro o cinco clases, y dejar de intentar apretar la agenda para que todo cupiera. Cada vez que debía rechazar una actividad, notaba una sensación de pérdida. Era un lujo vivir esa experiencia, pero me sentía extremadamente celoso de mi tiempo y exigente con las clases, seminarios, o entrevistas. Constantemente tenía en mente todo lo que no hacía mientras asistía a una charla menos buena de lo que me había imaginado. Un día recordé el artículo de Schwartz que había leído tiempo atrás. Lo volví a ojear y, consciente de mi ligera tendencia maximizadora, modifiqué mi actitud. Igualmente cambié algunas asignaturas que no me convencían, pero, auto engañado o no, disfruté de las nuevas mucho más.

La casualidad hizo que meses después, en septiembre de 2008, coincidiera con Barry Schwartz en una mesa redonda en Washington D. C. organizada por los Institutos Nacionales de la Salud (NIH) para debatir aspectos de comunicación en salud.

Después de nuestras intervenciones, tuve la oportunidad de explicarle mi período *maximizer* en el MIT y preguntarle por el estado de sus estudios.

Fue de lo más interesante comprobar cómo la insatisfacción constante está relacionada con el nivel de educación y la clase social. En un experimento reclutaron voluntarios, les mostraron cinco bolígrafos diferentes a cada uno, y les dijeron que podían quedarse con el que quisieran. Una vez elegido, a la mitad de ellos les dijeron «Lo siento, es el último que nos queda de este tipo. Toma este otro». A continuación debían rellenar una lista de preguntas referentes al bolígrafo. Entre los participantes con estudios universitarios, los que habían sido obligados a cambiar de boli lo valoraron significativamente peor que aquéllos que mantuvieron el bolígrafo escogido. En cambio, entre los de nivel educativo inferior no se apreciaron diferencias. En otro estudio solicitaron clasificar diez CD musicales por orden de preferencia. Luego se dio a escoger como regalo uno que estuviera en el rango medio, y se pidió que volvieran a hacer la lista. Los universitarios solían clasificar entonces el CD elegido en mejor posición, mientras que los no universitarios lo dejaban igual. Otras encuestas concluyeron que los trabajadores de posiciones altas se molestaban cuando un vecino compraba un coche como el suyo porque les quitaba la exclusividad de su elección, mientras que en clases más bajas les parecía perfecto porque confirmaba que su elección era la correcta. Schwartz concluyó: «La sociedad estadounidense ha dado a las élites lo que

pedían, junto con un incremento del estrés, la ansiedad y la insatisfacción».

No deja de ser curioso que desde siempre la falta de control sobre la propia vida se haya asociado a la infelicidad y ahora, en el extremo contrario, la explosión de posibilidades a que estamos expuestos también resulte ser motivo de descontento. Quizá cuando una causa externa nos cierre alguna opción, en lugar de quejarnos deberíamos agradecerlo, y no tomarlo como una restricción, sino como una liberación frente a la tiranía de la toma de decisiones.



Y paradoja: llego a mi casa convencido de que tener un número ajustado de opciones es mejor, abro el ordenador, recibo un *mail* del fotógrafo que cubría el evento de los NIH a quien le había pedido un par de fotos para ilustrar el blog, y mi reacción inmediata es: «¡xxjfh! ¡Me ha enviado sólo una! Podría haberme ofrecido unas cuantas más para poder escoger alguna en la que Barry Schwartz no pareciera dormido ni yo tuviera cara de empanado».

§5. Efectos negativos del pensamiento positivo

Visualizad un saltador de altura en un estadio abarrotado de público instantes antes de intentar superar su mejor marca personal. Escuchad las palabras que se repiten dentro de su mente: «¡Venga!, ¡venga!, ¡yo puedo hacerlo!», « ¡Soy el mejor!», « ¡Estoy preparado! ¡Éste es mi momento!». Quién sabe cómo, pero estos mensajes harán que sus músculos y su coordinación respondan mejor que si piensa: « ¡Uff! Qué alto está estooooo...», o «A ver, sé racional, si nunca has superado esta altura, ¿qué te hace pensar que vas a hacerlo ahora? Tú tranquilo, inténtalo, pero mejor no te hagas muchas ilusiones». Si fueras su entrenador, sin duda le gritarías mensajes positivos del primer estilo.

Ahora imaginemos un adolescente cuyo sueño es ser futbolista profesional y está dispuesto a entrenar lo que haga falta, e incluso sacrificar sus estudios si es necesario. Pero resulta que es un poco patata. ¿Le animaríais diciéndole que es el mejor, que querer es poder, y que algún día ganará un mundial con la selección española? Es obvio que no le pondríais el listón tan alto.

Pongamos un ejemplo intermedio, y que puede ser extrapolado a nuestras ambiciones profesionales, la búsqueda de pareja, conseguir un mejor aspecto físico, o cualquiera de los retos a los que nos enfrentamos en nuestra vida cotidiana: vuestro hijo va a jugar un partido de tenis contra un rival que es mucho mejor que él. Sus posibilidades de ganar son mínimas, pero sin duda existen. ¿Qué le decís? ¿Hacéis caso de los psicólogos defensores del «poder del pensamiento positivo», y le espoleáis diciéndole que puede

ganar, que él es tan bueno como su contrincante, que va a conseguirlo, o cualquier otro mensaje positivo que aumente su estado de ánimo? En serio, ¿qué haríais? ¿Pensáis que ésta es la mejor estrategia para mejorar su confianza?

Según una investigación reciente de científicos canadienses, depende. ¿Y de qué depende?, ¿del color con que se mire? ¡No! Del nivel de autoestima de vuestro hijo. A las personas con autoestima alta el pensamiento positivo les refuerza y, efectivamente, sí provoca un efecto favorable. Pero en las que tienen baja autoestima, ocurre lo contrario de lo que aseguran la mayoría de los libros de autoayuda: el pensamiento positivo puede hacer más mal que bien.

El experimento que sustenta esta hipótesis fue publicado por unos investigadores canadienses bajo el título: «Positive self-statements: power for some, peril for others»⁸. Los psicólogos autores del estudio tomaron un amplio grupo de voluntarios y les pasaron un test llamado Rosenberg, que se utiliza de manera estándar para medir el grado de autoestima de cada individuo. De todos los voluntarios, seleccionaron para el estudio a los que puntuaron dentro del tercio más alto de la escala de autoestima, y a los que estaban en el tercio más bajo. Quedaron 68 personas, entre hombres y mujeres, con autoestima muy alta, o muy baja. A continuación les pidieron que estuvieran varios minutos escribiendo en un papel las reflexiones y sentimientos que se les pasaran por la cabeza. A la mitad de todos ellos —tanto los de autoestima alta como baja— les solicitaron que, cada vez que oyeran una campanilla, se concentraran y repitieran

⁸ Joanne V. Wood, W. Q. Elaine Perunovic y John W. Lee, «Positive self-statements: power for some, peril for others», *Psychological Science*, vol. 20, n.º 7 (2009), pp. 860-866.

para sí mismos con convicción: «Soy una persona encantadora». Una vez terminada esta parte del experimento, y con el objetivo de medir su estado de ánimo, a todos les hicieron una serie de preguntas del tipo «valora de 1 a 35 cuál es la posibilidad de que alguien de treinta años tenga una relación romántica feliz».

Los resultados dan que pensar: dentro del grupo con autoestima alta, aquéllos que habían repetido varias veces el mensaje positivo «Soy una persona encantadora» puntuaron de media 31, por 25 los que no habían repetido la frase. Su estado de ánimo mejoró. Sin embargo, en las personas con autoestima baja, los que se veían forzados a auto animarse puntuaron 10 en el indicador de estado de ánimo, por 17 los que no tuvieron que repetir algo que en el fondo no pensaban. La frase tuvo un efecto negativo.

La conclusión general es que el pensamiento positivo no tiene por qué resultar positivo para todo el mundo. Si bien a algunos les ayuda, a otros puede crearles cierto tipo de conflicto, de sensación de autoengaño, de resistencia, de comparación odiosa con un ideal que saben que no pueden alcanzar, y reforzar la percepción negativa sobre uno mismo.

Es decir, si tu hijo sabe bien que su rival es muchísimo mejor tenista que él, decirle « ¡Ánimo, que vas a ganar! ¡Tú eres más bueno que él!», en algunos casos puede motivarle, pero en otros ser contraproducente. Es mejor dejarle jugar tranquilo y sin presión.

Y lo mismo ocurre en muchos aspectos de nuestras vidas. Las librerías —especialmente en Estados Unidos— están repletas de libros de autoayuda que pretenden instaurar un pensamiento

positivo en tu mente para hacerte creer lo que no eres. Si tu personalidad es la de un *winner*, «ganador», emprendedor, seguro de ti mismo, convencido de que *the sky is the limit*, «en el cielo está el límite», y ansioso de conseguir la felicidad siendo el *number one*, «número uno», o ganando millones de dólares al año, de acuerdo, en tal caso cómprate uno de esos libros que te ayudarán a sacar lo mejor de ti y llegar un poquito más lejos. Pero debes conocerte bien a ti mismo, porque si tu autoestima está por los suelos por el motivo que sea, el típico libro de autoayuda diciéndote lo maravilloso que en realidad eres, las metas profesionales que puedes conseguir, cómo ser más exitoso a la hora de ligar, o que de ti depende tener la silueta de tal actriz fabulosa, ten cuidado porque quizá te perjudique.

§6. Superstición y conspiraciones ante la falta de control

Observad detenidamente estas dos imágenes. ¿Veis alguna figura oculta en ellas? En la de la derecha seguro que sí, pero ¿y en la izquierda? Buscad unos segundos.



Otra pregunta: ¿qué tal estáis hoy?, ¿tranquilos?, ¿todo controlado? ¿O tenéis esa sensación de que *algo* se os escapa? Quizá no lográis

sacaros el trabajo de encima, o estáis preocupados por el comportamiento desconcertante de vuestro hijo, o andáis metidos en algún lío ajeno a vuestra responsabilidad, u os notáis decaídos o enfermizos y no sabéis por qué. ¿Hay algo que os desasosiega sin que podáis hacer nada al respecto?

No pretendo despistaros. En la foto de la izquierda no hay ninguna imagen escondida, pero según un estudio realizado en la Universidad de Texas⁹, si estás viviendo una situación angustiosa que se escapa a tu control tienes más posibilidades de encontrar patrones ocultos en ella.

Los investigadores comprobaron que cuando la incertidumbre y la falta de control nos inquietan, inconscientemente buscamos restablecer cierto orden a nuestro alrededor y estamos más predispuestos a relacionar hechos inconexos, imaginar conspiraciones en nuestro entorno laboral, encontrar siluetas en imágenes borrosas, o dejarnos llevar por rituales y supersticiones.

Que las necesidades influyen en nuestra percepción es obvio y estaba demostrado empíricamente desde hace tiempo: los niños de clases pobres sobreestiman el tamaño de las monedas comparados con los adinerados, y si estás hambriento verás más fácilmente comida en fotografías ambiguas. También se sabía que las conductas supersticiosas y engaños de la percepción aumentan en un entorno concreto cuando desearías tener más dominio sobre él: los paracaidistas distinguen más formas en las nubes antes del salto que cuando miran al cielo desde tierra firme, los estudiantes

⁹ Jennifer A. Whitson y Adami D. Galinsky, «Lacking control incrases illusory pattern perception», *Science*, vol. 322, n.º 5.898 (2008), pp. 115-117.

de primer año de un MBA idean más teorías conspirativas que los de segundo año, las tribus indígenas que pescan en condiciones más peligrosas siguen más rituales, y está bien documentado que en tiempos de crisis económicas las supersticiones aumentan y los inversores suelen ver más patrones en los gráficos de evolución de la bolsa.

Sin embargo, la investigación de Jennifer Whitson y Adam Galinsky ha demostrado que esta «búsqueda de una relación coherente y con significado entre una serie de estímulos azarosos e inconexos para restablecer la sensación de control» va más allá de los hechos claramente relacionados entre sí. Así pues, nuestra tendencia a percibir mecanismos misteriosos actuando en secreto aumenta de manera general.

En un primer experimento, los científicos tomaron un grupo de voluntarios e indujeron una situación de incertidumbre y pérdida de control a la mitad de ellos. Luego mostraron a todos 24 imágenes como las anteriores. En 12 de ellas no había ninguna figura camuflada, pero los individuos con un control mermado distinguieron más formas ocultas que el resto de los participantes.

En otro experimento, a la mitad les hicieron rememorar experiencias personales en las que hubieran sufrido un descontrol absoluto (un accidente causado por otros, o la enfermedad de un familiar), y a la otra mitad situaciones relajadas en las que todo estaba bajo control. A continuación les presentaron escenarios con eventos aparentemente independientes (como tocar madera antes de que se aprobara una decisión durante una reunión). El primer grupo tuvo

mayor tendencia a asociar ambos hechos, indicando que sólo el revivir experiencias de falta de control ya inducía a una conducta supersticiosa. Creer que unos calcetines determinados te procuran buena suerte es una superstición inofensiva, pero esta asociación de hechos inconexos también desemboca en el incremento de los temores en entornos inocuos, o la aparición de siniestras teorías conspirativas, como por ejemplo imaginar artimañas ocultas entre compañeros de trabajo que desembocaron en la promoción o exclusión de uno de ellos.

Los investigadores hicieron cuatro experimentos más, confirmando que sentir pérdida de control induce a la búsqueda de explicaciones y a la percepción de patrones imaginarios con los que reducir nuestra sensación de incertidumbre y poder volver a un estado predecible sobre el que tengamos cierto dominio.

«Superstición» es una palabra con claras connotaciones negativas; algo a desterrar y ser sustituido por explicaciones más racionales a los hechos. Si resulta tan difícil conseguirlo es porque en el fondo tiene un interesante valor adaptativo. Durante una situación de falta de control la toma de decisiones no es óptima, pero si logramos reducir la ansiedad imaginando vínculos inexistentes en nuestro entorno, quizá entonces ganemos confianza y podamos actuar de manera más cabal. Por lo tanto, si habéis observado una imagen en la fotografía de la izquierda, podéis continuar realizando vuestro ritual favorito para tranquilizaros, pero al mismo tiempo sed conscientes de que la elucubración sobre el complot que está tramando ese colega del que no os fiáis tiene bastantes

posibilidades de ser un mecanismo de defensa imaginario, un efecto secundario de algo que os preocupa y quizá ni siquiera guarde relación directa con ello.

O si empezáis a percibir detalles desconcertantes en vuestras parejas que antes os pasaban desapercibidos, bien puede ser que meses atrás anduvierais cegados a las evidencias, pero también que vuestro estado de inquietud os haga inventar paranoicas conspiraciones o supuestos cambios de personalidad donde no los hay. Calmaos antes de tomar una decisión, no sea que os precipitéis.

§7. El efecto «lo dijo un» y la amnesia de fuente

En el año 2008 participé en un curso de verano sobre comunicación científica en la Universidad Rovira i Virgili de Tarragona, y durante el debate posterior a mi charla, una profesora de secundaria me preguntó si yo creía que el hombre había llegado realmente a la Luna. « ¡Mujer!, claro que sí... ¿tú no?», respondí consternado al saber su profesión. «Sí, sí... Bueno no sé, como había oído que.», continuó ella mostrando cierta inseguridad. El debate se abrió entre los asistentes, y enseguida alguien mencionó la teoría de la conspiración, según la cual el alunizaje que tantos millones de personas siguieron por sus televisores el 21 de julio de 1969 había sido en realidad un montaje cinematográfico dirigido por Kubrick. Esta interminable controversia empezó hace ya muchos años, cuando un grupo de *loquesea* se dedicó a analizar las fotografías y grabaciones aportadas por la NASA, y a asegurar que ni Armstrong

ni Aldrin habían pisado realmente la Luna. Sus argumentos eran aparentes sombras extrañas en los vídeos, movimientos sin sentido de la bandera, sorprendente buen estado del material fotográfico a pesar de las radiaciones, y otras «evidencias» que han sido refutadas con creces en numerosas ocasiones. No hay ningún experto respetable que defienda tal disparate. Sin embargo, la duda está arraigada en la mentalidad popular.

No doy más detalles sobre esta teoría conspirativa, porque si lo hago, al cabo del tiempo quizá sufriréis «amnesia de fuente», y acabaréis citando como ciertas algunas frases que yo habré escrito para negarlas.

El término «amnesia de fuente» se refiere a cómo el cerebro guarda, reprocesa y modifica los recuerdos con el tiempo, y cómo algunos grupos de intereses lo utilizan como estrategia para difundir falsas creencias. Por ejemplo: pocos meses antes de las elecciones estadounidenses, el 10 por ciento de los estadounidenses creían que Obama era musulmán. También «lo habían oído» en algún sitio. Ni los responsables de difundir el bulo sabían quién había sido el primero en generar la falsa noticia. Pero eso era lo de menos. Lo relevante era crear incertidumbre. No es un asunto fácil de contrarrestar. ¿Cuál dirías que fue la estrategia de los directores de la campaña de Obama?, ¿esforzarse en desmentir que era musulmán? De ninguna manera. Dicha palabra estaba terminantemente prohibida. La respuesta fue fomentar su cristianismo. Lo que querían evitar a toda costa los asesores de Obama era lo que podría pasar después de leer un texto como éste.

Quizá uno de vosotros se encuentre en algún sarao, salga el tema, tenga amnesia de fuente, y termine diciendo: «Pues yo he oído no sé dónde que Obama es musulmán». ¿Por qué vuestra mente os haría tal jugarreta? Porque resulta un mensaje mucho más contagioso que «He oído que en Estados Unidos algunos dicen que Obama es musulmán, pero en realidad no lo es». Conclusión: esforzarse en negar una mentira puede ser contraproducente.

Los cotilleos y las creencias populares sobre todo, pero también las informaciones científicas que llegan al gran público se ven a menudo afectadas por la amnesia de fuente, que suele estar relacionada con el peligroso efecto «lo dijo un».

A mediados del siglo XX existía una controversia que ahora nos parecería absurda: ¿es el tabaco realmente perjudicial para la salud? Cuando a principios de la década de 1950 aparecieron los primeros estudios epidemiológicos que demostraban la relación entre el tabaco y el cáncer, la reacción de la industria tabacalera fue desacreditarlos. Durante un tiempo negaron que fumar provocara cáncer, e incluso «ficharon» científicos de renombre que lanzaban mensajes contradictorios a la opinión pública para crear incertidumbre. Es el truco del efecto «lo dijo un.». Si en los puntos suspensivos pones la palabra médico, científico, o físico, inmediatamente se le presupone objetividad y la información gana en veracidad. Resulta curioso. A veces se olvida que los científicos también son personas y pueden equivocarse, o mentir por intereses. Parece un chiste que al final las tabacaleras cambiaran radicalmente su estrategia y terminaran financiando investigaciones

científicas para curar el cáncer. Lo que ellos querían evitar a toda costa era la prevención.

Otro caso famoso del efecto «lo dijo un.» fue el revuelo de las década de 1980 y 1990 sobre si el sida era causado por un virus o por los mismos fármacos que administraban los médicos. Varios científicos disidentes, entre ellos un Premio Nobel de Química llamado Kary Mullis, se enzarzaron en una cruzada para defender que el VIH era totalmente inocuo, y de ninguna manera causaba la enfermedad del sida. Claro, cuando en un medio de comunicación se dice que quien defiende esta teoría conspirativa es un Premio Nobel, gana credibilidad y empieza a extenderse. Ya puedes luego explicar que Kary Mullis es un científico un tanto peculiar, que defiende la astrología, no cree que los CFC afecten a la capa de ozono, ni que la quema de combustibles fósiles tenga relación alguna con el cambio climático. La incertidumbre ya se ha difundido, lista para encontrar detractores y defensores con ganas de polemizar y agrandarla.

A este respecto, el cambio climático es uno de los asuntos más delicados. Resulta evidente que todavía quedan muchos cabos sueltos para entender todos los factores que influyen en el calentamiento global, pero en Estados Unidos hay grupos de «científicos», o «profesores de la Universidad de X» que niegan radicalmente su existencia, o que la actividad humana tenga alguna trascendencia, o simplemente propugnan que no hay motivos de preocupación. Se llaman los *deniers* o «negacionistas». La mayoría de ellos no gozan de prestigio académico, pero hacen ruido y siembran dudas en la opinión pública. Y las dudas generan parálisis. Es

suficiente para algunos. Hay más ejemplos, pero, de nuevo, no quiero citarlos para no tentar a la amnesia de fuente. Hay demasiada ciencia buena o inocua como para dar cancha a la nociva.

Y en el extremo de la nociva, fuera ya de los dominios del mundo científico de la experimentación objetiva, nos encontramos con pseudociencias como la astrología, fenómenos paranormales... y muchos otros timos. Varias veces me han preguntado por qué no utilizaba el blog para desmentir científicamente mitos fraudulentos y peligrosos. Una razón es que no me interesan en absoluto, y su sinsentido e irracionalidad logra quitarme el buen humor. De nuevo, hay tanta ciencia excelente por explicar que me da pereza fijarme en lo que no lo es. Pero otra razón más profunda es que pensando en el término amnesia de fuente, falsear las pseudociencias puede tener un efecto contraproducente. Al citar algunas de las barbaridades que aparecen en medios de poco prestigio, aunque sea para contradecirlas, quizá acaban fomentándose entre aquéllos que ni siquiera sabían de su existencia. Es delicado, porque como bien dijo un lector del blog, además del efecto «lo dijo un» también existe el efecto «quien calla otorga». Pero sabiendo lo frágil que es nuestro cerebro, quizá en la lucha contra las pseudociencias, la superstición o las teorías conspirativas sea más efectivo emular a los directores de la campaña de Obama y no esforzarse en rebatirlas, sino en intentar comprender su origen y boicotearlas cuando merezca la pena.

Capítulo III

Fascinados por el universo

Contenido:

§ 1. El tamaño del universo

§ 2. La mujer galáctica y su descubrimiento de la materia oscura

§ 3. Exoplanetas: la búsqueda de vida extraterrestre

§ 4. Qué diantre es la antimateria

§ 5. El tamaño de una supernova

§ 6. ¿Para qué viajar a Marte? El previsible atasco de la carrera espacial

§ 7. Qué diantre es un entrelazamiento cuántico

§ 8. Supercuerdas, agujeros negros, gravedad cuántica y el misterio de las dimensiones ocultas

Es de noche, el cielo está despejado, y te encuentras en un lugar recóndito sin la más mínima luz a tu alrededor. Levantas la cabeza y te quedas abrumado contemplando un pequeñísimo fragmento de la inmensidad del universo. El espectáculo estelar es precioso, una estampa maravillosa. Pero a los pocos minutos empieza a resultarte uniforme y más bien estático. Todas las estrellas te parecen iguales, y no se distingue demasiada actividad en el firmamento. Estás a punto de aburrirte. Entonces, justo antes de bajar la mirada, en tu mente aparecen palabras como supernovas, cúmulos de galaxias, agujeros negros, quásares, materia oscura, cometas, rayos gamma, big bang, púlsares, meteoritos, universos paralelos, nebulosas... y te das cuenta de que sólo fijándote en una región tan insignificante del

cosmos como nuestro sistema solar puedes encontrar una diversidad abrumadora: Mercurio es una pequeña bola rocosa de metales y silicatos a temperaturas elevadísimas, mientras que Neptuno es un gigante gaseoso con fuertes vientos a menos de 200 grados bajo cero. Saturno está rodeado por un sistema de anillos que esconde satélites como Titán, en el que llueve metano. Venus posee una densa atmósfera de dióxido de carbono con nubes de ácido sulfúrico y un efecto invernadero que eleva su temperatura a 460 grados centígrados. Júpiter es un coloso de hidrógeno y helio que pesa el doble que todos los demás planetas juntos. El óxido de hierro de la superficie de Marte le da un color rojizo, mientras que el tono de Urano es azul verdoso debido a los gases que contiene su atmósfera. Y luego existe un planeta llamado Tierra, con agua líquida y una teóricamente inestable atmósfera con oxígeno, que alberga seres vivos preguntándose qué otras sorpresas pueden desvelarnos las lentes de la ciencia sobre este universo cuya apariencia es tan engañosamente homogénea. Lo que esconde el cosmos cuando alzas tu mirada al cielo nocturno es cualquier cosa, menos aburrido. Y sólo hay una manera de descubrirlo: iluminándolo con la ciencia.

§1. El tamaño del universo

Uno de los momentos más gratificantes intelectualmente es el *Aha! moment* o «momento eureka». De repente descubres una idea nueva que ni siquiera habías contemplado, y clarifica algo que en el fondo no comprendías, o que simplemente desconocías por completo.

Quizá mi momento eureka más abrupto fue darme cuenta de que el universo era muchísimo mayor de lo que me había imaginado.

La visión que yo tenía acerca del tamaño del universo observable era así de simplista: si lleva 13.700 millones de años expandiéndose, y nada puede superar la velocidad de la luz, entonces el diámetro del universo será —más o menos— unos 27.400 millones de años luz. Nunca le había dado muchas vueltas, pero me parecía una aproximación bastante lógica, y me sonaba haberla leído en alguna ocasión.

Este planteamiento se tambaleó una mañana de diciembre de 2007 cuando paseando por el MIT me crucé con mi compañero Ivan Semeniuk. Ivan regresaba de una clase con Alan Guth, el cosmólogo que en 1980 presentó la teoría del universo inflacionario, según la cual 10^{-35} segundos después del *big bang*, y habiendo tenido ya tiempo de superar la época de Planck y la de la gran unificación, el universo primigenio empezó a expandirse exponencialmente impulsado por una misteriosa energía del vacío. Ivan y yo nos ensimismamos en divagaciones sobre la frenética expansión del cosmos y, de repente, descubrí que mi lógica simplista sobre el tamaño del universo estaba equivocada por completo. La realidad desafía constantemente a eso tan pernicioso que llamamos «sentido común».

Mi grave error era visualizar el *big bang* como una explosión convencional, como si las galaxias fueran fuegos artificiales que se alejaban unas de las otras fruto sólo de la fuerza de ese descomunal estallido inicial. De hecho, hasta bien entrada la década de 1990, la

mayoría de los astrofísicos tenían esta visión «clásica» del *big bang*, en la que a medida que pasaba el tiempo la expansión se iba frenando debido a la fuerza de atracción que ejercía entre sí la propia materia interna del universo. La gran duda hace poco más de una década era si la densidad del universo sería lo suficientemente grande como para detener del todo su expansión y hacerlo retroceder hasta un *big crunch* o gran implosión, o si se llegaría a un punto en el que las galaxias estarían tan alejadas entre ellas que perderían cualquier interacción, y el universo continuaría expandiéndose por siempre a una velocidad constante. La clave parecía ser averiguar cuánta materia contenía el universo, y el ritmo al que la expansión se desaceleraba. Eso era lo que buscaban ansiosos varios grupos de astrónomos para desentrañar el destino final de nuestro pedacito de cosmos.

Pero en 1998 se obtuvo uno de los resultados más inesperados en la historia de la ciencia. Analizando la luz procedente de supernovas, unos investigadores observaron que el universo no sólo no se estaba frenando, sino que se expandía, ¡cada vez más rápido! ¿¿¿Cómo??? Nadie esperaba este resultado tan antiintuitivo. Alguna fuerza misteriosa estaba acelerando su expansión, y le había robado a la gravedad su responsabilidad sobre el destino final del universo.

Esa fuerza misteriosa es lo que los cosmólogos llaman energía oscura, y les tiene absolutamente desconcertados. Su existencia se ha corroborado de manera independiente con posteriores observaciones de supernovas, análisis de la radiación de fondo de microondas, lentes gravitacionales, y otras herramientas para

estudiar el cosmos. Todas por separado han sido capaces de medir sus efectos, y están de acuerdo en que esa energía oscura que se expande de manera homogénea por el espacio y no interactúa con ninguna otra fuerza a excepción de la gravedad constituye nada más y nada menos que el 74 por ciento de todo el universo. Pero nadie tiene ni la más remota idea de qué es. En una conferencia a la que asistí en Harvard, el astrofísico Christopher Stubbs la tildó como «el misterio más profundo de la física moderna»; y una de las cosmólogas más reconocidas de la actualidad, la brillante Lisa Randall, reconoció que ni siquiera disponían de un modelo sólido con el que intentar investigarla. De hecho, lo más grave de todo no es desconocer de qué están formadas tres cuartas partes del universo. Lo peor es que dicha energía oscura, que está alejando las galaxias entre sí a un ritmo cada vez más rápido, podría implicar la existencia de algún error fundamental en nuestro modelo cosmológico actual; requiere una ciencia nueva que los científicos todavía no comprenden. Stubbs dijo estar buscando algo que no encaja en el modelo estándar que describe la naturaleza de todo lo que nos rodea, y augura que cuando lo encuentren asistiremos a una de las más grandes revoluciones en el mundo de la física.

Pero ¿qué tiene que ver esto con el tamaño del universo? ¡Todo!, ya que confirma la idea más aberrante que os podáis imaginar: las galaxias no sólo se alejan unas de las otras debido al efecto del *big bang*. El propio espacio entre ellas también se ensancha, se expande, alejándolas todavía más.

Cuando pensáis en la acción de la energía oscura quizá os estéis imaginando algo parecido a una gravedad negativa, que separa en lugar de unir. No, no es eso, es algo mucho más inverosímil; el mismísimo espacio se está inflando por dentro. La consecuencia de esto es que cualquier intento de saber el tamaño real del universo debe ser considerado como una aproximación que sin duda será revisada a medida que aparezcan más datos. En el momento de escribir estas líneas, las cifras más consensuadas proponían que el universo observable debería tener como mínimo 156.000 millones de años luz. La paradoja es obvia: los fotones más antiguos que existen empezaron su viaje por el universo hace 13.700 millones de años, pero debido a la expansión interna del espacio el punto del que partieron se encuentra ahora a 78.000 millones de años luz de distancia. Reconozco que a mí esto me deja boquiabierto. Sólo el imaginarlo ya me resulta fascinante, me cuesta creer que el enigma de la energía oscura pueda dejar indiferente a alguien, y espero el día en que la ciencia logre dar una respuesta al que ahora es uno de sus principales enigmas. Y es que, como dijo J.B. Haldane: «El universo no es más extraño de lo que suponemos, sino más de lo que podemos llegar a suponer».

§2. La mujer galáctica y su descubrimiento de la materia oscura

Cuando Vera Rubín empezó a medir el movimiento de las galaxias tenía que pedir hora en los telescopios en nombre de su marido porque a las mujeres no se les permitía ejercer una actividad tan masculina... A sus ochenta años dice que ahora el ritmo de su

investigación es un poco más lento, pero continúa irradiando entusiasmo frente a la posibilidad de observar y comprender el universo.

A mediados del siglo XIX los astrónomos estaban un poco mosqueados con Urano. Era el último planeta que conocían del sistema solar, y su órbita no seguía al pie de la letra todo lo que sus cálculos teóricos predecían; en ocasiones se movía de forma ligeramente extraña. Entonces pensaron: ¿podría ser que cerca de Urano hubiera algo que estuviera afectando a su órbita? Gracias a esta inquietud, en 1846 rastrearon un área más lejana del sistema solar hasta encontrar a Neptuno, un planeta del que no tenían constancia previa. Ésta fue una de las primeras evidencias de que el universo podría estar repleto de planetas, meteoritos u otros cuerpos celestes que no podíamos observar directamente, pero sí detectar por la influencia que provocaban en los que sí veíamos. Ni mucho menos os imaginéis que el misterio de la materia oscura que tanto discuten los astrofísicos sea tan sencillo como esto. La naturaleza de esa materia invisible es completamente diferente —y cinco veces más abundante en el universo— a los átomos ordinarios presentes en las estrellas, los planetas, los agujeros negros, o nuestros propios cuerpos.



Al entrar en el despacho de Vera Rubin en la Carnegie Institution de Washington D. C., lo primero que vi fue una reproducción del diagrama que la convirtió en una de las astrónomas más reconocidas del siglo XX. « ¡Esta es la fotografía de Andrómeda con la que usted descubrió la materia oscura del universo!», exclamé. «No, no, no, no. Yo no descubrí la materia oscura —replicó—. Yo observé que las galaxias giraban de una manera totalmente inesperada según las leyes de Newton y Kepler. Esto se interpretó como la primera evidencia de que la materia oscura existía, y continúa siendo la hipótesis más factible, pero también podría ser que arrastráramos un error fundamental en las ecuaciones que utilizamos para describir el movimiento de los cuerpos celestes».

Cuando a mediados de la década de 1960 Vera Rubin empezó a medir la velocidad de rotación de las estrellas de la galaxia Andrómeda, observó algo muy extraño: las situadas en los extremos giraban casi a la misma velocidad que las más internas. ¡Eso no

tenía sentido! Las leyes de la física establecían que si las zonas centrales de las galaxias tenían una densidad de materia muy superior —como era el caso de Andrómeda—, allí la gravedad era mayor y las estrellas deberían rotar mucho más rápido. Era tan obvio que nadie antes se había preocupado en comprobarlo. La primera reacción de Vera Rubin al ver que esto no se cumplía en Andrómeda fue pensar que sus mediciones estaban equivocadas, o que quizá esa galaxia era especial Sin embargo, cuando realizó más mediciones y observó que en otras galaxias espirales tampoco disminuía la velocidad de rotación de las estrellas a medida que se alejaban del centro, se dio cuenta de que algo importante no encajaba. La publicación en 1970 de sus inequívocos resultados agitó a toda la comunidad cosmológica: si las estrellas en el exterior de las galaxias giraban a la misma velocidad que las centrales, eso implicaba que debían de estar rodeadas de la misma densidad de materia. Pero ¿qué materia? Los telescopios no veían nada. La interpretación de los resultados de Vera Rubin fue rompedora: confirmaban la extravagante idea expuesta en los años treinta por un astrofísico suizo muy peculiar.

Fritz Zwicky era un tipo irreverente, arrogante, de comportamiento agresivo, y que acumulaba problemas personales con la mayoría de sus colegas. Quizá por eso nunca llegó a recibir la fama que su intuición habría merecido. La principal aportación de Zwicky surgió de su tozudez en insistir que algo muy extraño ocurría en los extremos de las galaxias: según todas las observaciones sobre su rotación, las estrellas más alejadas deberían escaparse y

dispersarse por el espacio. Sólo podían mantenerse bajo la influencia gravitacional de la galaxia si existía una cantidad de materia muchísimo mayor de la que veíamos con los telescopios. Y no podía tratarse de planetas u otros cuerpos «normales» que no emitieran luz. Se requería una cantidad de materia oscura tan descomunal que por fuerza debía ser de una naturaleza desconocida todavía.

Fritz Zwicky fue un visionario y sentó el concepto actual de materia oscura, pero su propuesta no fue tomada en serio hasta cuarenta años después, cuando desaparecieron sus enemigos y la astrónoma Vera Rubin aportó la prueba definitiva que demostraba la genialidad de Zwicky, y puso sobre la mesa uno de los grandes misterios de la física que, en contra de los pronósticos iniciales, más se resiste a ser solucionado.

Desde mediados de la década de 1970 se han ido encontrando muchas regiones del espacio donde existe materia oscura. Los astrónomos ven que la luz se desvía por el efecto de una gran masa invisible, u observan agrupaciones de galaxias cuya existencia requiere una concentración de materia muchísimo mayor de lo que podrían constituir planetas, estrellas, cuerpos opacos, o agujeros negros. Por fuerza debe ser algo muy diferente, ya que los cálculos más actuales aseguran que hay cinco veces más materia oscura que materia ordinaria (el universo estaría constituido por un 74 por ciento de energía oscura, un 23 por ciento de materia oscura, y un 4 por ciento de materia ordinaria). Pero ¿qué es esa materia oscura? Nadie lo sabe. Hay candidatos como el neutralino, los wimp's, los

neutrinos, los macho's, u otro tipo de partículas tremendamente pesadas y nada interactivas, pero lo cierto es que los cosmólogos todavía no han averiguado de qué se trata. Aseguran que están muy cerca de conseguirlo, pero la ventaja de conversar con alguien como Vera Rubin, que ha vivido la historia de la ciencia de gran parte del siglo XX en primera persona, es que te puede responder: «Eso llevan diciéndolo desde hace treinta años. Precisamente a principios de los años ochenta asistí a un congreso en Harvard donde los físicos de partículas aseguraron que en cinco años averiguarían qué era la materia oscura. Lo mismo oí varias veces en los noventa, también en 2000, y hace unos meses aquí en Washington D. C. Y continúan igual de perdidos. Vale la pena que entiendan qué es la materia oscura pronto, porque algunos científicos ya empiezan a desconfiar de que realmente exista, y buscan otras explicaciones a los fenómenos extraños que observamos». Vera Rubin se refería a teorías que sugieren que las leyes de la dinámica de Newton contienen errores y deberían ser modificadas para acomodar las anomalías manifiestas en las observaciones astronómicas. La mayoría de los astrofísicos continúan apostando por la escurridiza materia oscura, pero hasta que no descubran de qué diantre está constituida, tendremos que continuar resignándonos a aceptar que no tenemos ni idea de qué materia y fuerzas constituyen y rigen al 96 por ciento del universo.

Hay personas que te inspiran, y Vera Rubin sin duda es una de ellas. De verdad es impactante estar con una persona que en su octava década de vida continúa apasionándose por el conocimiento

científico, acude a diario a un centro de investigación donde todo el mundo la venera, y se sorprende de que alguien pueda mirar al cielo nocturno sin sentir deseo por conocer la estructura del universo. Cuando pretendes explotar su perspectiva y le preguntas si la astrofísica ha cambiado mucho desde que ella empezó a investigar hace más de cincuenta años, sonríe, mira hacia arriba, y es capaz de responder de un tirón: «En la primera década del siglo XX descubrimos que el universo se expandía; en los años veinte, que nuestro Sol no era el centro de la Vía Láctea; en los treinta, que había galaxias fuera de la nuestra propia; en las décadas de 1940 y 1950 aprendimos a interpretar las ondas que nos llegaban del espacio; en los sesenta descubrimos la radiación de fondo de microondas; en los setenta, la materia oscura; en los años ochenta vimos que en el centro de cada galaxia había un agujero negro; en los noventa llegó la energía oscura y la expansión acelerada del universo, y en esta primera década del siglo XXI estamos asistiendo a la explosión de los planetas extrasolares. Ha sido un gran siglo, y no hay ninguna razón para imaginar que esto vaya a parar». « ¿Y cuál prevé que será el gran descubrimiento de este siglo?», pregunto excitado y de inmediato. «Encontrar algún planeta con vida extraterrestre —responde convencida—. Nuestra galaxia tiene 200.000 millones de estrellas, y sabemos que existen como mínimo 200.000 millones de galaxias. No importa de cuántas maneras quieras combinar los elementos químicos. Me sorprendería muchísimo que no hubiera seres parecidos a nosotros, y muchos otros tipos de vida, en un cosmos tan descomunal».

§3. Exoplanetas: la búsqueda de vida extraterrestre

Olvidaos de encontrar vida en Marte, en los hielos del satélite Europa, o en cualquier rincón de nuestro sistema solar. Los alrededores de nuestro planeta parecen estar desiertos. Pero que esto no os deprima en absoluto; al contrario, estamos cada vez más cerca de descubrir vida extraterrestre.

El universo es tan extremadamente vasto que sería inverosímil que no existiera otra vida inteligente preguntándose si hay alguien habitando unos cuantos años luz más lejos. El problema es que en lugar de unos cuantos años luz quizá sean miles y tardemos un poquito en ponernos en contacto. Sin embargo, vida simple parecida a las bacterias que conocemos por descontado que debe haberla incluso en nuestra propia galaxia. Los astrobiólogos están cada vez más convencidos de que la vida no es un fenómeno tan complicado como hasta hace un tiempo se pensaba, y el universo debe de estar plagado de ella. Otra cosa es que podamos llegar a percibirla. A pesar de que algunos mantienen una ligera esperanza, no parece que Marte ni ningún otro rincón del sistema solar albergue vida en estos momentos. No obstante, las esperanzas de descubrir vida fuera de la Tierra en algún momento del siglo XXI son cada vez más altas. ¿Cómo puede ser eso? Porque ahora podemos buscarla de manera indirecta.

Imaginemos que una civilización inteligente con telescopios ligeramente mejores que los nuestros fuera capaz de escanear a distancia las características básicas de los principales planetas de

nuestro sistema solar. Vería que Marte tiene una gran cantidad de hierro, Venus un efecto invernadero tremendo, Mercurio una atmósfera tenue de potasio y sodio, y cuando observara la Tierra se preguntaría ¿una atmósfera con oxígeno?, ¡eso es imposible! La atmósfera de este planeta es completamente inestable. ¡No tiene ningún sentido tanta presencia de oxígeno! Claro, a no ser que haya algún proceso vivo generándolo. Esa civilización acabaría de descubrir vida fuera de su planeta. Incluso si hubieran mirado a la Tierra mucho antes de nuestra llegada, en cualquier momento desde que hace dos millones de años las cianobacterias oxigenaron la atmósfera, habrían llegado a esa conclusión irrefutable según las leyes de la química.

¿Podremos hacer eso nosotros algún día? Al ritmo que avanzamos, muy pronto.

Descubrir un nuevo planeta extrasolar ya ha dejado de ser noticia. Fue un gran hito en 1995, cuando se descubrió el primero; pero ahora que ya se conocen varios centenares dando vueltas alrededor de estrellas lejanas, ¿qué es lo realmente relevante en ese campo? ¿Cuál es el contexto de las investigaciones? Recuerdo una mañana en Boston en que leí una noticia publicada en *Nature* sobre el descubrimiento de metano en un planeta extrasolar. Todavía no había escrito en el blog sobre los planetas extrasolares y ésa parecía una buena excusa, pero enseguida me di cuenta de que no sabía muy bien cómo ubicar el estudio: ¿era un gran hallazgo o no? Y si lo era, ¿por qué? En ciencia, cuando una disciplina avanza muy rápido, es difícil seguirle la pista y mantener una idea clara del

contexto global en el que se enmarcan las píldoras que nos llegan por los medios de comunicación. El estudio de exoplanetas es algo muy nuevo, donde es fácil perderse. Por eso contacté con Joshua Winn, el principal experto del MIT en el estudio de planetas extrasolares. Nos había impartido un seminario meses antes en el que insistió en que nos atendería encantado si teníamos dudas. Comprobé que lo decía en serio. El café que tomamos duró dos horas.

Empezó resaltando que el principal objetivo de la búsqueda de planetas extrasolares es encontrar pistas en atmósferas lejanas que indiquen existencia de vida, pero había otro objetivo por el que quería empezar a hablar Joshua: entender cómo se forman los sistemas solares, y comprobar si el nuestro era tan extraño como parecía.

Me explico. A partir del único ejemplo de sistema solar que teníamos (el nuestro) se construyó la siguiente teoría: grandes cantidades de materia se acumularon formando un disco giratorio alrededor del Sol. En él las partículas se iban agrupando, creando estructuras más grandes. El disco se aceleraba, se producían grandes colisiones y algunas de esas estructuras adquirirían una masa crítica que les permitía atraer todavía más materia, hasta acabar convirtiéndose en planetas. Esta explicación concuerda muy bien con el hecho de que los planetas pequeños y rocosos estén cercanos a la estrella, y los gigantes gaseosos estén lejanos. Así es nuestro sistema solar; ningún problema por el momento. Sin embargo, ¡sorpresa! A medida que se han ido descubriendo planetas, un par de detalles no

encajan del todo: hay una gran cantidad de planetas gaseosos (estilo Júpiter) en posiciones muy cercanas a su estrella; demasiado cercanas según la teoría del disco giratorio. Y, además, se han observado órbitas exageradamente elípticas. Comparado con lo que estábamos observando, parece como si nuestro sistema solar fuera atípico. ¿Habríamos construido una teoría que explicaba una excepción? No del todo. Según Josh, la teoría básica del disco giratorio es correcta, pero debe haber otros procesos que acerquen los planetas grandes a las estrellas, y que no se habían tenido en cuenta. Él está estudiando posibles colisiones durante la formación de los sistemas solares que, como si fueran canicas, moverían a los planetas de sitio. La «anormalidad» de nuestro sistema solar se debería a que no sufrió esos efectos «extra» a lo largo de su historia. Para Josh, esos nuevos ejemplos de sistemas solares representan una herramienta fantástica para entender mejor la formación planetaria.

Pero, sin duda, la segunda gran pregunta que se quiere responder es saber si alguno de esos planetas alberga vida. Para ello, los astrofísicos analizan la composición de la atmósfera de los planetas. La idea es simple: buscar biomarcadores, elementos que no puedan haberse originado en un mundo inerte. Si en una atmósfera se descubre oxígeno, por ejemplo, indicará que allí hay *algo* que lo está generando. Se trata de encontrar moléculas «extrañas» en la atmósfera que nos indiquen que allí hay algún tipo de metabolismo. Pero esto no ocurrirá de manera inmediata. De momento, la mayoría de los planetas descubiertos son gigantes gaseosos como Júpiter, y

se encuentran demasiado cercanos a su estrella para poder albergar una vida parecida a la que conocemos. Para encontrar planetas más pequeños, y en órbitas más grandes, los telescopios y los métodos de observación deben mejorar un poco. En el camino hacia la búsqueda de vida, el primer gran paso (y que sí merecerá estar en las portadas de los periódicos) será encontrar un planeta rocoso de tamaño máximo diez veces la masa de la Tierra, y situado en la «zona habitable» (lo suficientemente apartado de la estrella como para tener agua líquida). A los científicos no les gusta especular, pero Josh pronostica que el primer planeta de estas características se podría descubrir bastante pronto, en unos cinco años. El siguiente paso será intentar analizar con detalle su atmósfera. Esto requerirá bastante más tiempo, con lo que el descubrimiento de vida extraterrestre no está a la vuelta de la esquina.

Hasta cierto punto, casi más que los propios descubrimientos, en este campo parece más fascinante plantearse cómo delante se puede detectar un planeta tan lejano cuando hace escasamente cincuenta años parecía del todo inaudito. Vemos fácilmente las estrellas porque emiten luz, pero un planeta es un cuerpo opaco, oscuro, en apariencia invisible para cualquier telescopio. ¿Cómo podemos ver un planeta? La clave está en detectarlo de forma indirecta, midiendo los efectos que ejerce sobre la estrella que orbitan. La principal herramienta es el efecto Doppler: cuando un planeta da vueltas a una estrella, ejerce sobre ella una fuerza de gravedad que la hace oscilar levemente. Es decir, por momentos se acerca un poquito a nosotros y luego se aleja, y esto afecta ligeramente al espectro de luz

que recibimos de la estrella. Es un efecto muy sutil, pero sirve para ver si hay una masa invisible dando vueltas en torno a la estrella. Una segunda metodología más simple pero menos efectiva es mirar directamente si en algún momento cambia la intensidad de la luz de la estrella, ya que si un planeta transita por delante de ella afectará a su brillo. La limitación de este método es que sólo permite descubrir planetas muy grandes. Para los mundos más pequeños — y con mayor posibilidad de ser habitables—, existen otros métodos, como el de las micro lentes gravitacionales, que mide distorsiones en la luz procedente de estrellas distantes al pasar junto a objetos masivos.

Y entonces tendremos que analizar su atmósfera. Esto parece todavía más inconcebible. ¿Cómo podemos saber qué gases hay en el aire de un planeta situado a varios años luz de distancia? Su explicación también se basa en las propiedades de la luz, pero en este caso de la que rebota en el planeta y llega a nosotros. Si estuviéramos en el espacio y miráramos a la Tierra, a simple vista podríamos distinguir el océano azul del desierto amarillento, ¿verdad? Esto es porque la luz emitida (rebotada) por el mar tiene unas características, y la emitida por la arena, otras. Por eso vemos diferentes colores. Pero el espectro electromagnético es muchísimo más amplio que el rango de luz visible, y los detectores pueden discernir variaciones infinitamente más precisas que nuestro ojo. Mirando la luz que proviene de un planeta pueden detectar los elementos que lo constituyen, o saber la temperatura a la que se

encuentra. Es así como muy pronto encontraremos vida fuera de la Tierra.

Después de tanta divagación, finalmente le pregunté a Josh si la noticia del metano era importante o no. Hizo esa típica mueca en la que se levanta el labio superior y se arruga la nariz, y empezó a ladear la cabeza. Dijo que el descubrimiento en sí no era lo importante. No hay nada inesperado en que una atmósfera tenga metano. Lo relevante era demostrar que técnicamente se podía llegar a medir esa molécula en una atmósfera tan lejana. La metodología era lo trascendente. Y es que los grandes hallazgos vendrán precedidos de mejoras en las técnicas de medición.

Quién sabe cuándo quedará anticuado este texto. La búsqueda de planetas extrasolares es uno de los campos más activos de la astrofísica actual. Si vas a un congreso anual de investigación sobre el cáncer, posiblemente no oigas avances revolucionarios respecto al año anterior. En cambio, en ciertas disciplinas, como es el caso de los exoplanetas, las novedades son constantes. En 1995 se encontró el primer planeta extrasolar. Luego empezaron a descubrirse más gigantes gaseosos cercanos a las estrellas, hasta el punto de que dejaron de ser noticia. El siguiente objetivo era encontrar planetas pequeños de tamaño similar a la Tierra. Los métodos mejoraron hasta que en febrero de 2009 se encontró a Corot-7b, un planeta rocoso como el nuestro con la diferencia de que alcanza los 2.000 grados de temperatura por estar muy pegado a su sol. El descubrimiento de Corot merecía de nuevo ser noticia, pero merecerá portada el día que encuentren un planeta de

características similares que además esté en una zona habitable. Y significará una revolución si consiguen analizar su atmósfera y descubrir que algo no encaja en ella. Nadie se arriesga a predecir cuándo ocurrirá esto, pero podría convertirse en la noticia más importante del siglo XXI: la confirmación experimental de que los habitantes de la Tierra no estamos solos en el universo.

§4. Qué diantre es la antimateria

Estando con unos amigos en casa de Antonio y en plena sobremesa me preguntaron si yo sabía qué era la antimateria. «Sí, claro: la materia formada por antipartículas», contesté. « ¿Y qué son las antipartículas?», prosiguió mi contertulio. «Partículas como las que conocemos, pero con carga opuesta. Por ejemplo, un antiprotón es un protón con carga negativa». Me detuve al darme cuenta de que en realidad no tenía ni idea de qué diantre era la antimateria...

Por suerte, en el grupo había un físico. Le preguntamos. Tras el típico «No es mi campo» que suelen responder los investigadores que pasan años confinados estudiando un detalle minúsculo de su ya fragmentada disciplina (la mayoría), logramos arrancar la siguiente explicación: «La antimateria es como la materia ordinaria, pero con partículas de carga contraria. Como el positrón, que es un electrón con carga positiva». Y se quedó tan ancho. «Pero ¿¿qué es??, ¿de dónde salen esas partículas?», insistimos. «Ya os he dicho que no era mi campo».

Alguien sacó un iPhone y leyó la entrada de Wikipedia: «La antimateria se compone de antipartículas, de la misma manera que

la materia de partículas. Por ejemplo, un antielectrón (electrón con carga positiva) y un antiprotón (protón con carga negativa) podrían formar un átomo de antihidrógeno».

Desesperado, al llegar a casa envié un *mail* a Gonzalo Merino, físico de partículas que trabaja con el CERN, preguntándole cuándo podíamos charlar por Skype. Fue una de las conversaciones más estimulantes intelectualmente que recuerdo.

Pere: *Gonzalo, ¿qué es la antimateria?*

Gonzalo: Es la materia hecha de antipartículas.

P: *¡Espera! Ya sé, como el antiprotón y el antielectrón. Pero ¿qué es un antiprotón?, ¿de dónde sale? Yo quiero entenderlo a un nivel fundamental.*

G: Pues entonces debemos remontarnos a 1928 y hablar de Paul Dirac. De hecho, es una historia muy bonita. Paul Dirac era un genio, el típico físico teórico que se pone a hacer cálculos y con sus ecuaciones predice la existencia de algo que nadie ha visto antes.

P: *¿La antimateria?*

G: Sí, en aquel momento sólo fue una predicción matemática. Su existencia real se observó años después.

P: *¿Como la búsqueda del bosón de Higgs con el LHC, que estáis seguros de su existencia a pesar de no haberlo visto todavía?*

G: Exacto, pero lo de Dirac fue mucho más notorio.

P: *¿Cómo «descubrió» la antimateria?*

G: Uff... es difícil de explicar. A ver. A principios del siglo XX había varias revoluciones en marcha en el mundo de la física. En 1905 Einstein presentó su teoría de la relatividad especial, que daba lugar

a la famosa $E = mc^2$ de las camisetas, según la cual la materia y la energía eran intercambiables. La otra gran revolución era la cuántica de Heisenberg, Bohr y compañía, que describía el comportamiento de las partículas subatómicas. Ambas funcionaban muy bien, pero eran teorías separadas.

Lo que Paul Dirac intentaba hacer era unir las matemáticamente; crear una mecánica cuántica relativista. En concreto, lo que pretendía era poder describir el electrón, lo más sencillo que uno se podía imaginar. Entonces, al combinar las ecuaciones de la relatividad y la cuántica le apareció la «ecuación de Dirac», cuyo resultado describía el electrón. Pero había algo curioso: la ecuación de Dirac tenía dos soluciones matemáticas, una negativa (que era el electrón de toda la vida) y otra idéntica, totalmente simétrica, pero con carga positiva. Concluyó que si sus ecuaciones eran ciertas, en algún sitio debía de existir una partícula idéntica al electrón pero con carga positiva.

P: *¡Uau!... ¿y más tarde se descubrió?*

G: Sí, sí, cuatro o cinco años después de que Dirac lo predijera, se observaron experimentalmente los positrones (electrones positivos) en los rayos cósmicos.

P: ...

G: ¡Claro! Y luego se buscaron el resto de antipartículas. Dirac lo hizo para el electrón, pero si las matemáticas establecían que la naturaleza debía respetar esa simetría, para un protón también debía de existir un antiprotón. Y así para toda la materia. Es un postulado.

P: *Pero, a ver... yo tengo ante mí un ordenador hecho de átomos, que están constituidos de protones, de quarks, de electrones... ¿aquí hay antipartículas también?*

G: No, no. Todo lo que nos rodea es materia, no antimateria Imagino que tú querías saber dónde están las antipartículas, ¿no?

P: *Qué perspicaces sois los científicos...*

G: Entonces. Estoooo... ¡¡¡big bang!!!

P: ¿¿¿Big bang???

G: ¡Sí!, big bang.

P: *Háblame del big bang.*

G: Bien. Tal y como lo conocemos ahora, toooooodo empezó hace 13.700 millones de años, en una concentración de temperatura y densidad infinita. Al principio todo era energía concentrada en un punto. Luego, cuando el universo empezó a expandirse, se fue enfriando, y por $E = mc^2$ cierta energía comenzó a transformarse en materia. Pero, claro, según lo que he comentado de Dirac, en teoría se formaron tanto partículas como antipartículas. Pero, y esto es muy importante, otra cosa que sabemos es que cuando una partícula se encuentra con su antipartícula, ambas se aniquilan y transforman en energía.

P: ¿Y?

G: Vale. Si en el big bang todo hubiera sido absolutamente simétrico, la energía habría generado partículas y antipartículas por igual, que luego se habrían destruido formando más energía hasta llegar a cierto equilibrio térmico, en el que ni nosotros ni nada existiría. Entonces, el hecho de que tengas delante un ordenador

hecho sólo de materia nos dice que en el origen del universo hubo algún tipo de asimetría entre materia y antimateria. Es decir, las leyes de la naturaleza contienen alguna asimetría que favoreció a la materia frente a la antimateria. Lo que sabemos ahora es que, a ver que no me equivoque en ningún cero, por cada mil millones de antipartículas se formaron mil millones más una partículas. Estos miles de millones se aniquilaron entre ellos, y las partículas «sueltas» de materia, las desapareadas, son las que empezaron a formar átomos, galaxias, tu ordenador y el mundo tal y como lo conocemos.

P: *¿Y esto sabéis seguro que fue así?*

G: Sí, sí, esto fijo, fijo (risas). La prueba experimental viene del fondo de radiación de microondas. Este fondo son los fotones (paquetes de energía pura sin masa) que nos llegan del otro extremo del universo y que se originaron durante la aniquilación de la sopa de partículas y antipartículas. Hoy en día, por cada partícula de materia que vemos en las galaxias, o donde sea, podemos contar mil millones de fotones de energía del fondo de radiación de microondas.

P: *Qué te iba a decir, por lo tanto, en principio ahora no queda nada de antimateria.*

G: Bueno, la que los físicos creamos.

P: *Explícate.*

G: Es lo que se hace en el CERN, o en otros laboratorios de partículas. Hoy en día, si juntas suficiente energía en un punto puedes crear materia por la $E = mc^2$.

P: *¡Y antimateria!*

G: Claro, en cada colisión del CERN siempre se forman partículas y antipartículas. Las antipartículas se destruyen enseguida cuando chocan con las paredes del detector, pero nos da tiempo de registrarlas para estudiarlas.

P: *En Ángeles y demonios iban guardando la antimateria en una cajita para luego crear una bomba.*

G: Ya, pero eso es imposible. Confinar antimateria es algo tremendamente complicado, porque se aniquila inmediatamente al encontrarse con cualquier átomo de materia. Se puede conseguir con campos magnéticos, haciendo que no toque nada, pero es difícilísimo. Hay experimentos en el CERN que generan antielectrones y antiprotones, los enfrían hasta prácticamente frenarlos, los mantienen aislados de la materia, y llegan a construir átomos de antihidrógeno.

P: *¿Eso se ha logrado?*

G: Sí, se han creado antiátomos de hidrógeno. Con ellos intentan averiguar cosas muy curiosas. Por ejemplo, ¿cómo les afecta la gravedad?, ¿caen hacia arriba o hacia abajo?, ¿existe la gravedad negativa? *A priori* se deberían comportar igual, pero todavía no hay ninguna comprobación experimental.

P: *Alucinante...*

G: Sí, son experimentos pequeños pero muy cachondos. El LHC roba toda la atención del CERN, pero hay un montón de grupos pequeños haciendo investigaciones muy fundamentales que podrían generar grandes sorpresas. ¡Imagínate si contrariamente a lo

esperado resulta que un antiátomo de hidrógeno sube por la gravedad en lugar de caer!

P: *Fantástico. Entonces tener para una bomba de antimateria queda descartado, ¿no?*

G: Totalmente. Porque aun suponiendo que se pudiera confinar, si el CERN se hubiera dedicado a guardar antimateria durante sus cincuenta años de historia, como máximo habría generado unos pocos nano gramos. Para fabricar la bomba de *Ángeles y demonios* se necesitaría como mínimo un gramo. Tardaríamos mil millones de años en reunir esa cantidad. No tiene ningún sentido.

P: *Oye, ¿y lo de la PET (tomografía de emisión de positrones?).*

G: Exacto. En la vida real también hay antipartículas, y el caso más típico es la PET que encontramos en los hospitales, que utiliza antipartículas para diagnosticar el cáncer.

P: *¿Cómo se generan?*

G: Con radiactividad. Hay elementos que son radiactivos por naturaleza y se desintegran siguiendo una reacción nuclear. La PET es eso; te inyectan una sustancia radiactiva que al desintegrarse emite un positrón. Ese positrón inmediatamente encuentra un electrón de tu cuerpo y se aniquila generando energía, fotones. Lo que detecta el aparato son esos fotones, y con ellos genera una imagen del interior de tu cuerpo.

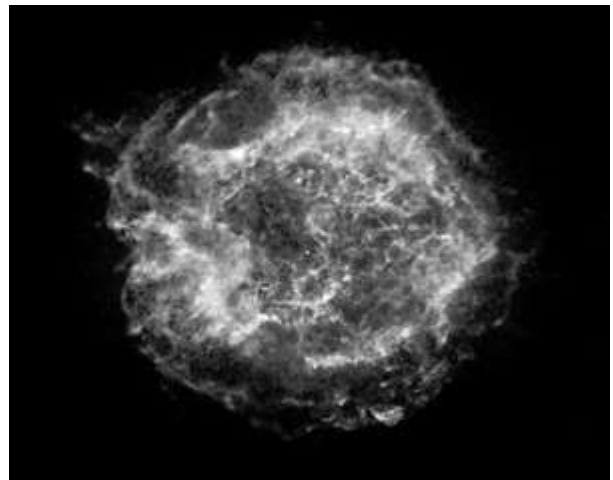
P: *Qué grande es la antimateria... Gonzalo, eres un crack.*

§5. El tamaño de una supernova

Te deslumbran las preciosas imágenes del universo que a menudo vemos en la prensa o los documentales? No te conformes sólo con el gozo estético. Prueba a interpretar la información que contienen, y les añadirás una capa de belleza que te dejará realmente sobrecogido.

En plena visita a la sala de operaciones del telescopio espacial Chandra de Rayos X, su director Claude Canizares nos mostró la preciosa imagen de una supernova captada por dicho telescopio. La primera pregunta que se le ocurrió a mi compañero del MIT John Fahey fue simple « ¿Cuánto mide?». Reconozco que para mis adentros pensé: «Vaya pregunta, John...», pero entonces Claude Canizares respondió: «Varios años luz de diámetro. Nuestro sistema solar entero sería un puntito indistinguible en esta fotografía».

¿¿¿Cómo??? ¿Esa nube de gases consecuencia de la explosión de una estrella tenía, nada más y nada menos, diversos años luz de diámetro? (13 para ser exactos). Nunca hubiera imaginado que pudiera ser tan descomunal De



repente me di cuenta de que había estado apreciando la belleza de multitud de imágenes del cosmos, pero mi limitada capacidad para interpretarlas hacía que no pudiera disfrutar del todo de su espectacularidad. Un sinfín de preguntas colapsaron mi mente. ¿Los colores tenían algún significado?, ¿qué veía un telescopio de

rayos X, uno óptico y uno de infrarrojos?, ¿qué ventajas y desventajas había entre los telescopios espaciales y los terrestres?, ¿qué imágenes eran más relevantes desde el punto de vista científico?, ¿eran todas reales, o algunas de las que recreaba en mi memoria eran ilustraciones? ¿Qué más me estaba perdiendo por contemplar estas bellas fotografías sin hurgar de verdad en su contenido científico?

Dos días después fui al Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics cargado de curiosidad y en busca de respuestas. Allí Megan Watzke me explicó algunos aspectos básicos para poder apreciar mejor la información que contienen las imágenes astronómicas. Comentamos algunas en concreto, y terminó regalándome un póster que habían editado recientemente describiendo las más significativas. Ese mismo fin de semana tuve visita en Cambridge y, en un momento determinado, descubrí a mi par de amigos prendados comentando el póster: «A mí ésta es la que más me gusta», «Qué colores más espectaculares», «Esto parece Marte». El disfrute visual duró unos pocos minutos, pero el intelectual, al rellenar sus lagunas sobre el significado real de lo que estaban viendo, nos llevó casi una hora. Y —parafraseando a Carl Sagan— dejó «sembrada la semilla del asombro», pues cuando meses después nos reencontramos ya en tierras peninsulares, me confirmaron que habían seguido indagando en el asunto. El Premio Nobel y gran divulgador Richard Feynman habría dicho: «Entender los procesos bioquímicos y las leyes físicas que generan el color en una flor no le resta en absoluto ningún atractivo. Todo lo contrario,

¡le añade!». Lo mismo ocurría al observar las imágenes del universo captadas por los telescopios. ¡Qué bonita e interesante es la ciencia!

La primera imagen que comentamos con mis amigos fue

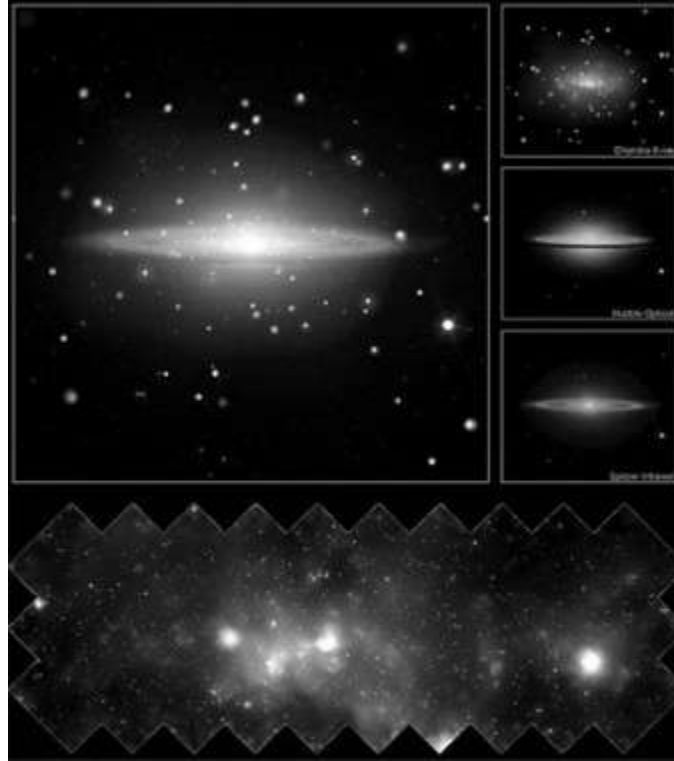


justo la mostrada por Claude Canizares: la supernova Cassiopeia A. Pero si os fijáis, seguro que distinguiréis cierta textura más difusa y unos puntos que no aparecían en la fotografía anterior. Esto se debe a que en realidad esta segunda imagen es una composición de fotografías hechas con tres telescopios espaciales: el Chandra de rayos X, el Hubble que captó el fragmento de luz visible, y el Spitzer de infrarrojos. Y cada uno ve una cosa diferente. El tono difuso esparcido por el contorno de la supernova es polvo a unos 10 °C captado por el Spitzer. La imagen original del Hubble está coloreada con tonos amarillentos y corresponde a las estrellas del fondo y a las estructuras filamentosas de gases a 10.000 °C. Las brutales colisiones entre átomos de los gases más calientes (10 millones de grados centígrados) emiten rayos X que son captados por el Chandra, y están representados en la foto por los colores azul y verde. La temperatura es clave. Cuanto más caliente está un objeto, emite radiación a longitudes de onda más energéticas. Nuestros ojos sólo distinguen un pequeño fragmento de toda la luz que recibimos, la que llamamos fracción visible. Por debajo están los infrarrojos, microondas... y por encima los ultravioletas, rayos X, rayos gamma.

Con detectores específicos podemos observar estas longitudes de onda y ver fenómenos que no percibiríamos con un telescopio óptico «convencional». Por ejemplo, las supernovas son eventos tremendamente energéticos, que se captan muy bien con el Chandra de rayos X. En cambio, la radiación infrarroja captada por el Spitzer resulta ideal para identificar regiones de gas en las que se están formando planetas y naciendo nuevas estrellas. Poder combinar las imágenes de los diferentes telescopios nos da información mucho más precisa sobre la estructura y evolución de los objetos del universo.

La galaxia del Sombrero está situada a 28 millones de años luz de distancia, y es un buen ejemplo de qué podemos aprender al combinar imágenes. El Chandra (arriba, a la derecha) capta los quasars de fondo y el gas caliente y les asigna un color (en este caso, azul). La imagen del centro (verde) es la luz óptica captada por el Hubble; si la ampliaras, podrías distinguir un borde de materiales en el contorno de la galaxia que bloquean la luz de las estrellas interiores. Ese material se aprecia muy bien con la imagen infrarroja del Spitzer (inferior derecha). Superponiendo las tres imágenes, los científicos pueden entender mejor la composición de la galaxia del Sombrero. Quizá os hayáis percatado de que aquí los astrofísicos han coloreado de verde la imagen óptica, y en la fotografía anterior el mismo color correspondía a los rayos X. El color de las imágenes astronómicas no es completamente arbitrario, los tonos azulados siempre representan energías superiores a los verdes, y éstos superiores a los rojizos. Pero no hay necesariamente

una relación de color entre las diferentes fotografías. El objetivo en cada caso es distinguir de la forma más clara lo que se pretende mostrar.



Quizá no se trate de una fotografía tan espectacular, pero esta combinación de imágenes de rayos X nos muestra el centro de nuestra propia galaxia.

Se pueden ver cientos de enanas blancas, estrellas de neutrones y agujeros negros inmersos en una niebla incandescente a muchos millones de grados centígrados.

Según Megan Watzke, en su momento fue muy reveladora porque permitía entender cómo la región central de la Vía Láctea afectaba a la estructura entera, y se podía observar el agujero negro supermasivo en su epicentro, tres millones de veces más pesado que nuestro Sol.

Esta imagen fue la primera gran evidencia visual de la materia oscura. Lo que estáis observando son dos enormes agrupaciones de galaxias en plena colisión, el tipo de evento más energético que puede suceder en el universo después del *big bang*. El tono más intenso del centro (rosáceo en la fotografía original) es gas caliente detectado por el Chandra de rayos X, y representa el lugar donde se encuentra la materia «normal».



Sin embargo, los astrofísicos utilizaron otra técnica llamada «lentes gravitacionales» para detectar dónde se encontraba la mayor cantidad de materia, y vieron que no coincidía con la imagen del Chandra. Las nubes más exteriores (azuladas) representan dónde los astrónomos perciben que se encuentra en realidad la mayor concentración de materia. La explicación de esta diferencia es que existe mucha más materia oculta de la que podemos observar: una materia oscura que no interactúa con nada y por tanto no emite radiación (no la ve el Chandra), pero sí genera gravedad (la detectan las lentes gravitacionales). La idea básica de las lentes gravitacionales es la siguiente: los científicos miran las estrellas situadas en el fondo de la imagen (con el Hubble, puntos amarillos y

anaranjados). En principio ellos saben su posición «teórica» exacta. Si ven que están en un sitio distinto a lo esperado, es que hay «algo» en medio que ha distorsionado la luz que nos llega de ellos. Si este «algo» es invisible, es decir, no lo detectamos de ninguna otra forma, es que se trata de materia oscura.



Al ver la imagen anterior uno de mis amigos me dijo: « ¡Ésta me suena!, pero es un dibujo, ¿no?». Realmente lo parece. Sin embargo, es absolutamente real, y quizá la imagen más famosa del Hubble. Se llama «los pilares de la creación», porque muestra una gigantesca nube de polvo en cuyo contorno se están formando estrellas y sistemas solares completos. Sí he dicho bien; en las puntitas de estas figuras se están creando estrellas y sistemas solares enteros. También es conocida como la nebulosa del Águila, y es la imagen astronómica más reproducida en películas, representaciones artísticas. Tanto, que mucha gente la confunde por una ilustración. Imágenes posteriores con el Chandra de Rayos X y el Spitzer permitieron precisar los lugares donde se estaban creando estrellas,

e indicaron que de hecho se estaban creando menos de las que inicialmente se había creído.

En internet podéis encontrar galerías enteras de imágenes astronómicas espectaculares. De planetas, galaxias, agujeros negros, estrellas de neutrones, algunas son más bellas, otras más informativas, pero todas ellas despiertan nuestra curiosidad, la fascinación por el descubrimiento, y nos estimulan a intentar comprender científicamente el universo. Observarlas sin más es como ir a un museo y valorar los cuadros sólo por su belleza estética. Sin duda es un factor importante, pero todas esconden una historia, connotaciones, matices. Saber descifrar la información que contiene la fotografía de una supernova le añade un nivel superior de satisfacción a su contemplación.

§6. ¿Para qué viajar a Marte? El previsible atasco de la carrera espacial

Si antes de llegar al MIT me hubieras preguntado qué opinaba sobre la exploración del espacio con seres humanos, te habría respondido un rotundo « ¡Adelante!». Habría argumentado que conlleva un sinfín de adelantos técnicos, colma nuestras ansias de conocimiento, resulta inspirador, despierta vocaciones científicas entre los jóvenes... en definitiva, que el programa Constelación de la NASA, puesto en marcha en 2004 para enviar humanos de vuelta a la Luna con vistas a plantear un siguiente viaje tripulado a Marte, era una de las apuestas más elogiadas del ex presidente George W.

Bush. Los beneficios de la exploración humana del espacio justificaban con creces sus elevados costes.

Parecía que empezar una estancia en un centro como el MIT, que participó activamente en los adelantos técnicos que permitieron la llegada del hombre a la Luna, y que continuaba teniendo uno de los departamentos universitarios de ingeniería espacial líderes del mundo, no haría otra cosa que reforzar todavía más esta convicción. Sin embargo, nada más llegar varios episodios hizo que empezara a cuestionarme con mayor detenimiento si realmente merecía tanto la pena el esfuerzo de enviar astronautas a pisar Marte.

Era octubre de 2007 y acudía ilusionado a la presentación de la película documental *In the Sado of the Mon*. El documental contaba con imágenes inéditas de la llegada del Apolo 11 a la Luna, y reconstruía la carrera espacial de la década de 1960 con entrevistas a ingenieros, astronautas y políticos que protagonizaron esa aventura. Además, en el debate posterior participaron el director de la película, ingenieros del MIT relacionados con la construcción de las naves Apolo, el subdirector de la NASA en el momento del alunizaje, y dos antiguos astronautas. Todos estaban emocionadísimos al recordar el gran hito acontecido en 1969, y se mostraban entusiasmados con el inmenso reto que suponía para nuestra especie alcanzar Marte. Realmente, la ilusión se contagiaba y hacían que te sintieras partícipe del sueño. Te abstraías por un momento, vislumbrabas una futura tripulación saludándonos desde el planeta rojo, y suplicabas que esto ocurriera en algún momento de tu vida.

Un par de semanas después los Night Fellows asistimos a un seminario con David Mindell, director del Departamento de Ciencia, Tecnología y Sociedad del MIT, y que como ingeniero e historiador llevaba tiempo estudiando desde una perspectiva sociológica todas las connotaciones que rodean a la exploración espacial. Sembró dudas: no está tan claro que los beneficios científicos de enviar humanos al espacio sean tan relevantes, y las medidas de seguridad encarecen sobremanera las misiones. Si hablamos de ciencia, es mucho mejor seguir invirtiendo en robots.

Pasaron otras dos semanas y asistí a la conferencia «Cincuenta años en el espacio: reflexiones», que impartía John Logsdon, director del Instituto de Política Espacial de la Universidad George Washington, miembro del consejo asesor de la NASA que hizo posible el programa Constellation, y uno de los más acérrimos defensores de las misiones tripuladas al espacio con fines de exploración. Fue muy claro en su exposición. Para él, la ciencia o las aplicaciones prácticas derivadas de la investigación espacial no son lo realmente importante, sino la maravillosa experiencia que representa para toda la humanidad. Después de haber alunizado seis veces entre 1969 y 1972 y situado a doce astronautas sobre nuestro satélite, la NASA había perdido su rumbo durante las tres décadas siguientes. Sus telescopios, satélites artificiales y misiones robóticas estaban cosechando grandes resultados científicos, pero la misión para la que fue creada esta agencia gubernamental, explorar el espacio, había sido descuidada hasta la ambiciosa apuesta del programa Constellation. «Ha llegado el momento de que Estados Unidos

realice los siguientes pasos, y extienda la presencia humana por el sistema solar», anunció George W. Bush durante su presentación en 2004.

Algo empezaba a chirriar, si lo que estaba en juego era el prestigio de Estados Unidos y el afán por explorar nuevos mundos, y el mismo dinero invertido en robots iba a darnos más conocimiento científico, ¿continuaba siendo la exploración tripulada algo tan loable? Recuerdo haber planteado esas mismas dudas a mi compañero John Mangels, que como periodista cubría desde hacía más de veinte años temáticas relacionadas con el espacio. « ¡Tú no habías nacido en el 69! —respondió convencidísimo—, fue uno de los momentos más fabulosos del siglo XX. Todo el mundo siguió expectante la llegada del hombre a la Luna. No puedes comparar el impacto social de que Marte sea pisado por un robot o por un ser humano. Debemos seguir con la exploración espacial». Qué difícil, necesitaba más opiniones para terminar de formarme la mía.

Un lunes, al terminar la clase de ciencia, tecnología y sociedad con David Mindell, me acerqué y le pregunté sin rodeos: «David, si tú fueras el único responsable de definir el programa espacial de la NASA, no te digo dentro de cincuenta o cien años, sino ahora, ¿enviarías humanos a la Luna de nuevo?». David Mindell tomó aire, y respondió: «No».

Mis dudas se hacían cada vez más serias. En septiembre de 2007 un agresivo artículo de *The Economist*, en el que revisaban los últimos cincuenta años de exploración espacial desde que en 1957 la Unión Soviética enviara su primer satélite Sputnik, decía

textualmente: «Una escandalosa cantidad de dinero se ha malgastado con la presunción de que viajar por el cosmos es el futuro de la humanidad».

Pensándolo bien, la crítica tenía mucho sentido. El planteamiento de que «tarde o temprano la especie humana deberá abandonar este planeta» era tan absurdo a corto plazo como lo era a largo plazo el de «para qué gastar dinero en esto habiendo problemas más graves aquí en la Tierra». Los argumentos inteligentes se debían situar en algún punto intermedio. Aunque, puesto a decidir entre ambos, un año atrás hubiera defendido el primero, en esos momentos me sentía más próximo del segundo.

Y en un caso como éste las opiniones son muy importantes. John Mangels intuye que la mayoría de los estadounidenses aprueban que con dinero de sus impuestos se financie la conquista del espacio para satisfacer nuestra naturaleza exploradora. En Europa es diferente, y por eso pisar la Luna no entra en los planes de la ESA. En China no preguntan, y quizá por ello serán los próximos en pasear por nuestro satélite.

Cotilleos científicos en la nasa: necesitamos más dinero

Dejé aparcado el debate durante un tiempo. Al fin y al cabo, la decisión de la NASA de intentar viajar de nuevo a la Luna en 2020 ya se había tomado, y el programa Constellation estaba diseñando el cohete Ares y la cápsula Orión que iban a hacerlo posible.

Todo parecía seguir su curso. Pero cuando en junio de 2008 asistí al simposio «Forjando el futuro de la ciencia espacial: los próximos

cincuenta años», en la sede de la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos en Washington D. C., me di cuenta de que internamente había unos claroscuros muy considerables. La frase inicial en la presentación del director del Consejo de Estudios Espaciales, Lennar Fisk, fue: «Actualmente, la única certeza en la NASA es la incertidumbre».

Se refería, cómo no, a temas económicos. La NASA tenía un presupuesto anual de 17.000 millones de dólares, que se repartía básicamente entre la división de ciencia y la de exploración. El *problema* era que para cumplir los objetivos del programa Constelación se requerían muchísimos más millones de los que había asignado Bush. Y hasta saber qué presupuestos destinaría el futuro presidente de la Casa Blanca, de momento no cabía más que ir *robando* recursos de investigación científica en astrofísica, ciencias planetarias, astrobiología, y pasarlos a exploración. Evidentemente, muchos no estaban de acuerdo. El chismorreó era patente, y en conversaciones de pasillo voces importantes de la NASA consideraban que el programa para viajar a Marte había sido un error, y era preferible dar marcha atrás cuanto antes. Alan Stern, el ex jefe de la división científica de la NASA, ya había dimitido un par de meses atrás por discrepancias con las líneas y recortes en investigación básica seguidos por la agencia gubernamental. Si a todo esto le añadías que ir a la Luna requería inyectar una cantidad de dinero extra realmente considerable, el embrollo adquiría tintes casi cómicos. Entre quienes defendían que el conocimiento científico no era suficiente y que si se eliminaba el

sueño de poner un humano en Marte la NASA perdería gran parte de su razón de existir, un ponente argumentaba que la exploración con robots todavía tenía trabas: «Un geólogo en Marte sería muchísimo más versátil que un robot», expresó, provocando la réplica inmediata y descarada de otro asistente: «¿Tú sabes cuánto cuesta enviar un geólogo a Marte de manera segura y traerlo de vuelta? Eso no va a suceder».

Los más críticos con la exploración humana proponían un verdadero «cambio de rumbo» en la NASA. Le pedían que se olvidara de proyectos faraónicos como ir a Marte y ampliara horizontes científicos; que utilizara su sólida estructura y el indudable talento de sus científicos para profundizar en las investigaciones sobre el cambio climático, las nuevas energías, la aeronáutica civil y comercial, e incluso la tecnología militar.

La versión oficial, y lo que aparecía en los periódicos, era que los planes continuaban. Pero el cotilleo científico y el tono de algunas declaraciones hicieron que ya en julio de 2008, antes de la crisis económica y de saber quién residiría en la Casa Blanca, yo dejara textualmente escrito en el blog de *El País*: «Me atrevo a pronosticar que el próximo presidente de Estados Unidos dirá: “Tranquilos, que a Marte iremos, pero tardaremos un poco más de lo planeado. De momento, lo paramos”». Es exactamente lo que sucedió dieciocho meses después.

Obama y el fin de la carrera espacial: por lógica, no por la crisis

Barack Obama nunca mostró gran interés por enviar humanos al espacio. En su precampaña anunció que retiraría fondos del programa de exploración espacial para dedicarlos a la educación. Más tarde, al constatar sorprendido que esta intención recibía más críticas que elogios, rectificó y prometió que Estados Unidos liderara al mundo con un proyecto de exploración que incorporara humanos y robots. Pero en ninguno de sus discursos, incluso siendo ya presidente, se mostró decidido a mantener los planes de Bush. Más bien intentaba esquivar el asunto de cualquier manera. No lo mencionó ni de refilón en abril de 2009 durante el principal discurso en materia científica de su legislatura, pronunciado en la Academia Nacional de Ciencias. Sí dijo sin embargo: «El momento Sputnik de nuestra generación es romper nuestra dependencia de los combustibles fósiles». También fue muy significativo el sospechoso silencio que mantuvo en julio de 2009 en plena celebración del cuadragésimo aniversario de la llegada del hombre a la Luna. Hubiera sido el momento ideal para anunciar sus planes, pero no dijo ni mu. Reconozco que me parecía perfecto. Mi posición se estaba confirmando: no había motivos que justificaran enviar humanos de nuevo a la Luna o a Marte.

Asistí a un evento de dicho cuadragésimo aniversario organizado en la sede central de la NASA en Washington D. C., junto a siete de los doce astronautas que habían pisado la Luna con las misiones Apollo. Resultó obvio cuáles eran los motivos últimos de la conquista del espacio. Ni recoger materiales lunares como el helio-3, candidato a ser utilizado en fusión nuclear, ni poner telescopios en

la cara oculta de la Luna para evitar las interferencias de la atmósfera terrestre, justificaban un viaje tripulado. Y estaba claro que en pocos años los robots dejarían de ser más limitados para ciertas tareas que el cuerpo humano. Las mejoras tecnológicas derivadas del proyecto no justificaban poner en tal riesgo a los astronautas, y en todo caso serían menores que si el mismo dinero se aplicaba directamente y sin rodeos a la innovación. Había dudas de si el efecto inspirador que se logró en 1969 se iba a repetir en una sociedad donde la presencia física era cada vez menos importante. Incluso la búsqueda de nuevos territorios es parte de nuestros genes» está en entredicho; la ilusión intrínseca de nuestra especie por explorar nuevos mundos es uno de los argumentos más fuertes para los defensores, y más absurdos para los detractores. Además, volver a la Luna no tenía ningún aliciente si no era como preparación a un siguiente viaje a Marte. Nadie ocultaba que los principales motivos que le quedaban a Obama para asignar un dineral en mantener el plan Constellation eran los siguientes: afán explorador, orgullo nacional y liderazgo internacional. Estos tres eran los principales objetivos de los viajes tripulados. Las otras ventajas eran secundarias.

A mí, la carrera espacial ya no me motivaba en absoluto. Por lo menos tal y como estaba planteada. Estados Unidos, China, Rusia, la India y Japón estaban gastando dinero público en paralelo, «compitiendo» para plantar su banderita y sacar pecho a la antigua usanza. Era ofensivo. Si el principal motivo para enviar humanos a explorar el espacio era la tan codiciada inspiración social, y que la

humanidad lograra una nueva gran hazaña, perfecto. Hagámoslo. Pero todos juntos en una misión internacional que aunara esfuerzos y representara no sólo a un país, sino a todos los pueblos del mundo. Se podían ahorrar su orgullo nacional y el miedo a dejar de ser los líderes en todo; sonaba a capricho caduco.

Pasó lo que todo el mundo esperaba: en enero de 2010 Obama frenó el programa Constellation. El presidente anunció que debían continuar utilizando la Estación Espacial Internacional, diseñar mejores vehículos e ir a Marte cuando realmente estuvieran preparados y pudieran hacerlo sin poner en tanto riesgo las vidas de los astronautas. La crisis económica fue una excusa ideal utilizada por el gobierno de Estados Unidos y recogida por la prensa como el motivo de la cancelación de los planes para ir a la Luna. Tras haber seguido con atención lo ocurrido durante los dos años y medio antes de que se tomara esa decisión, opino que no ha sido la crisis económica sino la lógica lo que ha frenado —que no detenido— la futura expansión humana por el espacio.

En las próximas décadas volveremos a la Luna, y seguro que algún día un representante de la humanidad alcanzará la superficie de Marte, dejando esa fecha e imágenes selladas como uno de los más grandes hitos de la historia. Continúo confiando en poder vivirlo, pero sin que la misión viaje acompañada de banderitas. Ahora imagínate que ambas monedas poseen esta peculiar propiedad: van alternando cara y cruz a su aire, pero nunca están ambas en la misma posición. Forman parte de un mismo orbital atómico y, por algo llamado principio de exclusión de Pauli, siempre que una esté

en cara, la otra marcará cruz. Si giro una, la otra se girará automáticamente a la posición opuesta. Espera, no te vayas, continúa leyendo, merecerá la pena, lo prometo. Te voy a explicar uno de los fenómenos más inverosímiles de la naturaleza.

Estábamos con esas monedas-electrones que van cambiando constantemente entre cara y cruz, pero que de alguna manera están entrelazadas: según las leyes de la cuántica, nunca pueden estar ambas en cara o en cruz a la vez. Es físicamente imposible.

Imaginemos un poco más: coges con delicadeza ambas monedas-electrones, las metes en sendas cajitas sin mirar todavía qué marca cada una, y sin romper su entrelazamiento cuántico te las llevas una a Nueva York y la otra a Bangkok. ¿Qué tendrás entonces? Dos monedas, una en Nueva York y la otra en Bangkok, que en teoría van pasando de una posición a otra, pero continúan conectadas entre sí. Si en un momento determinado abres la caja de Nueva York y ves la moneda en cruz, la de Bangkok se paraliza de golpe en cara. Y si hubieras abierto la misma caja unos milisegundos más tarde y te hubiese salido cara, la otra se habría colapsado en cruz inmediatamente (recalquemos el *inmediatamente*). Esto, en teoría cuántica. En la práctica, ¿creéis que esto podría llegar a suceder?

Vayamos ahora a ese apasionante primer tercio del siglo XX, en el que la relatividad de Einstein y la mecánica cuántica competían para ver la que explicaba mejor la realidad del mundo que nos contiene.

Einstein no se tragaba algunas de las asunciones de la cuántica, sobre todo ese principio de Indeterminación de un tal Heisenberg,

según el cual en el mundo subatómico no había certezas y resultaba físicamente imposible conocer la posición y el movimiento exactos de una partícula en un instante determinado. O esas atroces ecuaciones de su estrambótico colega Schrödinger, implicando que las partículas estaban dispersas en varios lugares a la vez y su estado sólo quedaba definido en el momento que alguien las observaba. « ¡Claro que debían estar definidas en todo momento aunque nosotros no fuéramos capaces de medirlas! —pensaba Einstein—, y si la cuántica tenía Indeterminaciones, debía de ser porque todavía no estaba desarrollada del todo». Para demostrarlo, en 1935 Einstein propuso junto con Podolsky y Rosen el experimento mental EPR (por las siglas de sus nombres), que reflejaba una situación análoga a las cajitas con monedas cara y cruz separadas por miles de kilómetros de distancia.

En resumidas cuentas, lo que venía a decir Einstein era que si al abrir la caja de Nueva York ves la moneda en cara, y de golpe la de Bangkok aparece en cruz, será que, ¡siempre habían sido cara y cruz respectivamente! ¿Qué historia era ésa de que las partículas van cambiando de estado y comunicándose misteriosamente? Si al abrir la caja te hubiera salido cruz, pues esa moneda contenía la propiedad cruz; y la otra cara. Y punto. ¿Por qué lo tenía tan claro Einstein? Porque si era de otra manera se rompía un principio fundamental de las leyes de la naturaleza: «Si con la paradoja EPR coges dos partículas entrelazadas cuánticamente y te llevas una al otro extremo del sistema solar, físicos cuánticos locos, ¿me estáis diciendo que al observar una colapso *inmediatamente* la otra?

¡Imposible! pero ¿no os dais cuenta de que esto es una barbaridad?». Este *inmediatamente* rompe con el principio relativista de que nada puede viajar más rápido que la luz. Ni siquiera la información. « ¿O acaso tenéis alguna explicación coherente para el experimento EPR?», planteaba Einstein. En realidad, no la tenían. A lo único que podían aferrarse Bohr y otros físicos cuánticos era a sus ecuaciones matemáticas. La *lógica* en este caso estaba de parte de Einstein: si le dices a un tipo en Bangkok que abra una caja y ve una moneda en cruz, no le hagas creer que segundos antes era cara. Bueno... eso quizá podría ser, pero lo que no cuela de ninguna manera es que otra moneda en Nueva York vaya cambiando simultáneamente con la primera.

El planteamiento de Einstein es lógico, ¿no? ¡Ja! ¡¡¡Muerte a la lógica!!! ¡Que le den al sentido común! ¡¡¡Viva la ciencia!!! Por muy inverosímil que os parezca, ¡¡¡los físicos cuánticos tenían razón!!! Einstein andaba equivocado, y se hubiera comido su paradoja EPR si hubiera vivido más tiempo.

En 1964 el irlandés John Bell publicó un teorema que escondía un posible experimento para poner a prueba la paradoja EPR, y comprobar si la información podía viajar de manera inmediata entre dos partículas entrelazadas cuánticamente. En el fondo, Bell construyó su teorema pensando que terminaría dando la razón a Einstein, y probaría que dos partículas no podían estar correlacionadas hasta el grado que aseguraba la cuántica, pero nunca llegó a realizar el experimento definitivo. Fue en 1982 cuando sí pudo llevarlo a cabo el francés Alain Aspect. ¿Y sabéis qué?

¡Exacto! Contrariamente a lo que Bell y Einstein suponían, cuando por fin se pudo realizar el experimento EPR, quedó demostrado que dos fotones entrelazados cuánticamente sí podían comunicarse sus propiedades de manera instantánea a pesar de estar separados largas distancias. La paradoja EPR dio la razón a la cuántica, demostrando de nuevo que la realidad es más insólita de lo que podemos llegar a imaginar: si tienes dos electrones entrelazados, uno en Nueva York y el otro en Bangkok, y al mirar a uno ves que es cara (*spin-up*), el otro inmediatamente será cruz (*spin-down*). Y si te hubieras esperado unos instantes y hubiese salido cruz, el otro sería cara. ¡Fantástico!

¡Ah!, y no hay truco. Esto se ha corroborado en muchísimas otras ocasiones.

Si os sentís incrédulos, perplejos, pensáis que algo no encaja, o creéis que no habéis terminado de entender el fenómeno en profundidad, no os preocupéis, a una gran parte de los físicos también les ocurre.

Quizá por eso, mientras unos intentan aprovechar las propiedades de este misterioso entrelazamiento cuántico en criptografía, computación cuántica, o teletransportación, otros nos quedamos simplemente ensimismados con las fabulosas elucubraciones filosóficas que sugiere sobre la estructura de la naturaleza, fascinados con las viejas y nuevas historias, y expectantes ante qué nuevas sorpresas nos irá deparando esta maravilla que es la comprensión científica del mundo.

§7. Qué diantre es un entrelazamiento cuántico

Imagínate un par de electrones como si fueran si fueran dos monedas idénticas, una marcando cara y la otra marcando cruz.



Ahora imagínate que ambas monedas poseen esta peculiar propiedad: van alternando cara y cruz a su aire, pero nunca están ambas en la misma posición. Forman parte de un mismo orbital atómico y, por algo llamado principio de exclusión de Pauli, siempre que una esté en cara, la otra marcará cruz. Si giro una, la otra se girará automáticamente a la posición opuesta. Espera, no te vayas, continúa leyendo, merecerá la pena, lo prometo. Te voy a explicar uno de los fenómenos más inverosímiles de la naturaleza.

Estábamos con esas monedas-electrones que van cambiando constantemente entre cara y cruz, pero que de alguna manera están

entrelazadas: según las leyes de la cuántica, nunca pueden estar ambas en cara o en cruz a la vez. Es físicamente imposible.

Imaginemos un poco más: coges con delicadeza ambas monedas-electrones, las metes en sendas cajitas sin mirar todavía qué marca cada una, y sin romper su entrelazamiento cuántico te las llevas una a Nueva York y la otra a Bangkok. ¿Qué tendrás entonces? Dos monedas, una en Nueva York y la otra en Bangkok, que en teoría van pasando de una posición a otra, pero continúan conectadas entre sí. Si en un momento determinado abres la caja de Nueva York y ves la moneda en cruz, la de Bangkok se paraliza de golpe en cara. Y si hubieras abierto la misma caja unos milisegundos más tarde y te hubiese salido cara, la otra se habría colapsado en cruz inmediatamente (recalquemos el inmediatamente). Esto, en teoría cuántica. En la práctica, ¿creéis que esto podría llegar a suceder?

Vayamos ahora a ese apasionante primer tercio del siglo XX, en el que la relatividad de Einstein y la mecánica cuántica competían para ver la que explicaba mejor la realidad del mundo que nos contiene.

Einstein no se tragaba algunas de las asunciones de la cuántica, sobre todo ese principio de indeterminación de un tal Heisenberg, según el cual en el mundo subatómico no había certezas y resultaba físicamente imposible conocer la posición y el movimiento exactos de una partícula en un instante determinado. O esas atroces ecuaciones de su estrambótico colega Schrödinger, implicando que las partículas estaban dispersas en varios lugares a la vez y su estado sólo quedaba definido en el momento que alguien las

observaba. « ¡Claro que debían estar definidas en todo momento aunque nosotros no fuéramos capaces de medirlas! —pensaba Einstein—, y si la cuántica tenía Determinaciones, debía de ser porque todavía no estaba desarrollada del todo». Para demostrarlo, en 1935 Einstein propuso junto con Podolsky y Rosen el experimento mental EPR (por las siglas de sus nombres), que reflejaba una situación análoga a las cajitas con monedas cara y cruz separadas por miles de kilómetros de distancia.

En resumidas cuentas, lo que venía a decir Einstein era que si al abrir la caja de Nueva York ves la moneda en cara, y de golpe la de Bangkok aparece en cruz, será que, ¡siempre habían sido cara y cruz respectivamente! ¿Qué historia era ésa de que las partículas van cambiando de estado y comunicándose misteriosamente? Si al abrir la caja te hubiera salido cruz, pues esa moneda contenía la propiedad cruz; y la otra cara. Y punto. ¿Por qué lo tenía tan claro Einstein? Porque si era de otra manera se rompía un principio fundamental de las leyes de la naturaleza: «Si con la paradoja EPR coges dos partículas entrelazadas cuánticamente y te llevas una al otro extremo del sistema solar, físicos cuánticos locos, ¿me estáis diciendo que al observar una colapso inmediatamente la otra? ¡Imposible! pero ¿no os dais cuenta de que esto es una barbaridad?». Este inmediatamente rompe con el principio relativista de que nada puede viajar más rápido que la luz. Ni siquiera la información. « ¿O acaso tenéis alguna explicación coherente para el experimento EPR?», planteaba Einstein. En realidad, no la tenían. A lo único que podían aferrarse Bohr y otros

físicos cuánticos era a sus ecuaciones matemáticas. La lógica en este caso estaba de parte de Einstein: si le dices a un tipo en Bangkok que abra una caja y ve una moneda en cruz, no le hagas creer que segundos antes era cara. Bueno... eso quizá podría ser, pero lo que no cuela de ninguna manera es que otra moneda en Nueva York vaya cambiando simultáneamente con la primera.

El planteamiento de Einstein es lógico, ¿no? ¡Ja! ¡¡¡Muerte a la lógica!!! ¡Que le den al sentido común! ¡¡¡Viva la ciencia!!! Por muy inverosímil que os parezca, ¡¡¡los físicos cuánticos tenían razón!!! Einstein andaba equivocado, y se hubiera comido su paradoja EPR si hubiera vivido más tiempo.

En 1964 el irlandés John Bell publicó un teorema que escondía un posible experimento para poner a prueba la paradoja EPR, y comprobar si la información podía viajar de manera inmediata entre dos partículas entrelazadas cuánticamente. En el fondo, Bell construyó su teorema pensando que terminaría dando la razón a Einstein, y probaría que dos partículas no podían estar correlacionadas hasta el grado que aseguraba la cuántica, pero nunca llegó a realizar el experimento definitivo. Fue en 1982 cuando sí pudo llevarlo a cabo el francés Alain Aspect. ¿Y sabéis qué? ¡Exacto! Contrariamente a lo que Bell y Einstein suponían, cuando por fin se pudo realizar el experimento EPR, quedó demostrado que dos fotones entrelazados cuánticamente sí podían comunicarse sus propiedades de manera instantánea a pesar de estar separados largas distancias. La paradoja EPR dio la razón a la cuántica, demostrando de nuevo que la realidad es más insólita de lo que

podemos llegar a imaginar: si tienes dos electrones entrelazados, uno en Nueva York y el otro en Bangkok, y al mirar a uno ves que es cara (spin-up), el otro inmediatamente será cruz (spin-down). Y si te hubieras esperado unos instantes y hubiese salido cruz, el otro sería cara. ¡Fantástico!

¡Ah!, y no hay truco. Esto se ha corroborado en muchísimas otras ocasiones.

Si os sentís incrédulos, perplejos, pensáis que algo no encaja, o creéis que no habéis terminado de entender el fenómeno en profundidad, no os preocupéis, a una gran parte de los físicos también les ocurre.

Quizá por eso, mientras unos intentan aprovechar las propiedades de este misterioso entrelazamiento cuántico en criptografía, computación cuántica, o teletransportación, otros nos quedamos simplemente ensimismados con las fabulosas elucubraciones filosóficas que sugiere sobre la estructura de la naturaleza, fascinados con las viejas y nuevas historias, y expectantes ante qué nuevas sorpresas nos irá deparando esta maravilla que es la comprensión científica del mundo.

§8. Supercuerdas, agujeros negros, gravedad cuántica y el misterio de las dimensiones ocultas

Una de las discusiones más profundas en el mundo de la física entre teóricos, físicos de partículas, cosmólogos, cuánticos es, ¿por qué hay menos mujeres en esta profesión?! De los muchos e importantes factores que pueden influir en esta gran preocupación

(para ellos), tuve la oportunidad de muestrear uno de los menos relevantes cuando Ivan Semenijk nos envió un *mail* a los diez Knight Fellows del MIT preguntando si queríamos acompañarle a una cita privada con un físico teórico de Harvard interesantísimo, para hablar de gravedad cuántica, teoría de cuerdas, dimensiones ocultas, supersimetría y agujeros negros. Acudimos los cinco chicos, y ninguna de las cinco chicas. Estaba reflexionando sobre si —por algún motivo— ya desde un principio a las mujeres les interesaba menos la física teórica que a los hombres, hasta que de golpe, en cuanto empezó la conversación, el físico Nima Arkani-Hamed dijo: «A mí en realidad no me importan las partículas subatómicas con nombres estúpidos. Me da igual si algo está hecho de mesones K o Q. Eso de los ladrillos que constituyen la materia me deja indiferente, porque es como el alfabeto. A mí lo que realmente me interesa son las leyes que rigen la naturaleza. No es que las partículas no sean importantes, pero lo de verdad cautivador es la historia que nos cuenta, la novela. Eso es lo apasionante, y lo que queremos averiguar».

Su provocación nos introdujo de inmediato en la conversación, y no exagero al decir que viajamos por el mundo más inverosímil que os podáis imaginar.

Empecemos enfocando el problema fundamental que científicos como Nima Arkani-Hamed quieren resolver: qué diantre es algo tan corriente como la gravedad. Me explico. La relatividad general de Einstein define la gravedad como una deformación del espacio, y sus ecuaciones predicen con absoluta exactitud el movimiento de

todos los cuerpos que puedas observar. Su precisión es impresionante. Sin embargo, cuando nos enfrentamos a un electrón orbitando dentro en un átomo, ahí la relatividad se pierde. Sus fórmulas matemáticas son incapaces de definir qué le ocurre a ese electrón, por qué no pierde energía y cómo es que no termina cayendo encima del núcleo. Estos enigmas, sin embargo, los explica con un grado de detalle exquisito la mecánica cuántica, quizá la teoría científica más corroborada que existe. Pero la física cuántica también sufre un grave problema: ni siquiera ha oído hablar de la fuerza de la gravedad. Como no la necesita para describir con exactitud cómo funciona el mundo subatómico, para ella es como si no existiera. Y claro, cuando utiliza sus ecuaciones cuánticas para intentar predecir algún sistema macroscópico que sí se ve afectado por la gravedad, falla estrepitosamente. Quizá estés pensando: «¿Dónde está el problema? Si tan bien funcionan por separado, utilizad relatividad o cuántica cuando os convenga y sanseacabó». De hecho, es lo que se está haciendo; pero los físicos son caprichosos y no soportan tener que describir el mundo con dos paquetes de ecuaciones tan diferentes e incompatibles, aunque sean tremendamente exitosas por separado. Quieren una única teoría del todo. Ciertamente que a nivel práctico no es un gran problema, porque cuando algo es tan pequeño que se rige por las leyes de la cuántica los efectos de la gravedad son despreciables, y a la inversa. Pero esto no resulta intelectualmente satisfactorio. Y, además, hay excepciones. La más conocida son los agujeros negros, el paradigma

de sistema que muestra efectos cuánticos y gravitacionales al mismo tiempo.

En realidad, el concepto de agujero negro es muy sencillo: según la relatividad general, se trata de una concentración de masa tan grande que deforma el espacio de manera extrema y se traga todo lo que pasa por allí. No deja escapar nada, ni siquiera la luz. Sin embargo, en 1974 Stephen Hawking estableció que, debido a efectos cuánticos y al principio de Indeterminación, en la parte más exterior de los agujeros negros (lo que llaman horizonte), deben tener una temperatura mínima y emitir al exterior cierto tipo de radiación. Los científicos, en efecto, saben que esto ocurre así, pero no logran explicarlo matemáticamente. Para entender y poder caracterizar por completo un agujero negro deberían combinar las ecuaciones de la teoría de la relatividad y las de la mecánica cuántica. Y no encajan de ninguna manera.

¿Solución al «problema»? Aceptar que ambas teorías son incompletas, no se pueden unir, y buscar unas ecuaciones radicalmente nuevas que describan al mismo tiempo el mundo subatómico y la gravedad; una teoría de la gravedad cuántica. Fácil, ¿no? Bueno, ése fue el sueño de Einstein, y es lo que los físicos llevan buscando desde hace décadas. Pero el primer candidato firme no llegó hasta la década de 1960: la teoría de cuerdas.

Esta controvertida teoría que para algunos es física, para muchos matemáticas y para otros una pérdida de tiempo, parte de la base de que las partículas elementales que ves como un punto en un espacio de tres dimensiones en realidad son minúsculas líneas que

se extienden por otras dimensiones que no puedes percibir. Imagínate que dejas un zapato encima de la acera, te alejas 200 metros de él, y al primero que pase por tu lado le preguntas: «¿Qué es ese bulto que ves allí?». Te dirá que no lo sabe, que lo único que ve es un punto oscuro. Os aproximáis un poco y le vuelves a preguntar, pero continúa viendo algo indescifrable. Sólo a medida que se acerque lo suficiente conseguirá finalmente distinguir la forma del zapato. Algo parecido ocurre cuando observamos partículas subatómicas como neutrones o protones. Para nosotros son puntos, pero algunos científicos creen que si lográramos acercarnos lo suficiente veríamos que en realidad están constituidos por cuerdecitas diminutas vibrando dentro de unas dimensiones extra invisibles. Pero no es sólo cuestión de forma externa; la manera en que estas cuerdas vibran dentro del espacio multidimensional es lo que las convierte en un electrón, un quark, un gluón, o cualquier otra partícula. Incluso, según los teóricos, uno de los modos de vibración fundamentales de las cuerdas es el de una partícula que sería la transmisora de la fuerza de la gravedad, y cuyas ecuaciones trasladadas a sistemas macroscópicos terminarían correspondiendo con las de la relatividad general de Einstein. Aquí aparece la tan ansiada fusión entre el mundo macroscópico y el nanoscópico.

Con todo este embrollo, al final los físicos de cuerdas han sido capaces de construir unas ecuaciones matemáticas que describen tanto a las partículas subatómicas como a la gravedad. Y la verdad, les cuadran bastante bien. Desde la década de 1970 las han estado

puliendo, creando diferentes versiones de la teoría, y logrando describir con ellas una considerable serie de fenómenos físicos. Pero hay un par de problemillas; uno que concierne a los científicos, y otro que mosquea al resto de los mortales. Empecemos por el segundo: las ecuaciones de la teoría de cuerdas implican que a nivel microscópico existen otras dimensiones aparte de las arriba-abajo, izquierda-derecha y delante-detrás a las que estamos acostumbrados. Claro, esto parece una locura y desafía al sentido común: « ¿Nos estáis diciendo que vivimos en un universo lleno de dimensiones invisibles?», le preguntaríamos a un matemático de cuerdas, a lo que él respondería: «Bueno, sí, pero no te asustes; once como máximo. Y algunos modelos sólo prevén cinco». Tranquilo nos deja, pero el tipo continúa: « ¡Ah! Se me olvidaba un pequeño detalle: también existen universos paralelos. Cada uno en una membrana del espacio a las que llamamos branas, no me mires así, no lo digo yo. Lo dice la teoría M». Complicado, muy complicado. Suena increíble. Pero una manera de plantearlo es: ¿y por qué no? Al fin y al cabo la ciencia nos ha sorprendido en muchas otras ocasiones. Obvio, pero ante esto alguien también puede responder: ¿y por qué sí? Hasta que un tercero se harta y pone el dedo en la llaga: ¿tenéis alguna prueba? Entonces los físicos de cuerdas agachan la cabeza y confiesan el primer problemilla que mencionábamos: después de cuatro décadas de trabajo, no tienen ninguna prueba experimental que la demuestre. Tragan saliva ante las miradas inquisidoras. Pero enseguida recuperan de nuevo su bravura y replican que tampoco tenía pruebas Einstein cuando

predijo matemáticamente que la gravedad no era una fuerza, sino una consecuencia de la deformación del espacio causada por la masa de los objetos. A pesar de que todos los indicios matemáticos decían que Einstein tenía razón, muchos se escudaban en el sentido común para asegurar que su teoría no tenía sentido físico alguno. No fue hasta 1919 cuando se pudo demostrar experimentalmente su relatividad general, aprovechando el eclipse más famoso de la historia. Los expertos en teoría de cuerdas se encuentran en una situación parecida; su formalismo matemático hace muy buenas predicciones, ha conseguido diversos éxitos en el campo de la física teórica, y es la única teoría conocida que reconcilia la cuántica con la gravedad. Y muchos están plenamente convencidos de la existencia de dimensiones ocultas a nivel microscópico, pero por el momento no hay un experimento que pueda probar su existencia real en el mundo físico.

Esto puede cambiar cuando el gran colisionador de hadrones (LHC) permita rastrear regiones del espacio extremadamente diminutas en que se puedan encontrar indicios de la existencia de otras dimensiones. En concreto, Lisa Randall, de Harvard, nos explicó durante una charla su sueño de hallar unas partículas llamadas Kaluza Klein que viajan entre esas dimensiones extras y significarían la prueba experimental de estas dimensiones ocultas. Nadie se atreve a predecir cuándo seremos capaces de comprobar qué partes de la teoría de cuerdas son ciertas y cuáles no. Quizá termine siendo una teoría de nada. Pero algunos estamos convencidos de que el siglo XXI nos regalará una revolución en

nuestra concepción del cosmos, de mayor escala incluso que la protagonizada por Einstein. No me sorprendería en absoluto si un día los periódicos anunciaran la existencia de dimensiones ocultas y posibles universos paralelos.

Nima Arkani-Hamed tenía razón; el camino hacia encontrar una teoría del todo que describa el espacio que nos contiene, y en un solo modelo matemático relacione las cuatro fuerzas fundamentales (interacción fuerte, débil, electromagnetismo y gravedad) con todos los constituyentes de la materia, es una de las novelas más apasionantes que se puedan contar.

Capítulo IV

El sumiller científico

Contenido:

- § 1. Huevos para adelgazar: ¿creer al médico o al investigador?
- § 2. Acupuntura: ¿tienes alma de escéptico, médico o científico?
- § 3. Science y Nature acusadas de distorsionar la ciencia
- § 4. Los científicos también mienten
- § 5. Aprovechar la investigación básica: asignatura pendiente
- § 6. Los límites de la epidemiología
- § 7. Machismo inconsciente en la ciencia
- § 8. Animales de laboratorio en el metro
- § 9. Cuando la ciencia y Dios se buscan
- § 10. Creacionismo absurdo
- § 11. Liberados de los genes: Darwin no explica el amo
- § 12. Patentes: investigar para curar o para enriquecer

Adoro la ciencia. Es una fuente continua de novedades, nos aporta infinidad de beneficios, y dejarte llevar mentalmente por sus fascinantes parajes resulta muy estimulante. Pero cuando algo te apasiona, también te vuelves más quisquilloso. No es una contradicción. Imagina a ese experto en vinos que disfruta como nadie con los caldos de calidad, pero que considera horrendo un vino que nosotros catalogaríamos de aceptable. Varias veces durante mi periplo científico en Boston me sentí una especie de *sumiller científico*, deleitándome desmesuradamente en ocasiones, pero siendo cada vez más meticuloso con ciertas investigaciones que

no me convencían o amenazaban esa supuesta integridad de la ciencia. Considerar la ciencia como un proceso popperiano casi perfecto constituido por una etapa libre de generación de hipótesis, seguida de una experimentación rigurosa para ponerlas a prueba y un análisis objetivo de los resultados que desemboque en unas conclusiones imparciales, es fijarse sólo en una parte muy restringida del método científico. Como cualquier otra actividad humana, la ciencia está influida por nuestras propias imperfecciones y por la sociedad que la contiene. El científico suele hacerse un tipo de preguntas dentro del laboratorio, y el sociólogo de la ciencia otras de carácter mucho más crítico sobre el entorno humano, social, ético y político que lo rodea. Por eso, y porque lo contrario al amor no es el odio sino la indiferencia, también hay momentos en los que toca ser un poco crítico con tus amigos más cercanos.

§1. Huevos para adelgazar: ¿creer al médico o al investigador?

Cuando un investigador consigue unos resultados que le parecen novedosos escribe un artículo científico. En él redacta una introducción, describe la metodología de los experimentos que ha realizado, presenta de manera muy clara los resultados obtenidos, y plantea unas conclusiones. Le añade la bibliografía de referencia, un resumen conciso al inicio del texto, los nombres de todos lo que participaron en el estudio, y lo envía a una revista científica de referencia para solicitar que sea publicado. Si al editor no le encaja, puede descartar el artículo directamente. Pero si le gusta, lo

distribuye a una serie de expertos en ese campo de investigación que, de forma anónima, darán su opinión acerca del trabajo. Estos *referees* pueden vetar el artículo a la primera de cambio, pero lo normal es que pidan correcciones, más experimentos, aclaraciones. Entonces el editor se lo comunica al autor, que regresará al laboratorio para completar los datos o experimentos solicitados. Cuando los tiene, vuelve a enviar el artículo al editor, y éste a los *referees*. Si todavía no quedan satisfechos, el ciclo empieza de nuevo. Pero si dan su visto bueno, la revista acepta el artículo y lo prepara para su publicación. Este estricto sistema de revisión es el que en principio avala que la investigación publicada es rigurosa y merece ser compartida con toda la comunidad de investigadores que quieran consultarla.

Si además la revista científica considera que el nuevo descubrimiento también puede ser interesante para el gran público, distribuye notas de prensa anunciándolo. Eurekalert es uno de los servicios que las aglutina y envía por *mail* a los periodistas científicos dos o tres días antes de que sean publicadas. Estas noticias están «embargadas»; eso significa que el periodista puede documentarse, preparar el artículo, hacer entrevistas... pero tiene prohibido darlas a conocer hasta un día y hora determinado. La verdad es que las notas de prensa presentan el tema muy bien mascadito. Si os habéis preguntado por qué ciertas investigaciones atemporales aparecen el mismo día en varios medios a la vez y planteadas de forma tan similar, éste es el motivo.

Yo consulto los titulares de Eurekalert cada mañana cuando llegan a mi correo. Es una buena forma de ir siguiendo la actualidad, y siempre encuentras algún estudio que te llama la atención. Por ejemplo, me dejó intrigadísimo una nota de prensa diciendo que «desayunar dos huevos cada día ayuda a perder peso». En la investigación publicada por científicos estadounidenses en agosto de 2008, se comparó un grupo de personas cuyo desayuno incluía dos huevos al día y otro que ingería la misma cantidad de calorías comiendo una especie de bollos de pan que en Estados Unidos llaman *bagels*¹⁰. Al inicio del estudio todos los miembros de ambos grupos sufrían sobrepeso y fueron sometidos a una dieta de restricción calórica, pero los que tomaron huevos para desayunar perdieron un 65 por ciento más de peso en dos meses que los que comieron *bagels*. La hipótesis era que, al tener proteínas y otro tipo de grasas, los huevos son más saciantes que el pan y resulta mucho más fácil seguir la dieta y comer menos durante el almuerzo. Tiene sentido, no digo que no. Pero lo que me dejó mosqueado era otra frase del artículo: «Los niveles de colesterol y triglicéridos no variaron entre quienes consumieron huevos o *bagels*. Este resultado es consistente con los más de treinta años de investigaciones, concluyendo que los adultos sanos pueden comer huevos sin que esto aumente su riesgo de enfermedad cardíaca».

Confieso tener cierta apatía por las noticias de nutrición. El programa de doctorado que cursé en la Universidad Rovira i Virgili de Tarragona justo antes de abandonar la ciencia de laboratorio era

¹⁰ J.S. Vander Wal, A. Gupta, P. Khosla y N. V. Dhurandhar, «Egg breakfast enhances weight loss», *International Journal of Obesity* 32, 10 (2008), pp. 1.545-1.551.

sobre nutrición y metabolismo. Soy consciente de la importancia de comer sano, de la trascendencia de la nutrición en ciertas enfermedades concretas, y de los buenos estudios que hacen avanzar esta ciencia. No hay duda. Pero me chirría ver cómo por el camino entre el laboratorio y la opinión pública se exageran (a veces por culpa de los medios, y otras por culpa de los propios científicos) los mil beneficios del aceite de oliva, los «milagros» de la soja, las propiedades anti cancerígenas del té, la absoluta necesidad de comer frutos secos... y sobre todo los mensajes contradictorios que en ocasiones hacen que no sepas *a ciencia cierta* cuál es el consejo a seguir. Por ejemplo, con los huevos. Ya me sonaba que no eran tan malos para el colesterol como se había dicho en un principio, pero no había oído que estando sano pudieras comer dos huevos al día sin preocuparte. Entonces, y aquí viene la parte que más me interesa, ¿cómo podemos contrastar si esto es cierto o no? Hay diversas maneras. La peor es fiarte de lo que un texto como éste pueda decir. Tienes dos métodos mucho mejores:

1ª opción: preguntar a un experto. En el momento en que leí el artículo no conocía a nadie que investigara directamente sobre los huevos, pero contacté con tres nutricionistas y un médico entre mis conocidos, y ninguno me dijo que podía comer dos huevos cada día tranquilamente. Uno de ellos sí sabía que la ingesta de colesterol estaba poco relacionada con los niveles en sangre, pero afirmó que él no consumiría dos huevos diarios tan alegremente. Una nutricionista me dijo que ella no recomendaba más de cuatro a la semana, y proponía hacer

tortillas sólo con las claras (era estadounidense, lo has adivinado). Otra también citó que el «consenso científico» son cuatro, y lo importante es el equilibrio en lo que comas. Insisto: mi muestra era pobre y azarosa, y ninguno de los consultados era especialista en huevos. Pero los cuatro tenían pacientes a los que aconsejaban cómo alimentarse.

2ª opción: buscar en la literatura científica. Pubmed es el motor de búsqueda donde puedes encontrar cualquier artículo científico publicado en el ámbito de la medicina. Si ese agosto de 2008 ponías *egg* y *cholesterol*, te aparecían 2.495 artículos y 100 revisiones (piezas más largas que repasan y consensuan el estado de la cuestión). Ordené las revisiones por fecha, busqué en los resúmenes las que hablaban directamente de la relación entre comer huevos y los niveles de colesterol en sangre, imprimí los más recientes, y miré las conclusiones *bagels*¹¹. Sorpresa: salvo en personas con cierta predisposición, hay unanimidad en la escasa relación entre la ingesta de huevos y el colesterol en sangre. La sospecha nació hace años, cuando se pensaba que si la yema del huevo tenía cantidades de colesterol tan elevadas, entonces «por lógica» su ingesta debía aumentar el colesterol sanguíneo. Los siete estudios que revisé decían que no era así, que se trataba de un mito. Aseguraban que el verdadero problema nutricional eran las grasas saturadas, y que el huevo era muy beneficioso y no debía restringirse.

¹¹ Los primeros autores de los siete artículos revisados son M. Kratz, D. Novello, M. L. Fernández, M. Scharer, T. B. Butarbutar, B. E. McDonald y S. B. Kritchevsky.

Esto me generó un par de dudas. La primera: ¿a quién creemos?, ¿a la persona que nos aconseja, o a los estudios? Una de las grandes lecciones que la ciencia nos ofrece para implantar en nuestra vida cotidiana es la toma de decisiones basadas en la evidencia. Éste es el factor clave del progreso científico, el corregir constantemente las creencias cuando las evidencias de la experimentación lo sugieren. Hacer caso a los hechos y no a las personas conlleva más aciertos. El principio de autoridad y el sentido común no se llevan muy bien con la ciencia. Por lo tanto, me inclino a confiar mucho más en el Pubmed que en mis consultados. Incluso a veces muestro serios reparos en ciertos científicos que entrevisto. Y la segunda duda: si realmente los investigadores llevan tantos años diciendo que comer huevos no aumenta el colesterol, ¿qué les pasa a los profesionales a quienes pregunté? ¿Acaso no se creen tales publicaciones? ¿O no han actualizado los conocimientos que alguien les dio en su momento? Que nadie se moleste. No pretendo promover el consumo de huevos, ni sembrar desconfianzas en ningún sector profesional. Reconozco que la muestra de cuatro personas al azar que tomé no tiene por qué ser representativa de la mayoría de los expertos. Simplemente, se trata de trasladar unas reflexiones, que por otra parte son muy, pero que muy trascendentes. En su momento la ciencia inculcó en la opinión pública que debíamos moderarnos ante algo tan exquisito como un huevo frito, o esa añorada y maravillosa tortilla de patatas con cebollita, y ahora parece retractarse, ¡el asunto no es trivial en absoluto!

§2. Acupuntura: ¿tienes alma de escéptico, médico o científico?

Uno de los estudios que más me hizo reflexionar a mí y a los lectores del blog «Apuntes científicos desde el MIT» fue el citado por Wayne Jonas durante una conferencia sobre los efectos fisiológicos de la sugestión, en los Institutos Nacionales de la Salud (NIH) de Estados Unidos. Jonas era director del Centro Nacional de Medicina Complementaria y Alternativa, el instituto gubernamental que se dedica a investigar científicamente qué hay de bueno, neutro y malo en la medicina tradicional y las terapias alternativas.

El estudio era un ensayo clínico randomizado que analizó la eficacia de la acupuntura como terapia para el dolor de espalda crónico en la zona lumbar, una dolencia para la que el tratamiento farmacológico convencional es poco satisfactorio¹².

Se dividió en tres grupos a 1.162 pacientes cuyo historial médico reflejaba un mínimo de ocho años de dolor de espalda. Al primer grupo se le aplicó dos sesiones de treinta minutos de acupuntura por semana durante un par de meses, siguiendo los principios de la medicina tradicional china. Al segundo se le hizo exactamente lo mismo pero con acupuntura «falseada»: aunque los pacientes creían que recibían un tratamiento normal de acupuntura, los pinchazos se realizaban de manera superficial, y en puntos que los expertos

¹² Michael Haake, PhD, MD; Hans-Helge Müller, PhD; Carmen Schade-Brittingr; Heinz D. Basler, PhD; Helmut Schaibr, PhD; Christoph Maier, PhD, MD; Heinz G. Endres, MD; Hans J. Trampisch, PhD; Albrecht Molsberger, PhD, MD, «German acupuncture trials (GERAC) for chronic low back pain; randomized, multicenter, blinded, parallel-group trial with 3 groups», *Archives of Internal Medicine* 167, 17 (2007), pp. 1.892-1.898.

reconocían como inactivos. El tercer grupo siguió una terapia convencional con medicación y tabla de ejercicios.

Los resultados me parecieron reveladores: los dos grupos que recibieron acupuntura, tanto la verdadera como la falseada, experimentaron el mismo grado de reducción del dolor de espalda, ¡casi el doble que con la terapia convencional! Las conclusiones son obvias: los pinchazos estratégicos para conectar meridianos y equilibrar el yin y el yang no parece que sean el elemento clave para quitar el dolor de espalda. Sin embargo, sí hay «algo» en la acupuntura (podría ser un efecto placebo más poderoso, pero no se sabe todavía) que en este caso específico hace que funcione.

¿Qué hacemos entonces?, ¿apostamos por la acupuntura o no? Wayne Jonas dijo que depende del día y la piel del profesional en la que se mete tiene diferentes sentimientos. Yo diría que hay tres posicionamientos básicos que, evidentemente, no son estancos:

El escéptico: «Este estudio demuestra que la acupuntura no tiene sentido. Si pinchar al tuntún conlleva el mismo efecto que las sesiones conducidas por un experto, la base sobre la que se sustenta la acupuntura no es sólida, y por tanto no debería ser aplicada».

El médico: «Yo lo que quiero es mejorar la calidad de vida de mis pacientes. Viendo este estudio, si me encuentro con una persona cuyo dolor de espalda lumbar no cesa con el tratamiento convencional, y me pregunta por la acupuntura, no le desanimaré en absoluto».

El científico: « ¡Uau!, qué interesante, ¡yo lo que quiero es averiguar qué está pasando! Sin duda aquí está actuando *algo* que desconocemos y merece mucho la pena ser investigado. Discutid vosotros, yo me voy al laboratorio a buscar más información sobre el tema».

Las categorías son artificiosas y se admiten múltiples combinaciones. Son términos sólo «para entendernos», y en ningún caso representan la postura de un perfil profesional determinado. Pero si tuvierais que identificaros con una de las posiciones descritas (escéptico, médico o científico), ¿cuál escogeríais? Más profesionales de los que te imaginas lo tienen claro.

Médicos que recetan placebos

Un estudio realizado por la Harvard Medical School y el Departamento de Bioética de los NIH encuestó a 679 reumatólogos y especialistas en medicina interna estadounidenses¹³. El 62 por ciento de ellos afirmaron que era éticamente aceptable «engañar» a los pacientes con placebo si no se disponía de un remedio mejor que la sugestión para ayudarles. Y, de hecho, la mitad de ellos reconocieron hacerlo de manera habitual.

Las sustancias más utilizadas eran analgésicos (41 por ciento) y vitaminas (38 por ciento), unos pocos recetaban píldoras salinas o de azúcar, y hasta el 13 por ciento daban antibióticos.

El 86 por ciento de los que seguían esta estratagema los solía presentar a sus pacientes como un medicamento que les iba a

¹³ Jon C. Tilburt, Ezekiel J. Emanuel, Ted J. Kaptchuk, Farr A. Curlin, Franklin G. Miller, «Prescribing “placebo treatments”: results of national survey of US internists and rheumatologists British», *Medical Journal* 337 (2008), a1938.

ayudar, el 9 por ciento como un fármaco sin efectos conocidos para su enfermedad, y sólo el 5 por ciento confesaban que les estaban recetando un placebo.

Un placebo es una sustancia que el enfermo se toma creyendo que es una medicina, pero que no tiene ninguna actividad terapéutica relacionada con la dolencia que pretende tratar. A pesar de ello, la sugestión crea un «efecto placebo» que hace mejorar los síntomas del paciente.

La existencia tanto del efecto placebo como del nocebo (empeoramiento por creer que algo inocuo te va a provocar un daño) está hartamente demostrada. En los ensayos clínicos diseñados para comprobar la eficacia de un fármaco, a una parte de los participantes se les da el medicamento, y a la otra algo parecido pero sin el principio activo. Justamente porque si a una parte de los enfermos les das el placebo y a la otra nada de nada, los que creen haber sido medicados evolucionan significativamente mejor.

Pero el efecto placebo sólo funciona si estás realmente engañado, si de verdad crees que te estás tomando un fármaco que va a curarte. Esta triquiñuela no es reprochable en un estudio clínico, pero ¿y en las consultas con pacientes de verdad? Como reconocen el 62 por ciento de los profesionales encuestados. ¿Os parecería ético que si un médico no dispone de una opción mejor, os mintiera por vuestro bien?

Es curioso que desde la medicina convencional tan a menudo se critiquen —y muchas veces con razón— ciertas prácticas alternativas diciendo que son una estafa porque los efectos positivos

no son más que residuos de un efecto placebo temporal, y este estudio demuestre que tantos médicos recurren a este mismo engaño.

Ayuditas inocentes a tu terapia convencional

Pero ricemos un poco el rizo. ¿Cuál es el recurso sobrenatural que más ha sido utilizado en la historia para intentar recobrar la salud? Las plegarias religiosas. Rezar, o cualquier otro rito en el que se le pida a un ser superior que te ayude a ti o a los tuyos. Diría que bastantes creyentes habrán pedido en algún momento de sus vidas que su Dios preferido interfiera a distancia en las reacciones bioquímicas de sus cuerpos, o les dé fuerzas milagrosas para superar la enfermedad. No pretendo en absoluto tomarme a broma esta opción personal tan lícita. Utilizo estos términos demasiado sarcásticos para exponer que por muy irracional que pueda parecer, ¡funciona!

Los científicos han demostrado que tener fe en que un ser supremo escucha tus oraciones y está dispuesto a ayudarte puede mejorar la recuperación de una enfermedad. Quién sabe los mecanismos por los que esto ocurre. La hipótesis de que tal Ente superior exista y se apiade de ti no es contemplada por la ciencia; pero sí se propone que la sugestión puede activar algunas áreas cerebrales, o liberar cierto tipo de moléculas en mayor cantidad, o regular la expresión génica, o potenciar el sistema inmunológico...

Es obvio que llevar una vida religiosa conlleva otros factores no espirituales que harán que las monjas vivan más que la media de

ateos, pero no es sólo eso. Hay realmente algo más, porque el efecto protector observado en varios estudios epidemiológicos es innegable. Retomemos de una vez los ejemplos iniciales y seamos un pelín provocadores: ¿podría entonces la fe estar justificada como una aplicación médica? Recuerdo aquí las conclusiones que una parte sustancial de lectores del blog hicieron en los *posts* sobre acupuntura y uso de medicamentos placebo: «Lo importante no es que sea un engaño o no, sino que funcione», «No me importa que el médico me recete un placebo si lo hace por mi bien, y aunque inexistente, me ayude». ¿Aplicaríais la misma lógica en el caso de la religión? Imaginaos que sois un médico y tenéis un paciente muy creyente, ¿potenciaríais su fe sabiendo que eso le puede ayudar? ¿Le sugeriríais que rezara como parte de la terapia?

Dicho debate apareció también en la revista *Time*. Como en el caso de la acupuntura, había tres posiciones muy bien definidas. El doctor Richard Sloan era el escéptico que opinaba: «Los médicos no deben involucrarse de ninguna manera en asuntos espirituales». George Handzo era un sacerdote —muy elocuente científicamente y nada dogmático— que sugería: «Ambas, ciencia y religión, son útiles, y sí podría resultar beneficioso integrar la fe en la práctica de la medicina». Luego estaba el psiquiatra Andrew Newberg, interesadísimo en comprender qué diablos ocurre en el cerebro de las personas religiosas: «Quiero hacer escáneres cerebrales de gente que está sintiendo a Dios, y saber interpretar cuidadosamente qué está pasando». Como era de esperar, al retomar el profundo debate «¿tenéis alma de médico, escéptico o científico?», y trasladar al blog

la pregunta de hasta qué punto debemos potenciar o inhibir las creencias sobrenaturales que uno tenga, muchas menos personas opinaron que la religión podría ser utilizada como terapia placebo. Quizá pensando en sus efectos secundarios.

§3. *Science* y *Nature* acusadas de distorsionar la ciencia

Aprender algo nuevo es estimulante sin duda. Pero el verdadero impacto intelectual llega cuando el nuevo conocimiento exige corregir el viejo; cuando un planteamiento que te parecía tremendamente lógico empieza a temblar.

La carrera profesional de un investigador se valora en gran medida por el factor de impacto de las revistas científicas en las que logra publicar sus trabajos, un índice que marca el prestigio de cada publicación y la repercusión de los artículos que en ella aparecen.

Las revistas de mayor impacto (*Science*, *Nature*, *New England Journal of Medicine*)... reciben gran cantidad de excelentes artículos, y tras una dura selección terminan aceptando sólo unos pocos. El científico cuyo estudio sea rechazado intentará publicarlo en una revista de menor factor de impacto. Esto conduce a pensar que cuanto mayor sea ese factor de una revista, más certeros y fiables son los artículos en ella publicados. ¿Cierto? ¡Falso! Éste es el cambio de paradigma que proponía un provocador análisis de la revista *PLoS*: las investigaciones aparecidas en publicaciones de

gran impacto tienen más posibilidades de ser erróneas que otras similares publicadas en revistas de categoría inferior¹⁴.

¿Por qué? Por los criterios de publicación: si un estudio está bien hecho y presenta resultados espectaculares puede terminar en *Science* o *Nature*, pero si otro parecido obtiene resultados negativos o menos contundentes, aunque esté mucho mejor realizado y por tanto se aproxime más a la realidad, termina publicado en revistas de «menor calidad».

Imagina este ejemplo concreto: unos investigadores muestran fotografías amenazantes, rostros ensangrentados, o arañas encima de una cara asustada, a 23 votantes republicanos y 23 demócratas para ver si reaccionan con diferente grado de tensión emocional frente a ellas. Comprueban que sí lo hacen, y concluyen que las personas conservadoras sienten más temor a las novedades que los liberales. Este artículo (más elaborado de lo que he descrito) terminó publicado en la revista *Science*¹⁵[\[15\]](#). Supongamos ahora que otro grupo hace de nuevo el mismo estudio pero con 200 personas en lugar de 46, y siguiendo experimentos mejor diseñados metodológicamente. Y resulta, que al final no encuentra diferencias significativas entre demócratas y republicanos. ¿Se publicará tal estudio en *Science*? Podéis apostar que no. El estudio más preciso quedará relegado a una revista más discreta.

¹⁴ N. S. Young J. P. A. Ioannidis y O. Al-Ubaydli, «Why current publication practices may distort science», *PLoS Medicine* 5, 10 (2008), e201. doi: 10.1371/ journal.pmed.0050201.

¹⁵ Douglas R. Oxley, Kevin B. Smith, John R. Alford, Matthew V. Hibbing Jennifer L. Miller, Mario Scalora, Peter K. Hatemi, John R. Hibbing «Political attitudes vary with physiological traits», *Science*, vol. 321, n.º 5.896 (2008), pp. 1.6671.670.

Consecuencia: la imagen final de la ciencia que obtienen los investigadores o reflejan los periodistas si sólo tienen en cuenta *Science* o *Nature* puede estar sistemáticamente distorsionada.

Los autores del artículo de *PLoS* en el que se critica el sistema actual de publicación asemejan este hecho a un efecto que en teoría económica se llama *winner's curse*, la maldición del ganador». Este efecto establece que el ganador en una subasta siempre suele terminar pagando un precio muy superior al real. Uno de los primeros ejemplos en los que se aplicó este término fue durante la venta de unos campos petrolíferos: las diferentes empresas pujaban en función de sus predicciones individuales sobre la cantidad de petróleo que podían esconder esos campos. Imaginemos que el rango de ofertas iba de los 10 a los 50 millones de dólares, concentrándose la mayoría de los pujantes en torno a los 25-35 millones. Posiblemente entre estas últimas cifras andaría el valor real del campo subastado, pero ¿quién ganaba la puja? El que hubiera ofertado 50, seguramente tras haberse equivocado en las estimaciones del petróleo que iba a conseguir.

Algo parecido puede ocurrir en las tan competitivas publicaciones científicas: sobre un mismo tema, de todos los estudios metodológicamente bien hechos que existen, llegan a las grandes revistas científicas los que presentan unos resultados más escorados.

Imaginemos que haya varios grupos diseminados por el mundo investigando la influencia de un polimorfismo genético determinante en, por ejemplo, nuestra predisposición a la agresividad. Y el rango

de influencia observado por todos ellos varía del 10 por ciento al 40 por ciento, concentrándose la mayoría de los resultados en torno al 25 por ciento. Posiblemente ésta sería la cifra más acertada, pero si no hay errores metodológicos el grupo que obtenga el 40 por ciento será el que publique en las mejores revistas. Luego ya se corregirá.

De hecho, el artículo de *PLoS* avala su hipótesis con un estudio realizado en 2005 por John Ioannidis, que analizó 49 de los estudios clínicos más citados entre 1990 y 2003 y que habían aparecido en las tres revistas médicas de mayor impacto (*New England Journal of Medicine*, *JAMA* y *Lancet Science*)¹⁶. Resulta que un tercio de ellos habían sido rebatidos al poco tiempo por investigaciones posteriores más rigurosas. Da que pensar.

Los autores del artículo proponen diversas soluciones para intentar solventar este problema. Los detalles se escapan a las pretensiones de esta provocación de buena fe, pero quizá en la medida en que más insisten es en dar preferencia a la calidad del estudio frente a los resultados obtenidos. Vivimos una época de tal avalancha casi absurda de resultados científicos que la rigurosidad metodológica, el tamaño de las muestras, o el diseño de los experimentos debería ser un criterio mucho más importante que los resultados a la hora de publicar. Es decir, el estudio que llegue al *ranking* más alto no debe ser necesariamente el más llamativo —que también—, sino el más completo y exhaustivo. De esta manera, sería difícil que un estudio con 46 habitantes de un mismo pueblo de Nebraska llegara a la revista *Science* sacando conclusiones sobre la personalidad de todos

¹⁶ John P. A. Ioannidis, MD, «Contradicted and initially stronger effects in highly cited», *Clinical Research*, *JAMA*294 (2005), pp. 218-228.

los votantes demócratas o republicanos. Sea o no factible cambiar las cosas, esta crítica al modelo de publicación actual es un elemento más del activo debate existente dentro de la comunidad científica sobre cómo mejorar uno de sus pilares fundamentales.

A nadie se le escapa tampoco que con la enorme presión por publicar a la que están sujetos los científicos (su currículum, financiación, prestigio y posibilidades de promoción dependen del índice de impacto que consigan sus artículos), un factor que no debe ser desestimado es la tentación de exagerar ligeramente algunos resultados para desmarcarse del resto de los grupos que están investigando lo mismo que ellos.

§4. Los científicos también mienten

Vaya lío se organizó con la dimisión del experto en cambio climático cuyos *mails* interceptados demostraban que había cometido el típico maquillaje de resultados a la hora de.

—Espera, ¿típico? ¿A qué te refieres con «típico»?

—Pues a esas pequeñas trampitas que suelen hacer los científicos cuando van a publicar sus resultados.

— ¿Cómo que «trampitas»? ¿Eso hacen?

— ¡Claro! No pensarás que los científicos son los únicos profesionales completamente honestos del planeta y nunca mienten...

—No puedo creerlo.

—A ver, no estamos hablando de engaños escandalosos, como el del investigador coreano Woo Suk Hwang, que se sacó de la manga

haber obtenido células madre a partir de embriones humanos clonados. O los del físico alemán J.H. Schon, que entre 2000 y 2001 publicó quince artículos científicos en *Sciencey Nature*, llegó a ganar varios premios como joven investigador destacado, y luego le retiraron sus publicaciones por haberse inventado descaradamente los datos. De esos fraudes sonados hay pocos, y a medio plazo es relativamente fácil detectarlos, ya que en la ciencia la confianza plena no llega hasta que una verificación experimental independiente confirme tu hallazgo. Yo me estaba refiriendo a pequeños ajustes de fotografías o gráficos, a descartar muestras cuyos valores no encajen del todo con tu hipótesis, a hacer caso omiso de limitaciones metodológicas de tu investigación, a quitar *a posteriori* algún resultado hasta lograr la mágica expresión «diferencias significativas», ese «fraude de bajo nivel» sí es bastante común.

—¿Cuánto de común?

—Según un extenso estudio publicado en mayo de 2009 en la revista científica *Public Library of Science*, el 2 por ciento de los científicos admiten haber falsificado o inventado datos alguna vez, y el 33 por ciento reconocen haber seguido «prácticas de investigación cuestionables» como las que te he comentado¹⁷. Lo curioso del caso fue que cuando a los científicos les preguntaban no por ellos mismos, sino por el trabajo de sus colegas, el 14 por ciento decían

¹⁷ D. Fanelli, «How many scientists fabricate and falsify research? A systematic review and meta-analysis of survey data», *PLoS ONE* 4, 5 (2009), c5738. doi: 10.1371/journal.ponc.0005738.

conocer investigadores que falsificaban o inventaban datos, y el 72 por ciento haber observado prácticas cuestionables.

Es difícil valorar estas cifras y saber hasta qué punto reflejan la realidad. Pero la verdad, comparadas con lo que esperaríamos de otras profesiones, y teniendo en cuenta la presión por publicar a la que están sometidos los científicos, continúan pareciendo muy bajas.

El fraude científico es uno de los temas tabúes en la ciencia. Muchos investigadores defienden el honor de su loable tarea asegurando que nunca han visto a un solo compañero falseando un resultado, porque de ser descubierto su carrera quedaría arruinada. Quizá depende de la disciplina, porque otros aseguran que los ligeros retoques en figuras, el descuido de datos discordantes, o las cándidas exageraciones están a la orden del día. Es un asunto que cada vez preocupa y se estudia más. Influyen las dinámicas de cada laboratorio, de las instituciones, el momento en que te encuentras de tu carrera, el impacto que tenga tu trabajo, y en ciertos países la expresión «integridad científica» te puede sonar a chino. Que no cunda el pánico ni se saque de contexto; la empresa científica tiene tantos mecanismos para ir purgando estas malas prácticas que poquísimas veces llegan a proponer gato por liebre. Los científicos — y lo digo convencido— son en general más honestos que los profesionales de otras ocupaciones. Lo que ocurre es que a veces es tan fácil dejarse llevar por la tentación.

Mi pecado científico

Confieso que en mi corta y precaria etapa de investigador predoctoral en el Hospital Universitari Joan XXIII de Tarragona, en ocasiones las líneas dudosas de los geles de agarosa se difuminaban ante mis ojos mientras que en otras ganaban misteriosamente intensidad.

Tras terminar mis estudios de bioquímica, pasé nueve meses haciendo aburridísimas técnicas para ver si las mutaciones en unos genes específicos aumentaban, por una parte, la predisposición al alcoholismo y, por otra, a sufrir una enfermedad hepática.

Para ello cogías sangre de alcohólicos sanos, de alcohólicos enfermos, de no alcohólicos sanos, enfermos, controles, y extraías su ADN. Luego lo ponías junto con ciertos reactivos en una máquina llamada PCR, que hacía muchísimas copias de un trocito específico del gen que podía tener (o no) la mutación que a ti te concernía.

Para averiguar si había o no mutación, añadías una enzima de restricción que cortaba tus segmentos de ADN sólo si la mutación estaba presente. Por lo tanto, al final en tu tubito podías tener un único fragmento largo, o dos cortos. Para saber si tenías uno o dos trozos de ADN, ponías tu muestra en un material poroso llamado gel de agarosa, donde los fragmentos se desplazan más o menos rápido en función de su tamaño. Si al mirar después ese gel veías una única línea, significaba que el ADN de tu paciente no se había cortado porque no contenía la mutación. Si veías dos líneas más desplazadas, sí la tenía. Y así con varios polimorfismos.

Luego se trataba de comparar los resultados entre los seis grupos de personas que analizaba del estudio, y ver si había alguna

relación. No la había. Pero antes de reconocerlo, intentabas hacer todas las combinaciones posibles para ver si aparecía alguna «diferencia significativa» y se podían lograr publicar unos puntos más altos de índice de impacto.

Nunca se inventó, falsificó ni eliminó ningún dato, y los resultados finalmente se publicaron como «falta de asociación entre.»; pero sí recuerdo la tentación de seguir prácticas de investigación cuestionables, y lo facilísimo que hubiera sido que colaran. En todas las fases del proceso se podrían haber maquillado datos sin que nadie se enterara. Me sorprendió constatar lo dura y frágil que podía ser la cocina de la ciencia, y cuán meritorio era el trabajo de los chefs que la hacían funcionar. Decidí pasar a ser comensal en lugar de cocinero, y salir a degustar los mejores platos.

§5. Aprovechar la investigación básica: asignatura pendiente

Recuerdo el día en que una investigadora amiga vino toda eufórica a explicarme que por fin le habían aceptado el artículo que mandó a una revista científica. Trataba de una molécula que interfería en la creación de vasos sanguíneos alrededor de tumores en ratas, y que podría ser la diana de un futuro fármaco. « ¡Felicidades! ¿Y ahora qué?», pregunté. «Pues nada, a realizar algunos cambios que me han pedido los editores, a seguir con otro proyecto que tengo un poco estancado y ¡con más posibilidades para la Cajal!» (las Ramón y Cajal son unas becas que facilitan el retorno a España de investigadores en el extranjero). «Ya —continué—, pero yo me refería a esa molécula que puede generar un medicamento... ¿no vas a

seguir por esa línea?». Podéis imaginar su respuesta. Ella ya iba a publicar y compartir su conocimiento con quien quisiera aprovecharlo. En su laboratorio hacían ciencia básica, y de hecho su formación no era en desarrollo de fármacos. Ni se le pasaba por la cabeza meterse en tales berenjenales.

No es una crítica. En el caso concreto de mi amiga su posición estaba bien justificada. Pero me chocó bastante esa apatía por ni siquiera pensar en dar un paso más allá de la investigación básica. Su actitud —que me atrevo a sugerir no es insólita entre científicos formados en España— me recordó algunos acontecimientos durante mi etapa en Boston.

Robert Langer: «quiero desarrollar el proceso completo»

El ingeniero y Premio Príncipe de Asturias de 2008 Robert Langer dirige el laboratorio más amplio del MIT. Cuenta con más de cien investigadores de diez disciplinas diferentes a su cargo, y tiene nada más y nada menos que 600 patentes a su nombre. Una de las preguntas que le hice durante nuestro encuentro fue cómo diantre era eso posible. Además del trabajo duro, de asumir riesgos y de intentar ser original, destacó: «Yo soy de los que quieren desarrollar el proceso completo. No me conformo con hacer sólo una pieza del *puzzle*, ni quedarme en la fase del descubrimiento. Yo pretendo recorrer todo el camino, desde la idea inicial y la investigación científica básica hasta la implantación de posibles terapias en pacientes». Me hizo pensar. Estaba seguro de que emprendedores como Langer, además de su propia ciencia básica, también leían

artículos científicos como los de mi amiga y continuaban el proceso por su cuenta si creían que tenían interés.

Interrumpo aquí el hilo de la charla con Langer para transcribir unas palabras de queja que el ministro de Ciencia británico esgrimió en 2009 sobre algunos flecos en la relación entre ciencia y economía en su país: «Le recuerdo que fueron científicos británicos quienes inventaron los ultrasonidos, quienes secuenciaron el ADN, empezaron la revolución en la electrónica, y quienes obtuvieron el primer anticuerpo monoclonal. Pero en todos estos casos, la comercialización se hizo en algún otro país». Cualquier científico o institución debería tener esta advertencia bien presente. ¿Cómo se corrige dicho desequilibrio? Para ello se necesita tener unos cuantos Langer en tu equipo, pero también una red de servicios e infraestructuras alrededor. Robert Langer explicó como última clave de su éxito la excelente vinculación del MIT con la industria, su gestión de las patentes, y las relaciones que establecía con los *venture capitalists*, los «inversores de riesgo». Permaneced atentos a estas dos últimas palabras.

Arriesgar sale a cuenta

En el famoso centro de investigación tecnológica Media Lab del MIT he visto auténticos disparates. Ideas locas que fallan por varios costados. La mayoría de los proyectos estrambóticos que allí realizan quedan estancados y no llevan a ningún sitio. ¿Por qué los desarrollan entonces? Porque si uno de cada diez de esos proyectos que otros nunca empezarían encuentra la manera de salir al

mercado, ya compensa el tiempo y el dinero invertido con los nueve restantes.

Quizá estás pensando que este planteamiento es más fácil de seguir por una institución que por un individuo jugándose todo a una carta. Tienes razón; y por eso el MIT tiene un sólido equipo de personas trabajando en buscar vínculos con la industria, y apadrina un número tan elevado de patentes de incierta utilidad. Pero esa mentalidad impregna a los propios estudiantes, para quienes constituir una empresa mientras están en la universidad no es una temeridad en absoluto. Recuerdo la clase de política científica que atendía junto con una veintena de alumnos de doctorado. Un día el profesor Kenneth Oye preguntó cuántos estaban montando una empresa o la tenían constituida ya. Se levantaron seis o siete brazos. Me quedé boquiabierto y me sonrojé un poco. De nuevo, no es que esos chicos y chicas esperaran triunfar a la primera de cambio con su empresa. Quizá sí, o quizá no. Pero para ellos, desarrollar una idea y que no funcione empresarialmente no es un fracaso, sino un aprendizaje. Tienen asumido que al tercer o cuarto intento llegará el éxito. Y habrá merecido la pena.

¿Con qué dinero?, pensarás. Bueno, algunas empresas de programación o consultorías requieren más tiempo y conocimiento que inversión, pero en las que sí implican capacidad productiva, la estrategia suele ser desarrollar la idea hasta donde puedas y buscar un *venture capitalist* que te la financie.

Abril de 2008. El MIT organiza dos días de conferencias bajo el título «Soluciones al reto energético». Acudo pensando que serán

unas charlas convencionales y me encuentro una sala repleta de plafones y pósters, y jóvenes con trajes de poco estilo frente a ellos. Parece una feria. Voy revisando los pósters, y todo me parece muy extraño. No son propiamente trabajos científicos, sino proyectos técnicos diseñados por los estudiantes. Algunos para afrontar el cambio climático, otros para mejorar baterías, nuevos catalizadores, maneras de extraer energía, inverosímiles muchos de ellos. Entendí de qué iba todo aquello cuando nos movimos en masa a la sala contigua para escuchar al conferenciante principal, John Doerr. Doerr es uno de los inversores de riesgo y visionarios más famosos de Estados Unidos, y en ese momento estaba interesado en el campo de las fuentes de energía alternativas. En su elocuente presentación fue muy claro: su equipo de expertos analiza un gran número de las propuestas originales que les llegan, financia unas pocas, y el 10 por ciento aproximadamente de éstas termina generando beneficios. Pero compensa, y mucho por lo visto. Evidentemente, John Doerr no era el único inversor de riesgo que había asistido. Esa reunión en realidad sólo era un punto de encuentro entre veinteañeros que ya tenían su proyecto listo e inversores dispuestos a apostar económicamente, con el objetivo de que ambas partes ganaran dinero.

La cultura del riesgo y del emprendedor que impregna el MIT implica tanto a la institución como a los inversores privados y los individuos. Es parte de lo que se enseña en esa universidad.

La ciencia básica no existe

Una última referencia a título de reflexión: durante un seminario en Harvard, el Premio Nobel de Química Walter Gibert hizo una persuasiva defensa de la investigación básica, entendida como una investigación donde el científico experimentado se siente libre de explorar lo que le plazca sin tener presión alguna por conseguir aplicaciones, ni beneficios para la humanidad, ni tener un fin concreto en mente. Porque de ahí es de donde salen hallazgos inesperados. Por lo tanto, dijo, aunque suene contradictorio, el objetivo final de la ciencia sí es siempre que sirva para algo; siempre es aplicado. La ciencia básica no existe, sólo es una primera fase metodológica, una convención institucional de detener el proceso justo cuando más provechoso empieza a resultar.

Y aquí es donde retomamos la actitud de mi amiga de quedarse en esa etapa inicial de la ciencia básica. Tanto a título individual, como de institución, como sobre todo en la gestión de la i+D en un país, el equilibrio entre la ciencia básica y la aplicada debe estar bien compensado. Porque si no, sirve de bien poco para los intereses directos del que la realiza.

España viene de una tradición científicamente conservadora, en la que se ha valorado mucho la ciencia básica y desatendido la aplicada. Comparando la relación entre publicaciones científicas y patentes con otros países, resulta evidente. No es sólo culpa de los planes de gobiernos; la propia comunidad científica —especialmente la universitaria— también tiene un alto grado de responsabilidad. Hay muestras palpables de que los parques tecnológicos, los jóvenes investigadores y los ministerios están intentando modificar esta

tendencia, pero el cambio cultural es lento y debe impregnar a varios eslabones de la cadena. Posiblemente todos los que leamos estas líneas estemos convencidos de que falta una mayor dotación presupuestaria en la ciencia, y mejores condiciones laborales para que los investigadores puedan tener éxito en su profesión y así devolver con creces a la sociedad lo que les presta. Pero el equipo español ya tiene grandes defensas; quizá necesita más delanteros con olfato de gol. Y eso se trabaja desde la cantera, y también con fichajes. Quién sabe si mi amiga científica es el tipo de investigador Cajal repatriado que en estos momentos necesita su país, por muchas publicaciones que tenga en su currículum académico. Seguro que debe tener un espacio, pero los científicos deben asumir —y lo están haciendo— que sí se pide un retorno a sus investigaciones. No es su responsabilidad directa; no se trata de convertir buenos científicos en malos empresarios. Pero arrastramos cierto desajuste, que se está corrigiendo y cuyo esfuerzo debemos continuar. Que no nos pase como al científico taxista.

El Premio Nobel para el taxista

Ésta es una historia con un trasfondo triste. El Premio Nobel de Química de 2008 fue concedido a tres científicos estadounidenses por sus trabajos con la proteína verde fluorescente; se trata de una sustancia extraída de las medusas que ha permitido grandes avances en la biología celular. Cuando se les anunció el premio, dos de ellos reconocieron que el hallazgo trascendental que desencadenó sus investigaciones lo había realizado Douglas Prasher, un biólogo

molecular que investigaba en la Institución Oceanográfica de Woods Hole. Prasher fue quien descubrió y aisló el gen de la medusa que codificaba la proteína verde. Cuando los periodistas lo buscaron para entrevistarle, descubrieron que años atrás se había visto forzado a abandonar la ciencia por falta de financiación, y en esos momentos llevaba dos años trabajando como taxista para un hotel por diez dólares la hora. Martin Chalfie, uno de los científicos premiados con el Nobel, reconoció que Prasher merecía el premio tanto como él, puesto que ellos habían sacado partido de lo que él había descubierto. Da que pensar.

§6. Los límites de la epidemiología

Mi pareja dice que le hago poco caso, y que eso significa que no la quiero lo suficiente. ¿Hipótesis válida? SI ¿Correlación demostrada? No necesariamente.

En realidad, su inconsciente está haciendo un estudio descriptivo correlaciona, asociando directamente una variable a un resultado. Y podría haber muchos otros factores por los que yo no le prestara tanta atención como merece.

Es como si os explican un estudio según el cual los niños españoles de las escuelas que alternaban las clases en inglés y castellano, con el tiempo adquirirían mejor nivel en lengua española que otros de escuelas monolingües. La tesis era que estudiar un segundo idioma estimula el aprendizaje general de las lenguas, pero seguro que como explicación alternativa también piensas: « ¿No será que los profesores o los centros educativos bilingües ofrecían una

enseñanza de mejor calidad?». En este caso concreto, los autores del estudio en que participaron 120 centros públicos españoles habían tenido en cuenta éste y otros factores, y atribuían la mejora a la plasticidad cerebral y a la potenciación de las capacidades lingüísticas, al forzar las neuronas estudiando dos idiomas en lugar de uno. Encaja. ¿Hipótesis válida? Sí, claro. ¿Teoría demostrada? No, en absoluto. Pero aquí no queremos hablar de bilingüismo, ni de si mi chica tiene motivos para desconfiar, sino de ese sutil matiz entre lo que ciertos tipos de estudios científicos pueden *demostrar* o sólo *sugerir*.

¿Cómo pueden los investigadores averiguar si ser vegetariano es más saludable que omnívoro, si la aspirina previene ataques cerebrovasculares, si el vino tinto es tan milagroso como dicen, si el clima frío afecta a la longevidad, si haciendo yoga evitas ciertas enfermedades, o si un nuevo medicamento funciona realmente mejor que otro antiguo? Tener suposiciones «científicamente coherentes» es fácil; comprobar si son ciertas resulta mucho más difícil, y sólo está al alcance de una ínfima parte de los muchos estudios epidemiológicos que se realizan.

Saltémonos de momento los estudios con ratitas y cultivos celulares. Puedes atiborrar con aceite de oliva la dieta de una rata y obtener unos primeros indicios o explicaciones bioquímicas tremendamente valiosas, pero, al fin y al cabo, una rata es una rata. En el laboratorio puedes conseguir mucha precisión, pero menos relevancia. Las pruebas definitivas llegan —y sólo a veces— con los estudios epidemiológicos con humanos. Y entre ellos, también hay

unas metodologías más fiables que otras. Revisemos los principales tipos.

Estudios descriptivos

Un primer gran grupo de estudios epidemiológicos son los descriptivos, que cogen sectores de población, analizan diferencias entre sus miembros, e intentan encontrar asociaciones entre todo tipo de características o enfermedades. Resultan muy útiles para generar hipótesis, pero poco más.

Estudio correlacional

¿Os suena la paradoja francesa? Hace un par de décadas se constató que los franceses, a pesar de tener una dieta rica en grasas saturadas, gozaban de mejor salud cardiovascular que los habitantes de otros países. Al comparar otros hábitos dietéticos se concluyó que el consumo habitual de vino tinto podía ser el responsable de esta protección ¿Hipótesis válida que merece ser mejor estudiada? Sí, y tanto. ¿Teoría demostrada? De ninguna manera. Podría haber centenares de factores ocultos que contribuyeran a esa correlación. Los estudios correlacionales sólo dan pistas. La paradoja francesa fue muy útil para estimular estudios más detallados que posteriormente sí confirmaron algunos beneficios del consumo moderado de vino, pero muchísimas otras suposiciones han sido desmentidas. No hagas correlaciones precipitadas, aunque sean la respuesta más rápida.

Estudio de series de casos

Para afinar más, puedes seleccionar, por ejemplo, un grupo específico de mujeres que sufran cáncer hepático y ver cuántas tomaban anticonceptivos orales y cuántas no. Suponiendo que te aparezca un mayor porcentaje en las primeras, ¿demuestra esto que la píldora está asociada al cáncer de hígado? Tampoco. No hay controles, y de nuevo pueden ocultar numerosos factores asociados a tomar anticonceptivos que se te han pasado por alto. Es una pista que los investigadores deben conocer, pero nunca aparecer en los medios como una clara causa-efecto.

Estudio transversal

También puedes hacer un *cross-sectional study*, «estudio transversal». Tomas un gran número de personas que sufran migrañas, diabetes, anemias, problemas renales, y miras cuántos ganan menos de 10.000 dólares al año, cuántos entre 10.000-20.000, cuántos ganan entre 20.000-35.000, y quiénes cantidades mayores. Te sale un gráfico (como el de la derecha)^{18(17a)} que parece indicar que la pobreza causa enfermedad. ¿Lo hace? No necesariamente. Quizá las personas con salud delicada tienen más dificultades para encontrar buenos trabajos. Un estudio así, donde se establecen relaciones en momentos puntuales, resulta muy útil si lo que analizas es algo invariable, como el grupo sanguíneo; pero no sirve para nada ante algo que cambie en el tiempo, como saber si caminar es bueno para el corazón.

¹⁸ (17a) Alude el libro en su edición impresa a "un gráfico como el de la derecha", pero a la derecha en la susodicha edición no hay ningún gráfico (N. del editor digital)

Los estudios descriptivos están muy bien, son baratos, fáciles de realizar, ayudan a los investigadores a engrosar su lista de publicaciones científicas, y aportan hipótesis de trabajo muy valiosas. Pero los estudios buenos de verdad son los analíticos; los que tienen controles, se comparan grupos bien definidos, y sobre todo, se analiza la exposición a un factor a lo largo del tiempo.

Estudios analíticos

Estudio observacional

Coges un grupo de pacientes con cáncer de esófago, buscas personas de características parecidas pero sin cáncer, y empiezas a hacerles preguntas de todo tipo sobre su pasado. Si eres muy minucioso, quizá puedas encontrar algún factor que durante el tiempo haya estado mucho más presente en un grupo que en otro. Pero, además, tendrás en consideración otros aspectos del historial de los pacientes que también puedan haber influido. Éste sería un «estudio de caso-control», en el que la comparación global del pasado entre individuos con o sin enfermedad te permite ser mucho más cuidadoso que en un estudio descriptivo. Pero el mirar hacia atrás tiene una limitación: la capacidad de recuperar de manera fiable la información sobre los últimos diez, veinte o treinta años de tus participantes. Si dispones de tiempo y recursos, es mucho mejor mirar hacia delante y hacer un «estudio de cohortes»: te vas a una ciudad pequeña, caracterizas bien a unos cuantos miles de sus habitantes, y empiezas a hacerles un seguimiento

periódico y a tomar datos sobre todos los aspectos de su vida. No les pides que hagan nada extraño, simplemente observas su evolución durante décadas, y empiezas a hacer análisis estadísticos sabiendo que dispones de una muy amplia y fidedigna información acumulada en un largo período de tiempo. Eso es lo que empezaron en 1948 en la población de Framingham, a unos 40 kilómetros de Boston, con el famoso «Framingham heart study», que tantísima información ha generado sobre los factores que influyen en el riesgo cardiovascular. Es lento, pero merece la pena.

Estudios de intervención

Ahora bien, si tu institución tiene todavía más dinero, aún existe un tipo de estudio muchísimo mejor y más definitivo. Buscas un conjunto de personas prácticamente idénticas, las separas en los grupos que te convenga, y haces experimentos sobre ellas: controlas al máximo su vida durante semanas o meses, e intervienes sobre ella. Las modificas a tu antojo. Les pides que coman unos alimentos u otros, que hagan cierto tipo de ejercicio o lleven una vida sedentaria, o si ensayas un medicamento, a unos les das el real y a otros el placebo. Y todo bajo control. En un estudio epidemiológico randomizado intentas que lo único que diferencie a tus sujetos sea el factor que quieres analizar. La limitación es que no puedes decirles: «Vosotros empezad a fumar treinta cigarrillos al día» para ver qué ocurre, ni testar nada que sea perjudicial para ellos; pero cuando no hay inconvenientes éticos y puedes afrontar los enormes costes que conllevan, los estudios de intervención son

los que realmente permiten demostrar hipótesis de una manera experimental.

¿Son infalibles? Claro que no. Fijaos en este curioso caso: en la década de 1970 un ambicioso estudio clínico randomizado llamado Proyecto de Fármacos Coronarios intentaba analizar si varios fármacos que reducían los índices de colesterol conseguían prevenir los ataques de corazón. Se reclutaron 8.500 hombres de mediana edad con problemas coronarios previos, y se hicieron varios subgrupos. A uno de ellos se les dio el fármaco clofibrate, pero al cabo de cinco años, los investigadores no encontraron el mínimo efecto protector. ¿Qué pensaron? «A ver si algunos participantes en el estudio no han seguido correctamente el tratamiento...». Le preguntaron a cada uno de ellos y, efectivamente, comprobaron que bastantes participantes habían pasado olímpicamente de ir tomando la medicación. Comprobaron de nuevo la incidencia de enfermedad cardíaca, y vieron que en estos últimos era de un 25 por ciento, mientras que en aquéllos que tomaron más del 80 por ciento de las pastillas era sólo del 15 por ciento. Respiraron tranquilos. El clofibrate sí tenía un efecto protector. Tema solucionado, ¿verdad? Sólo aparentemente. Al repetir el mismo análisis con los que habían sido recetados con placebo, también vieron que los que se saltaron las dosis tenían una incidencia del 28 por ciento, frente a un 15 por ciento los que siguieron a rajatabla el estudio. Conclusión: el tomar correctamente un placebo, ¡disminuía a la mitad el riesgo cardiovascular! Evidentemente, la interpretación fue otra: la persona que no sigue un tratamiento, posiblemente es

también más despreocupada con otros factores que afectan a su salud. Es lo que los investigadores llaman el *compliance bias*, uno de los muchos efectos distorsionadores que se esconden detrás de los estudios clínicos.

Este caso del clofibrate apareció citado en un polémico y demoledor reportaje crítico con la epidemiología publicado en el *New York Times* bajo el título « ¿Sabemos realmente qué nos hace estar saludables?». En él se reconoce el imprescindible papel que ha desempeñado la epidemiología en la comprensión de las enfermedades virales, en la relación entre tabaco y cáncer de pulmón, entre exposición solar y melanoma, pero refleja cómo muchos científicos se quejan abiertamente del exceso de relaciones causa-efecto que se publican en la literatura científica. Richard Peto, de la Universidad de Oxford, dice textualmente: «La epidemiología es preciosa, y nos ofrece una gran perspectiva de la vida humana y la muerte, pero se publica una enorme cantidad de basura».

La clasificación de los estudios epidemiológicos y los ejemplos expuestos en este texto están extraídos del excelente seminario que recibí cuando todavía era un Knight Fellow en el MIT con la reconocidísima experta de Harvard Julie Buring. Recuerdo que cuando terminé el seminario, me acerqué y le pedí su opinión sobre el artículo que hacía poco había publicado el *New York Times*. Me sorprendió que, a pesar de considerarlo exagerado, Julie Buring se mostrara muy de acuerdo en que son poquísimos los estudios epidemiológicos que realmente están bien realizados, y afirmaba que

la mayor parte de las conclusiones que los propios científicos exponen y después llegan exageradas a los medios no están bien sustentadas, en absoluto.

En definitiva, que cuando alguien os diga que las almendras previenen la diabetes, pedidle que os cuente también qué tipo de estudio lo ha «demostrado». Y si mi chica quiere de verdad comprobar el grado de cariño que siento por ella, no le queda más remedio que hacer un análisis randomizado intentando tener el máximo de factores posibles bajo control, y aceptar que no tendrá la respuesta definitiva hasta dentro de unos meses. Ocurre que para ello necesitará también unos controles; y no sé si eso me hace tanta gracia.

§7. Machismo inconsciente en la ciencia

Tras repasar con la carismática astrofísica de ochenta años Vera Rubin sus hallazgos sobre el movimiento de las galaxias y las repercusiones que tuvieron como confirmación de la existencia de la materia oscura en el universo, le pregunté si a lo largo de su carrera había sufrido alguna discriminación por el hecho de ser mujer. Se echó a reír, y luego me explicó que cuando de joven iba a observar en el telescopio californiano Monte Wison, tenía que pedir hora en nombre de su marido porque a las mujeres no se les permitía la entrada. La excusa era que el telescopio no disponía de aseos femeninos. Ella cuenta que recortaba en un papel la típica silueta femenina caracterizada por una falda, y la colgaba con descaro en la puerta del servicio. « ¿Veis? ¡Ya hay aseos para mujeres!»,

exclamaba. También me confesó que en aquella época estaba convencida de que, cuando se jubilaran los científicos machistas de la época, la nueva generación de jóvenes ya acostumbrados a trabajar con mujeres tendría una actitud completamente diferente. No ha sido así y, a pesar de que en los últimos años en apariencia el machismo en la ciencia ha disminuido muchísimo, todavía encontramos indicios subliminales de que es un problema sin resolver.

Algo me dejó pensativo después de asistir a la primera edición del Festival Mundial de la Ciencia que se realizó en Nueva York en junio de 2008. Revisando su programa completo, la desproporción entre ponentes masculinos y femeninos no era tan exagerada, pero mi resultado particular de las conferencias y coloquios a los que asistí fue contundente: 22 a 0. Veintidós hombres y ninguna mujer. ¿Cómo se explica esto?, ¿se puede justificar?, ¿es el reflejo de alguna realidad?, ¿deberían haber sido más cuidadosos los organizadores y forzar la participación de mujeres en los eventos estrella?, ¿está la ciencia todavía tan dominada por los hombres? Estas preguntas me recordaron tres situaciones vividas de cerca durante mis últimos meses en Cambridge.

La primera fue una charla de asistencia voluntaria que nos ofrecieron a los diez Fellows (cinco hombres y cinco mujeres), para discutir sobre la teoría de cuerdas, la relatividad, la física de partículas, y lo que se esperaba del gran colisionador de hadrones en el CERN. Acudimos sólo los cinco chicos. « ¿Os habéis fijado? — pregunté a mis colegas—. ¿Seguro que es casualidad? ¿No será que,

por algún motivo, estos temas nos interesan más a nosotros que a ellas? Quizá al final sí resultará que la física es cosa de hombres...», añadí de forma irreflexiva y un tanto jocosa. No le di más vueltas, pero recuerdo que lo comparé con la clase de psicología a la que asistía los miércoles, donde la proporción de alumnas era tremendamente superior a la de chicos. Disculpad la sandez, pero me quedé divagando. Seguro que algún psicólogo evolucionista habrá escrito alguna de esas interpretaciones para justificar qué tipo de conocimientos atraen más al género masculino o al femenino. Claro está que el desarrollo en sociedad lo potencia o corrige, pero sí parece que las preferencias individuales pueden jugar una primera baza importante en el desequilibrio existente en algunas disciplinas.

La segunda reflexión vino al recordar el desafortunado incidente ocurrido en la propia Universidad de Harvard en 2005. Su ex director, Larry Summers, intentó justificar la menor presencia de mujeres entre el profesorado recurriendo a estudios que analizaban las diferencias biológicas entre las capacidades mentales de los hombres y las mujeres. Larry Summers dijo que la inteligencia media de los hombres y las mujeres era idéntica, pero que, según varias investigaciones, la distribución en los extremos es ligeramente diferente. En el caso de los hombres hay más representantes tanto en el lado de los más tontos como de los más listos. Y si esto era así, como Harvard era tan prestigiosa y sólo buscaba entre los mejores, resultaba normal que hubiera más hombres que mujeres. Sus cínicas palabras causaron un revuelo

impresionante. Lo más lamentable es que recibió cartas de apoyo del estilo «Finalmente alguien se atreve a hablar sin tapujos del tema». Es patético. No se trata de si estos estudios eran ciertos o no; posiblemente lo sean. La barbaridad fue utilizarlos para tapar, para silenciar, para excusar, la indiscutible realidad histórica del machismo en la ciencia, y en concreto en la tradicionalmente sexista Universidad de Harvard.

El tercer encuentro con este asunto fue durante un seminario privado que tuvimos con Nancy Hopkins, reconocida experta en genética del cáncer y una activista contra la discriminación en la ciencia. Precisamente, Hopkins había asistido a la reunión donde Larry Summers pronunció las fatídicas palabras. Fue la primera que se levantó, abandonó la sala indignada, y denunció vehementemente este episodio con cartas a los periódicos y declaraciones a los medios. Nos contó que en pleno siglo XXI llegó a recibir numerosas amenazas anónimas. Pero Nancy Hopkins no podía callarse; ya llevaba mucho tiempo haciendo una cruzada contra el sexismo en la investigación como para aceptar tal provocación. Quizá su estudio más significativo fue el realizado a finales de la década de 1990, en el que se puso a medir el espacio de los laboratorios y los despachos que tenían asignados los científicos y las científicas de su propia universidad, el MIT. Tras un extenso análisis, demostró que a igualdad de cargo, los hombres siempre disponían de más espacio que las mujeres. Cuando publicó sus datos, el entonces presidente del MIT, Charles Vest, dijo: «Siempre había pensado que la discriminación de género contemporánea

dentro de las universidades tenía una parte de realidad y otra de percepción. Ahora estoy convencido de que la realidad representa de lejos la parte mayor de la balanza»¹⁹. Y decidió tomarse el asunto muy en serio. Nancy Hopkins considera que en un período corto de tiempo la situación ha mejorado de manera notable. Reconoce que la situación actual es mejor incluso que sus pronósticos más optimistas. Hace tan sólo quince años era impensable que la presidenta del MIT fuera una mujer, como lo era en 2008 Susan Hockfeld. Sin embargo, todavía no estaba del todo satisfecha. Y, sobre todo, se quejó de la falta de «activismo» de las investigadoras jóvenes, que no perciben las reminiscencias de un machismo contra el que es muy difícil luchar. Ella lo denominó *unconscious and unintentional bias*, «sesgo inconsciente e involuntario». Según Hopkins, hay ciertas actitudes machistas de un calado tan profundo que no son identificadas ni por las mujeres que lo sufren, ni por los compañeros y las compañeras que lo ejercen. Ese machismo inconsciente e involuntario pasa inadvertido, y sólo podrá superarse si las chicas jóvenes no asumen que todo está ya solucionado y se acostumbran a denunciar las injusticias que subliminalmente todavía arrastramos en muchas actividades humanas, incluida y quizá en mayor grado, la ciencia.

§8. Animales de laboratorio en el metro

El metro está llegando a Metro Center, una de las estaciones más concurridas de Washington D. C.

¹⁹ Carcy Goldberg «M.I.T. admits discrimination against female professors», *New York Times*, 23 de marzo de 1999.



Salgo del vagón y me encuentro de frente con un cartel de la asociación protectora de animales Personas por la Ética en el Trato de los Animales (PETA), quejándose de los mataderos, las cadenas *de fast food*, y los experimentos en laboratorios.

Continúo caminando, y a escasos 20 metros aparece un cartel de otra asociación llamada Centro para la Libertad del Consumidor, en el que leo: «Ratas de laboratorio contra niños enfermos: ¿sabes que PETA está utilizando tu contribución para boicotear la investigación contra el sida y el cáncer de mama, sólo porque utilizan animales de laboratorio?». Curioso. No hago mucho caso, pero me giro y en el andén de enfrente veo un nuevo anuncio de PETA resaltando una frase de su directora Ingrid Newkirk: «Aunque la investigación con animales conduzca a la cura del sida, estaremos en contra de ella». Reacción inmediata: « ¡Eso es pasarse!». Normalmente, cuando asistes como espectador a un debate en el que no tienes una idea bien formada, te posicionas inicialmente en el medio y vas dejándote influir por los argumentos de los dos bandos que polemizan. Es como si estuvieras atado a una cuerda elástica, de cuyos extremos unos y otros van tirando con fuerza para intentar desplazarte todo lo posible hacia su posición. Pero a veces ocurre algo contraproducente: si una de las partes se excede y esgrime un

argumento claramente desmesurado, tensa demasiado la cuerda elástica, ésta se rompe y te abalanzas de golpe hacia su opositor. Algo así sentí cuando leí la frase de la directora de PETA; me hizo perder mucha confianza en su organización.

Apoyo incondicional a todo lo que suponga humanizarnos, procurar un trato más ético a los animales, avanzar siempre hacia más derechos en lugar de menos, y denunciar atrocidades que sin duda todavía se están realizando. Pero ¿incondicional?, ¿a todo? Mujer, tampoco nos excedamos. Puede ser loable plantarle cara a la industria peletera, a las innecesarias torturas con productos cosméticos, y promover el mejor trato posible a las condiciones de vida de cualquier animal; pero pretender vetar de cuajo la experimentación animal en biomedicina es intolerable. Si la directora de una organización realmente promueve algo tan radical, quizá sí pierda un poco de credibilidad.

Lo primero que hago al llegar a casa es comprobar si, efectivamente, ha dicho esa frase y no está sacada de contexto. Parece que sí la pronunció, junto con otras sentencias del mismo estilo. Lo segundo es visitar las webs de PETA y la asociación Consumer Freedom. La cosa se complica. Me da la impresión de que el contenido de la segunda es mucho más dudoso, manipulado y extremista que el de la primera. Algo me dice que la realidad se sitúa en algún punto intermedio entre ambos planteamientos, y debería regresar a una posición más ecuánime. Sí a la experimentación animal, pero con precauciones, y sin dar la espalda a las barbaridades que en ocasiones ha conllevado.

Sin alejarnos de las áreas científicas, una de las prácticas más denunciadas son las clásicas pruebas de cosméticos o detergentes como el test de Draize, en el que aplican dosis altísimas del producto a un ojo de un conejo para compararlo con el otro. O experimentos en los que se les hacen ingerir sustancias nocivas para analizar su efecto. En muchos de esos casos dichas pruebas son reemplazables y, de hecho, varias compañías lo han hecho sin disminuir la seguridad de sus productos ni los beneficios de sus ventas. Ante una crema anti arrugas etiquetada como «no experimentamos con animales» y otra convencional, muchísimas mujeres escogerían la primera aunque fuera un par de euros más cara. Las presiones de los activistas en ese campo están justificadas. Otro tema más peliagudo es la investigación biomédica y el desarrollo de fármacos más eficaces y seguros. Ahí en la gran mayoría de los casos la experimentación animal resulta todavía difícil de sustituir. No es un debate fácil, pues claramente hay un conflicto moral entre el rechazo al sufrimiento de unos animales y la mejora en la calidad de vida de otros. La ética se encarga de atajar estos juicios morales, dictando que debemos reducir al máximo posible el dolor y el número de los animales que se utilizan en los laboratorios. Eliminarlo resulta utópico y contraproducente por el momento.

Tú también decapitarías ratas

Si nunca has trabajado en un laboratorio quizá estés pensando: ¿no tienen remordimientos estos desalmados científicos que sacrifican ratas?

Durante mis tiempos de aprendiz de científico, en unas prácticas de la licenciatura de bioquímica nos tocó decapitar ratas *in vivo* para conseguir gran cantidad de sangre sin que un proceso de muerte lenta afectara a ciertos niveles de proteínas y metabolitos.

Las cogíamos con firmeza, metíamos su cabeza en una guillotina, y ¡flup!, la cortábamos de cuajo. Luego inclinábamos el cuerpo decapitado en un vaso de precipitados, recogíamos la sangre chorreando de su cuello, estrujábamos un poco con las manos para que saliera el máximo posible, y nos apresurábamos a extraer el hígado y congelarlo inmediatamente en nitrógeno líquido. Yo no soy un desalmado insensible; al contrario, siento empatía por los animales y abogo por evitar su padecimiento inútil, pero confieso que en aquel momento no me daba la sensación de estar haciendo nada atroz, ni siquiera injustificado. Ahora me doy cuenta de que estaba siendo víctima de algo parecido al experimento de Stanley Milgram sobre la obediencia a la autoridad, y que me atrevo a sugerir afecta a un gran número de investigadores. El experimento de Milgram fue uno de los más impactantes en la historia de la psicología, al demostrar que personas normales que participaban en un estudio eran capaces de infligir dolor a otras simplemente porque el protocolo lo exigía. Si buscas en internet las grabaciones de este experimento, verás como un investigador recibe a dos voluntarios y les explica que la tarea de uno será contestar un test,

y la del otro suministrarle pequeñas descargas eléctricas inofensivas cada vez que se equivoque. Ambos aceptan, y empieza el experimento. Hay un problema: la intensidad de las descargas es un poco mayor a cada error, y al cabo de varios minutos el voluntario que las recibe empieza a quejarse. El voluntario que las suministra consulta varias veces al director del experimento qué hacer, y éste siempre le pide que continúe. Lo hace hasta extremos inverosímiles. Evidentemente, el voluntario que grita de dolor es un actor que no recibe descarga eléctrica alguna, pero el otro esto no lo sabe. Resulta impresionante comprobar hasta qué límites las personas normales son capaces de provocar dolor a otros voluntarios inocentes, a pesar de oír sus reiterados lamentos y signos de desfallecimiento, dejándose llevar sólo por las exigencias del procedimiento y la autoridad del director. Todos pensamos que nosotros seríamos incapaces de llegar a los límites del experimento de Milgram, pero los inesperados resultados demostraron lo contrario, provocando un enorme revuelo y convirtiendo este experimento en uno de los más famosos del siglo XX.

Te podría ocurrir algo parecido si trabajaras en un laboratorio. Yo conocía bien a una investigadora del Instituto Nacional del Cáncer de Estados Unidos que inyectaba células tumorales en los ratones, dejaba que crecieran los tumores, luego suministraba fármacos sólo a algunos, y comprobaba si evolucionaban de manera diferente respecto a los controles. Un día le pregunté cuántos ratones utilizaba al año. «Yo sólo unos ciento cincuenta», contestó. «¿Sólo?». «Sí, no es mucho. Una compañera mía en estos momentos dispone

de unos ochocientos exclusivamente para sus experimentos. Mi laboratorio se gasta el 15 por ciento de su presupuesto en ratones. Mucha gente utiliza más de mil cada año». «Utiliza». Creedme que dicha investigadora es una persona sensible, le encanta la naturaleza, y siente un enorme respeto por los animales. Pero, de nuevo, no tiene ni el más mínimo conflicto interior a la hora de trabajar con ratones. Considera que son imprescindibles como modelos de enfermedades. ¿Siempre? Ésta es también una de las cajas negras que a los científicos les cuesta horrores abrir.

Modelos animales inservibles

Un artículo publicado en agosto de 2008 en *Nature* pone el dedo en la llaga: la mayoría de los fármacos contra enfermedades neurodegenerativas como la esclerosis y el Alzheimer, que han funcionado en ratones, no tienen ni el más mínimo efecto en los estudios preliminares con humanos. Esto está más que observado. Hay dos tipos de explicaciones, y ambas son radicales por diferentes motivos. La primera es la más obvia: el modelo no sirve; el cerebro de ratón es demasiado diferente al del humano, y lo que han estado haciendo miles de científicos no lleva a ningún sitio. Parece preocupante, pero la segunda explicación también se las trae: muchos experimentos publicados en revistas científicas están mal hechos. A veces, las muestras son demasiado pequeñas y no están diseñadas con suficiente rigor. La presión por publicar induce a vacíos metodológicos, quizá alguna que otra distorsión de los resultados, y hacer oídos sordos a las diferencias básicas entre

ratones y humanos respecto a las características fisiológicas de la enfermedad. Además, los resultados negativos no se publican. A la que rascamos un poco, no dejan de aparecer las imperfecciones humanas que le contagiamos a la ciencia.

Una de las conclusiones del estudio era que para ciertas enfermedades o estudios sobre el cerebro sería mucho más conveniente eliminar tanto estudio superfluo con ratones y buscar modelos animales con monos, incluso primates. Aunque mucho más caros y conflictivos éticamente, a la larga serían eficientes. Entramos en terreno pantanoso...

Los neurocientíficos contraatacan: ¿estás preparado para ver animales de laboratorio?

Recuerdo llegar una mañana de marzo de 2009 a mi oficina en el Departamento de Comunicación de los Institutos Nacionales de la Salud de Estados Unidos y encontrar a todos mis compañeros alterados, comentando las imágenes que habían visto la noche anterior en televisión: miembros de la Humane Society habían pasado nueve meses infiltrados en unos laboratorios de Luisiana grabando las terribles condiciones a las que eran expuestos chimpancés y otros primates. Se distinguían animales enloquecidos, autolesionándose, enjaulados y con heridas abiertas, siendo tratados violentamente por algunos cuidadores, y sometidos a experimentos que parecían muy dolorosos. Evidentemente, la institución se defendió diciendo que las imágenes estaban sacadas de contexto. No cabía duda alguna de ello, pero tampoco de que no

en todos los sitios se cumplen las normas éticas de cuidado de los animales. El asunto aún resultaba más complejo porque el centro recibía ayudas del gobierno federal: 37 millones de dólares de los NIH, según su propia web. De inmediato se detuvo la actividad y se inició una investigación para descubrir la realidad de las irregularidades de ese centro, pero el daño ya estaba hecho. Por muchos progresos que se estuvieran logrando en las normas de protección de los animales, la difusión de esas imágenes fue un duro varapalo. Mostraba el margen de mejora que todavía queda por recorrer, pero, según los científicos, también transmitía a la opinión pública una visión completamente alejada de la realidad que se vive en los laboratorios de los países desarrollados, donde se siguen unas normativas éticas muy estrictas. De hecho, la comunidad científica empieza a estar harta de tanto ataque.

« ¿Has padecido alguna vez lepra? Gracias a la investigación con animales, nunca lo harás». Éste es el mensaje en un cartel que vi en Boston de la campaña Research Saves, cuyo objetivo era concienciar a la población estadounidense sobre la necesidad de la experimentación animal en biomedicina.

En Estados Unidos sólo el 52 por ciento de los ciudadanos se declaran a favor de utilizar animales en la investigación científica, posiblemente por las persistentes campañas de asociaciones como PETA o Human Society, que se oponen a cualquier tipo de investigación animal diciendo que sus resultados no se pueden trasladar a humanos y, aunque así fuera, no resulta ético matar un animal para salvar una vida humana.

Lo segundo puede ser discutible, pero lo primero rotundamente falso, y los científicos están empezando a contraatacar activamente con campañas como la de Research Saves. Pero ésta es la versión *light* y educativa que exponen al público. En realidad, están muy indignados y en sus discusiones internas se muestran cada vez más agresivos contra las asociaciones protectoras de animales. Empiezan a pensar que la mejor defensa es un buen ataque.

Un editorial publicado a mediados de 2009 en la prestigiosa revista *Journal of Neuroscience* decía textualmente: «Los activistas por los derechos de los animales engañan a la gente». Y añadía: «Sus tácticas son vergonzosas, ilegales e inmorales, y han sido etiquetadas de terrorismo por el gobierno de Estados Unidos»²⁰. Era la respuesta a las agresiones físicas, coches incendiados, destrozos en hogares, y amenazas de muerte que científicos de la Universidad de California habían recibido por parte de extremistas defensores de los animales. Algunos de esos activistas consideraban moralmente justificable asesinar a un científico que «torture» animales, promovían la quema de laboratorios, y reclamaban derechos legales idénticos entre humanos y animales.

El asunto era serio. Algunas de esas amenazas y ataques se habían perpetrado a científicos que cumplían con todos los protocolos establecidos, y se habían empezado a extender por otros estados. Al principio se ensañaron con quienes utilizaban monos, pero ya habían comenzado a agredir a investigadores que trabajan con ratones.

²⁰ Jeffrey H. Kordower, «Animal Rights Terrorists: What Every Neuroscientist Should Know», *Journal of Neuroscience* 29, 37 (2009), pp. 11.419-11.420.

Son casos extremos. Pero más allá de ellos, los investigadores consideran que la opinión pública está distorsionada porque a la población sólo le llegan mensajes falsos y exageradas imágenes sacadas de contexto. Dicen que falta una información objetiva. Y aquí lo novedoso es que empiezan a culparse a ellos mismos.

En el editorial reconocen que no pueden continuar con su actitud pasiva. Deben empezar a explicar muy bien por qué necesitan trabajar con animales, y las fuertes restricciones que cumplen respecto a su trato. Pero, además, algunos sugieren abrir sus instalaciones al público y dejarle ver cuál es la realidad de la investigación animal. Otros opinan que no estáis preparados para verlo. ¿Cómo reaccionarías ante un mono encadenado de pies y manos con un electrodo insertado en la cabeza? Yo tuve la oportunidad de mirarle a los ojos en un laboratorio de neurociencia. La imagen es impactante, y la sensación inmediata es de aflicción hacia el animal Sin embargo, tras unos segundos ves que su cara no expresa sufrimiento alguno, y que cuando termina el experimento responde con cariño al investigador amigo que ha estado cuidándolo durante varios años. Saqué mis propias conclusiones de la experiencia, pero, por lo menos, tuve la oportunidad de hacerlo viendo el proceso completo. Pedí al investigador hacer una foto del mono encadenado. Se negó, porque estaba terminantemente prohibido. Dijo que ante una imagen así se les echaría la gente encima. Repliqué que mi tratamiento iba a ser objetivo y sólo mostraría la realidad, pero no hubo manera.

La situación se repitió casi de manera idéntica en un laboratorio diferente al cabo de unos pocos meses. Muy bien, no hay problema. Yo no explico lo que vi, pero entonces, científicos, no os quejéis si a la población sólo le llegan imágenes extremas y distorsionadas. El secretismo es sospechoso, y no os favorece. Muchos somos los que confiamos en vuestras palabras y estamos convencidos de la necesidad de la investigación animal, pero no nos pidáis que os creamos a ciegas. PETA no lo hace. Abrir o no de verdad los laboratorios al público es una discusión muy activa dentro del mundo de la ciencia.

§9. Cuando la ciencia y Dios se buscan

En el pasado la ciencia y la religión solían ir cada una por su lado. Compartían algún objetivo común, pero ni la una ni la otra tenían demasiado interés en acercar posiciones. A los respectivos demonios, mejor ni mencionarlos.

Esto ha cambiado considerablemente en los últimos años; cada vez aparecen más iniciativas en busca de una convivencia filosóficamente armoniosa, promover el diálogo, pulir asperezas, o incluso explorar qué pueden aportarse. Para muchos es un debate estéril porque la ciencia y la religión pertenecen a mundos completamente separados; son irreconciliables como el agua y el aceite. Quizá sea así, pero hay quien se empeña en tratar de disolverlos. Por ejemplo, algunas ramas de la neurociencia tratan de explicar la creación de Dios en nuestros cerebros, y por su parte la

religión busca con mayor sigilo acercarse a la ciencia de una manera que permita respaldar sus creencias.

Empecemos por el principio y con algo muy obvio: hay científicos que creen en Dios y defienden abiertamente la compatibilidad absoluta de la ciencia y las creencias religiosas. ¿Cómo es eso posible? Mi visión particular es que puede serlo sólo si contemplan fenómenos diferentes. Un buen representante de la postura conciliadora es Owen Gingerich, reconocidísimo historiador de la astronomía y autor del libro *God's Universe*.

Visité a Gingerich en su despacho de Harvard, donde tiene tres cajas fuertes donde guarda su valiosísima colección privada de libros y obras originales de Galileo y Copérnico. Hablamos de este período de la física, del cual está considerado uno de los mayores expertos del mundo, pero también del planteamiento lógico que comparte con tantísimas otras personas: las leyes de la naturaleza son las que rigen el mundo, pero cuando observamos la complejidad del universo, la precisión con que encajan todas las leyes físicas, o lo bien afinadas que están las constantes de la física, cuesta pensar que todo sea fruto del azar. Para Gingerich, es mucho más coherente pensar que algo o alguien diseñó en primera instancia este maravilloso universo. Gingerich está convencido que sí hubo un creador inicial; pero de ahí a milagros, ascensiones a los cielos, o saltarse la teoría de la evolución, nada de nada. Esta posición podría recordar a la del propio Albert Einstein, cuyas palabras «Creo en el Dios de Spinoza, que se manifiesta en la extraordinaria armonía de todo lo que existe», tan a menudo se han

malinterpretado. Einstein no creía de ninguna manera en la figura de un Dios todopoderoso y personal que pudiera saltarse las leyes de la física si alguien se lo solicitaba. No iba a la sinagoga, ni creía en la inmortalidad, y atacó reiteradamente las creencias religiosas. Sin embargo, al final de su vida escribió varios ensayos donde dejaba entrever cierto sentimiento espiritual al observar las leyes de la naturaleza: «Si hay algo en mí que pueda ser llamado religioso es la ilimitada admiración por la estructura del mundo, hasta donde nuestra ciencia puede revelar». Este «hasta donde la ciencia puede revelar» es la clave para entender la aparente coexistencia de la ciencia y la religión en un gran número de investigadores.

Otros van bastante más lejos y, por absurdo que parezca, pretenden justificar científicamente la existencia y milagros del creador. En *La física de la inmortalidad*, Frank Tipler busca explicaciones científicas a la resurrección, o a que una persona virgen pueda engendrar a un hijo varón. Según Tipler, las creencias esenciales del cristianismo son consistentes con las leyes de la física. Se trata de dogmatismo disfrazado de investigación, y es un buen ejemplo del acercamiento de la religión a la ciencia para justificar sus posturas. Como enfoque es muy poco científico que digamos.

Pero la ciencia también busca a la religión. Tradicionalmente pretendía esquivarla, pero ahora empieza a resultarle un fenómeno interesante de investigar. Asume que en algún momento de la historia fuimos nosotros los que creamos el concepto de Dios y no a la inversa, y siente curiosidad por comprender tanto su origen como

los efectos que Dios puede causar en nosotros mediante la imaginación.

Lo primero es aceptar la religión como algo natural e inherente a los seres humanos. Exista o no, parece que la selección natural ha tenido motivos suficientes para favorecer a los individuos o grupos sociales con predisposición a creer en Dios. Si esto es así, entonces podríamos intentar localizar su sustrato biológico en el cerebro y tratar de analizarlo desde una perspectiva científica. Esto es lo que buscan los neuroteólogos. Uno de los estudios más famosos fue el de Michael Persinger, que cuando estimuló partes del lóbulo temporal izquierdo de su cerebro dijo notar una sensación de misticismo y experimentar a Dios por primera vez en su vida. En el libro *Fantasmas en el cerebro*, V. S. Ramachandran explica casos de pacientes con ataques epilépticos localizados en esa misma zona, que sufren experiencias espirituales extremadamente intensas. Algunos creen que allí estaría el «módulo de Dios» en el cerebro. Otros estudios que tuvieron mucha repercusión fueron los realizados por Andrew Newberg utilizando imágenes de resonancia magnética funcional (fMRI) para analizar los cerebros de monjes budistas tibetanos y monjas franciscanas mientras rezaban. En su libro *Why God Won't Go Away*, explica su búsqueda de la localización en el cerebro de las experiencias místicas, e identifica el circuito cerebral de la espiritualidad. No concluye, claro está, si dicha actividad neuronal está generada internamente por el propio cerebro o si viene causada por «algo» externo. Y, de hecho, los resultados de sus investigaciones son interpretados de dos maneras

muy diferentes: para los creyentes son una prueba de que Dios preparó el cerebro para la espiritualidad, y para los escépticos resulta obvio que Dios sólo es un beneficioso engaño ancestral de nuestro cerebro, un órgano no diseñado para buscar la verdad sino para sobrevivir.

Podríamos continuar páginas y páginas; hablar de los efectos de la fe en nuestra salud, o los rastros de conductas pre religiosas en los homínidos que nos precedieron. Hay datos equívocos que pueden utilizarse para defender cualquier posición ideológica, pero al final, siempre se termina recurriendo a la coletilla «la ciencia no puede demostrar ni desmentir a Dios». Ciertó; pero lo que sí puede es desmentir por sobrenaturales algunos de los milagros o explicaciones sobre la estructura del mundo ofrecidas por la religión. Y cuando la cosmovisión científica y la religiosa chocan, se recurre a una fe que elimina cualquier pretensión de encuentro entre ambas. La fe y la ciencia son filosóficamente antagónicas. ¿Complementarias? Puede ser; pero cuando el debate supera los primeros tópicos y se adentra en discusiones serias de verdad, muestran unas diferencias fundamentales que para mí las hacen absolutamente irreconciliables. Entre la ciencia y la religión puede haber espacios comunes, pero no compartidos. Uno las puede alternar, pero no combinar.

§10. Creacionismo absurdo

Una de las frases más desafortunadas con que cuenta la sabiduría popular es: «La excepción confirma la regla».

Si la analizamos cuidadosamente, vemos que es uno de los sinsentidos más grandes que se pueden verbalizar. ¿Alguien conoce un solo ejemplo de regla que haya sido confirmada, o que se vea como más plausible, gracias a una excepción? Y no me refiero a complicadas leyes físicas; lo mismo se aplica a cualquiera de las generalizaciones cotidianas que solemos escuchar a menudo.

¿Por qué digo esto? Porque en la ciencia ocurre justamente lo contrario: una única excepción puede ser suficiente para derrocar una regla entera. Hice esta reflexión mientras visitaba las entrañas del Museo de Historia Natural de Washington D. C. acompañado del paleontólogo Hans Sues, quien me mostró algunos de los más de 40 millones de fósiles que tienen en su colección, la mayor del mundo. ¿Y sabéis qué? Ni uno solo contradice la teoría de la evolución ¡Ni uno!

Imaginaos por un momento que alguien descubre un fósil que desmiente la secuencia de cambios, adaptaciones y aparición de nuevas especies acorde con el proceso evolutivo descrito por los científicos. ¿Qué pasaría entonces? ¡Sería la noticia del siglo! Sin embargo, eso nunca ha ocurrido. ¡Nunca!

Si en el fondo, los creacionistas lo tienen fácil para desbancar a la teoría de la evolución. Con una sola prueba basta. Pero como no la tienen, utilizan una estrategia diferente: ampararse en los detalles no resueltos del evolucionismo y negar que haya pruebas concluyentes para respaldarlo.

Uno de sus argumentos favoritos es la ausencia de fósiles que muestren la transición entre las especies. Un creacionista millonario

turco llegó a ofrecer un premio absurdo a quien presentara un fósil intermedio que demostrara la teoría de la evolución. Cuando se lo expliqué a Hans Sues, cuyo campo de investigación es precisamente la aparición de nuevas especies, se echó a reír y respondió: « ¡Hay miles de ellos! En los últimos veinte años hemos acumulado evidencias de infinidad de transiciones. Un ejemplo precioso, y que se puede ver aquí en el museo, es la reconstrucción de los diferentes estadios intermedios entre unos mamíferos terrestres llamados ungulados (el hipopótamo es uno de ellos), que empezaron a adentrarse en el mar y evolucionaron poco a poco hasta las ballenas que ahora conocemos. También tenemos fósiles que muestran la aparición de los primeros pájaros, la salida de los peces del agua para colonizar la Tierra, e incluso tenemos pistas para ir siguiendo la formación progresiva de estructuras anatómicas complejas como un ojo. ¡Es obvio que el registro fósil es incompleto y tiene muchísimos huecos! Pero es radicalmente falso que no hayamos rellenado ya muchos de ellos».

El fósil más representativo de la transición de los mamíferos terrestres a las ballenas actuales que mencionaba Hans es el *Ambulocetus*, descubierto en 1992 en Pakistán, y correspondiente a un cuadrúpedo que vivió hace 50 millones de años, con una cabeza muy similar a la de las ballenas, pero cuyas palmas de manos y pies ya estaban adaptadas para nadar dentro del agua.

Antes de eso, algún animal tuvo que prepararse para salir del agua y colonizar la Tierra. El tiktaalik, descubierto en el Ártico en 2004, tenía branquias y escamas como cualquier otro pez, pero también

algunas características de los futuros animales terrestres: un cuello flexible, costillas y pulmones primitivos; sus aletas se habían convertido en extremidades con articulaciones, y tenía una especie de dedos que le permitía soportar su peso y caminar fuera del agua. Vivió hace 375 millones de años, y antecedió a los primeros anfibios que se adentraron en el mundo terrestre.

Hablando de cambio de medio, ¿cuándo se empezó a volar? El *Archaeopteryx* encontrado sólo dos años después de la publicación de *El origen de las especies* de Darwin vivió hace 150 millones de años y parecía ser un dinosaurio con cola, pelvis, articulaciones y brazos alados muy parecidos a los pájaros actuales. Durante mucho tiempo fue utilizado como prueba de la transición de las especies y para defender la teoría de la evolución, pero también era rebatido constantemente porque no resultaba tan concluyente. Sin embargo, en los últimos veinte años se han encontrado varios fósiles que demuestran claramente que los pájaros descienden directamente de los dinosaurios.

Después de los pájaros llegaron los mamíferos. Hay muchísimos ejemplos de especies con características mixtas de reptiles y mamíferos, pero quizá la más citada por los científicos sea el *Thrinaxodon*, que hace 245 millones de años todavía mantenía escamas y las hembras ponían huevos, pero al mismo tiempo ya poseía los bigotes exclusivos de los mamíferos, sangre caliente, y se cree que pelo corporal.

También hay infinidad de ejemplos dentro de los grandes grupos de animales. El *Eohippus* o *Hyracotherium* es un claro eslabón entre

algo parecido a un zorro y los caballos actuales, y el fósil de *Amphistium* descubierto en 2008 corresponde a un pez plano cuyos ojos están a medio camino entre la posición actual (ambos arriba de la cabeza) y la de los peces planos más primitivos (uno a cada lado). Este aparente desplazamiento repentino de los ojos era uno de los argumentos a los que recurrían los creacionistas para criticar la evolución, pero ya se han quedado sin él.

En lo que respecta a la especie humana, nuestra aparición es tan reciente que tenemos infinidad de ejemplos de los pasos que siguieron unos primates hasta convertirse en *Homo sapiens*. Para algunos paleontólogos, el ejemplar de *Homo ergaster* descubierto en 1984 en Kenia y conocido como niño de Turkana es quizá el fósil más intermedio en la evolución de la especie humana, ya que las especies de homínidos más antiguas se podrían considerar primates que caminaban erguidos, y las posteriores son ya claramente muy próximas a nuestros ancestros directos.

Podría dar infinidad de ejemplos. Sin embargo, todos serían rebatibles si un creacionista se empeñara en encontrarles pegas. Volvemos a lo de antes: ya sé que la ciencia no funciona de esta manera, pero ¿y si se pidiera a algún anti evolucionista que mostrara uno solo de los centenares de millones de fósiles hallados que refute a Darwin?

Parece absurdo tener que defender la evolución. Nunca me había preocupado el tema hasta que llegué a Estados Unidos, donde según algunas encuestas publicadas en *Nature* en 2007 la mitad de la población adulta no acepta la teoría de Darwin Y es que en ese

país los fundamentalistas religiosos han estado presionando activamente durante gran parte del siglo XX.

Su principal objetivo es disfrazar de científicas sus creencias para poder introducirlas en los programas auriculares de las escuelas públicas (las privadas que quieren ya lo hacen). Lo intentaron primero con el «creacionismo científico», eliminando todas las citas directas a Dios de su obra de referencia en la versión para las escuelas. Fracasaron. En la década de 1980 un juez dictaminó que resultaba obvio que el mensaje no era científico, sino religioso. Luego se inventaron el diseño inteligente, parecido al creacionismo científico pero evitando cualquier dato que pudiera recordar al Génesis bíblico. Tampoco coló. En la ciudad de Dover (Pensilvania) varios padres de alumnos denunciaron al consejo escolar porque había incluido enseñanzas de diseño inteligente. En 2005 el juez volvió a dar la razón a la biología: el diseño inteligente no era parte de la ciencia, sino ideología religiosa.

Es un tema candente en Estados Unidos y que aparece en las conversaciones a la menor oportunidad. Y a pesar de lo fácil que pueda parecer defender la evolución frente a la opinión pública, no lo es tanto. Un creacionista entrenado puede ganar el debate a un inocente científico cuyas inofensivas armas sólo sean los argumentos y la objetividad científicos.

De hecho, quizá sea mejor que los biólogos se centren en explicar bien los fundamentos de la evolución a los políticos, los educadores, las universidades, los periodistas, pero no caigan en la trampa de

los creacionistas y eviten discutir con ellos, sobre todo en los medios de comunicación. Hay varios motivos para ello.

Uno es que a veces los científicos pecan de ingenuos: creen que la razón es lo que se impone en un debate. Pero es falso. En los debates públicos la capacidad de oratoria es mucho más importante que las argumentaciones científicas. Y en eso los creacionistas están muy bien entrenados.

Otro motivo es que aceptar un debate puede dar la impresión de que existe cierta controversia entre los científicos. No es cierto. Evidentemente, quedan aspectos todavía no resueltos en la teoría de la evolución, pero para la comunidad científica su planteamiento general está totalmente aceptado.

Otro problema del que no se libra ningún blog, espacio televisivo, o debate es el siguiente: en cinco minutos o cinco frases un creacionista es capaz de generar una cantidad de desinformación que ningún científico podrá rebatir en una hora. Sin embargo, en cualquier espacio de debate dispondrán de las mismas condiciones. Además, si se acepta la confrontación, indirectamente se les da publicidad y se ayuda a transmitir su mensaje. Para ellos, el debate siempre termina en victoria, y con nuevos adeptos.

Se trata de no darles cancha. A veces es mejor no citar nombres, ni asociaciones, ni museos, ni flagelos. Ni siquiera vale la pena entrar en su juego intentando rebatir sus argumentos. Puede parecer una actitud arrogante, de presunción de certeza por parte de la ciencia. No lo consideréis así. Ya he dicho varias veces que la verdad tiene fecha de caducidad, y que la ciencia debe ser más humilde. No

puede demostrar que algo sea cierto, sino sólo que sea falso. Pero tampoco es cuestión de ser tan inocentes y permitir que retrocedamos culturalmente sin oponer resistencia.

§11. Liberados de los genes: Darwin no explica el amor

La psicología evolucionista nos puede explicar de dónde venimos, pero la vida que llevaron nuestros ancestros no es ni de lejos la mejor referencia para intentar comprender la conducta humana actual. Sobre gustos quizá los genes no tengan tanto escrito. Han delegado la responsabilidad de vivir al cerebro, la educación y la cultura. Y eso es una suerte, porque no estamos programados para construir un mundo más justo y sostenible.

Recuerdo el momento de esquizofrenia intelectual experimentado tras leer un extensísimo reportaje en la revista *Time* sobre la ciencia del romanticismo y la perspectiva evolutiva del amor. El tema era cautivador, pero resulta que encontré mezcladas referencias a estudios empíricos, que me gustaron muchísimo, con especulaciones que daban incluso repelús. Y es que, a veces, todo cuele dentro del mismo saco. No me malinterpretéis; el reto de intentar comprender la naturaleza humana es fascinante. Pero cuando algo te apasiona, también te vuelves más quisquilloso. Y justamente uno de los campos que más desasosiego generó al *sumiller científico* durante su estancia en Boston fue la aplicación de la lógica evolutiva a la interpretación de nuestro comportamiento.

Mi planteamiento humilde pero radical es el siguiente: la famosa frase de Dobzhanski, «Nada en biología tiene sentido si no es a la luz de la evolución», se ha exagerado hasta el sinsentido. No me malinterpretéis; evidentemente, la evolución ha ido perfilando tanto nuestro cuerpo como nuestra mente con el objetivo de sobrevivir y dejar descendencia. Eso queda fuera de cualquier duda. Pero cuando leemos algunas de las historias escritas por los psicólogos evolutivos más deterministas para interpretar el comportamiento humano actual, el peso que le otorgan a las condiciones en que vivieron nuestros ancestros me parece del todo desorbitado.

Por ejemplo, no me creo que hoy en día los hombres decidamos con quién compartir nuestra vida fijándonos en los pechos y las caderas anchas que indiquen alimento para las crías. Ni las mujeres en hombros fuertes que permitan a sus proveedores de recursos cargar más comida durante sus viajes por la sabana africana. Y argumentar que la versión actual de la espalda ancha es el coche deportivo, que indica estatus económico, resulta todavía más simplista. Si alguien decide dar importancia a los recursos en la selección de pareja, no será por un condicionante evolutivo inconsciente. Se dice que las mujeres son más fieles porque sólo pueden tener un hijo cada nueve meses y los hombres uno en cada encuentro. Y que ellas evitan tener sexo en la primera cita porque sus genes necesitan más garantías de compromiso. En la sociedad actual, esto ya no tiene sentido alguno. Y todavía me convence menos que el amor esté programado para durar cuatro años porque es el tiempo que el bebé requiere ser cuidado por sus progenitores.

Esto último no es ciencia ni es nada. ¿O es que hay algún experimento que pueda ponerlo a prueba? Ésta es una de las claves. Muchas aseveraciones que justifican cualquier acto desde una perspectiva evolutiva son sólo historias que encajan y generan un «Ah, claro». No penséis que es un arrebató. Arrastro la espinita sobre la duración cuatrienal del amor desde la primavera de 2005, cuando siendo todavía editor del programa *Redes* hicimos un episodio sobre el enamoramiento y no logré convencer a una guionista de que, por mucho que lo hubiera dicho un científico, no dejaba de ser un completo desatino.

Insisto: no niego que llevemos en nuestras células los mismos genes de nuestros antepasados homínidos y compartamos una predisposición a ser monógamos sucesivos, o a percibir unos cuerpos como más atractivos que otros. Claro que nacemos condicionados. Pero la lógica evolutiva está sobrevalorada como interpretación del comportamiento del ser humano moderno. En nuestra especie, los genes han delegado la responsabilidad de vivir al cerebro, y éste —por suerte— se deja manipular muchísimo por el entorno, la educación y la cultura con que le toca lidiar. De hecho, esta enorme plasticidad cerebral que los científicos están constatando —y que no se limita sólo a las primeras etapas de la vida— podría ser uno de los más preciados regalos que nos ha concedido la evolución. Nacemos con unos condicionantes básicos, pero predispuestos a que sea el entorno el que termine tejiéndolos. Las críticas más duras a la psicología evolutiva —siempre desde dentro de la comunidad científica— podrían ser encarnadas por el

filósofo de la ciencia David Buss en su libro *Adapting Minds*. Buss alberga dudas sobre la existencia de una naturaleza humana que sea tan universal, estanca y bien definida; y argumenta en contra de que nuestro comportamiento actual pueda explicarse por las presiones selectivas vividas hace decenas de miles de años, cuando todavía éramos cazadores-recolectores. La objeción más repetida a la psicología evolutiva es su debilidad científica a la hora de poner a prueba ciertas hipótesis. Las coherencias evolutivas resultan muy sugestivas, y cuando las explicas suenan muy convincentes, pero a veces les falta consistencia.

Su gran argumento suele ser que la información genética del *Homo sapiens* no ha cambiado significativamente en los últimos 100.000 años, aunque esto también está cada vez más en entredicho. Los genetistas están observando que los grandes cambios culturales sufridos por nuestra especie han actuado como una fuerza evolutiva que, de hecho, nos ha hecho evolucionar genéticamente incluso más rápido. La adaptación a la lactosa es quizá el ejemplo más citado, pero se han descubierto centenares de cambios genéticos seleccionados por actividades humanas recientes; algunos de ellos, incluso involucrados en funciones cerebrales. Esto es importante. Y aunque más controvertido, también falta esclarecer el papel de la epigenética; modulaciones de la actividad de nuestros genes inducidas por el entorno, y que pueden alcanzar las líneas germinales y mantenerse durante varias generaciones. Con todo ello, la consabida afirmación de que si ahora naciera un *Homo*

sapiens de hace 100.000 años no lo distinguiríamos de nuestros hijos, no está tan clara.

Mis dudas se incrementaron cuando percibí que incluso en Harvard, uno de los feudos del estudio evolutivo de nuestra naturaleza, científicos como Pinker, Hauser o E. O. Wilson rebajaban su tradición determinista. En una multitudinaria charla a finales de 2007 el carismático Edward Wilson abogó incluso por reinterpretar los fundamentos teóricos de su sociobiología. Rompió con su anteriormente defendido reduccionismo genético diciendo que las adaptaciones a nivel puramente de grupo también juegan un papel muy importante en la evolución del comportamiento social, y recalificó de simplista el egoísmo genético como única explicación de la conducta animal. En otra charla, Stephen Pinker —junto con Dawkins y Dennet, uno de los mayores divulgadores de la psicología evolutiva— reconoció que nadie esperaba observar la velocidad a la que están cambiando nuestros genes, y admitió que debían revisar esa asunción de que nuestros cerebros no han cambiado desde la Edad de Piedra. Marc Hauser todavía fue más lejos durante una conversación que mantuvimos en su despacho: «En algunos asuntos específicos de la mente humana he cambiado mi forma de pensar respecto al poder de la lógica darwiniana. He perdido cierta fe en el programa adaptativo para explicar o predecir algunos aspectos de nuestro pensamiento».

Somos primates, desde luego. Sólo hace falta observar a nuestros primos macacos y chimpancés para ver qué comportamientos básicos del mundo animal forman parte intrínseca de nuestra

naturaleza. Podemos aprender muchísimo de ellos, sobre todo porque nos permiten hacer experimentos para contrastar sus capacidades cognitivas y sociales con las nuestras. También podemos aprender una barbaridad descubriendo cómo vivían nuestros antepasados y qué presiones tuvieron que superar para sobrevivir y dejar descendencia. Pero intentar encajar los comportamientos más sofisticados de las sociedades modernas bajo la óptica evolucionista a veces parece más un juego que una actitud científica.

Responsabilicemos a la cultura, no a los genes

En teoría, si alguien flirtea con mi pareja mis genes me impulsarán a embestirle a cornadas para proteger mi estrategia reproductiva. La evolución nos sugiere que hagamos caso al más anciano de la tribu porque él ha sabido cómo sobrevivir durante muchos años. Nuestro instinto genético desconfía de alguien con un color de piel diferente porque puede ser un intruso peligroso. Y cuando unos exploradores hambrientos colonizaban nuevas tierras cazaban cualquier animal comestible sin plantearse la eliminación de ninguna especie. Sin embargo, nos hallamos en la época menos violenta de la historia, asumimos la responsabilidad de cuidar nuestro planeta, la ciencia nos fuerza a dudar del conocimiento establecido y solucionamos los conflictos con normas no inspiradas en la supervivencia individual o del grupo.

La cultura y la educación nos están liberando de nuestra carga genética. Y esto es una suerte, porque no estamos programados

para construir un mundo más justo y sostenible. La sociobiología y la psicología evolutiva pueden ser útiles para comprender cómo somos e indicarnos qué debemos modificar, pero nunca para justificarnos.

Analicemos el caso de los conflictos bélicos. Solemos decir que las guerras son un reflejo de nuestro bagaje genético. Puede ser cierto sólo en parte. En los últimos años hemos visto que el ser humano individual tiene muchísima más predisposición a la empatía y solidaridad que a la agresividad y el egoísmo. Es en el grupo cuando observamos esa malévola tendencia a apoyarnos de manera interna para enfrentarnos despiadadamente contra grupos opositores. ¿Cuál es la lección que se extrae? Trascender nuestra biología y construir grupos sociales abiertos en lugar de cerrados predestinados al conflicto. La ciencia nos indica que lo natural es agruparse, defender lo propio y competir con lo ajeno, pero no tenemos por qué seguir sus órdenes. Los niños educados en ambientes donde conviven diferentes razas son menos discriminatorios. Una actitud abierta a la diversidad de opciones religiosas, políticas, lenguas u organizaciones sociales disminuye la tendencia a formar grupos con identidades fuertes, cerradas y perniciosas, que inducen de manera inexorable a la confrontación. Debemos saber gestionar las emociones grupales además de las individuales, y sabemos que es posible. Los genes nos condicionan, pero no determinan. Somos seres maleables por nuestro entorno. De las guerras debemos culpar a la cultura o la religión, no a la biología.

§12. Patentes: investigar para curar o para enriquecer

Imagina que vas al médico y le dices: «Mire, mi madre y mi abuela sufrieron cáncer de mama, y una amiga me ha dicho que debería comprobar si tengo mutados los genes BRCA 1 y BRCA 2, que al parecer están relacionados con éste y otros cánceres... ¿Es eso cierto?». Doctor: Sí, sí, sería muy conveniente hacerte las pruebas, pero el test cuesta 3.500 dólares. Tú: ¿Tanto? ¿Por qué es tan caro? Doctor: Porque esos genes están patentados desde 1995, y los análisis sólo puede hacerlos una compañía al precio que ellos dicten.

En marzo de 2010 esto ocurría en Estados Unidos. La compañía se llama Myriad Genetics, fue fundada por los investigadores de la Universidad de Utah que descubrieron las mutaciones BRCA 1 y 2 en 1993, y en esos momentos se enfrentaba a una demanda judicial impulsada por dos organizaciones que luchan por los derechos civiles: American Civil Liberties Union (ACLU) y Public Patent Foundation (PUBPAT). Los abogados de ambas organizaciones argumentaban que los genes humanos no son algo que pueda ser patentado, y si se hizo en su momento fue porque la legislación todavía no estaba desarrollada. Pero esto debe ser rectificado de inmediato por el bien de la población.

La demanda fue presentada «en nombre de investigadores, consejeros genéticos, pacientes, grupos de apoyo a las enfermas de cáncer de mama, y asociaciones científicas representando a 150.000 genetistas, médicos y profesionales de la salud». El veredicto del

juez podía sentar un importante precedente que afectaría a los miles de patentes genéticas aprobadas por la Oficina de Patentes y Marcas Registradas de Estados Unidos (PTO), y que dan derecho a sus titulares a impedir que alguien investigue o haga tests con «su» gen específico.

¿Qué os sugiere esta situación? Antes de pensar en términos de protección de la propiedad intelectual, tengamos en cuenta que no estamos hablando de un videojuego o una obra musical, sino de hacer negocio con una información que puede salvar vidas. ¿Deberían limitarse los derechos de aquellas compañías que han invertido capital privado para encontrar genes asociados a enfermedades?

Sé lo que estáis pensando: en otros lugares del mundo hay problemas de acceso a los medicamentos básicos muchísimo más dramáticos que éste. Pues vayamos a ellos. Alejémonos del caprichoso mundo desarrollado y adentrémonos en el espinoso asunto de las patentes en la industria farmacéutica.

Inconvenientes de las patentes farmacéuticas

Éste es el territorio de Judit Rius, abogada de la organización no gubernamental Knowledge Ecology International (KEI), profesora adjunta en la Facultad de Derecho de la Universidad de Georgetown, y una de las personas que he conocido en Washington D. C. cuyo trabajo es digno de admiración.

Desde hace años, algo chirría en el funcionamiento de las compañías farmacéuticas. El objetivo de Judit y un creciente

número de expertos en todo el mundo es muy claro: buscar alternativas al sistema de patentes que compensen a la industria, pero resulten más justas con la sociedad. Se trata de promover la innovación médica en las áreas de salud prioritarias, y garantizar el acceso a los más necesitados. Para ello, la propiedad intelectual y los derechos exclusivos deben dejar de ser el único mecanismo que incentiva a una empresa a invertir en investigación.

¿Cuál es el problema fundamental que pervierte la innovación en el desarrollo de nuevos medicamentos? Uno tan claro como éste: el coste de la investigación se recupera con el precio final en las ventas. Te puede parecer obvio que así sea, pero olvídate del músico que gana su jornal vendiendo CD. La responsabilidad social de la industria farmacéutica es diferente. Y la manera en que está organizado el sistema de patentes actual conlleva una serie de consecuencias negativas:

- Enfermedades olvidadas: no hay incentivos económicos suficientes para investigar en enfermedades que afectan desproporcionadamente a países en vías de desarrollo sin capacidad de pagar precios altos por los medicamentos. Ejemplos: herramientas de diagnóstico para la tuberculosis, o tratamientos para la enfermedad de Chagas.
- Las farmacéuticas gastan mucho más dinero en marketing y promoción que en I+D. En Estados Unidos, hasta el doble según estudios de 2008.
- Existe mayor interés económico en retocar fórmulas y patentar productos secundarios sin mejora terapéutica importante, en

lugar de fármacos que afectan a pocos individuos, o a países pobres, y que requieran elevados costes de innovación

- Muchos medicamentos se comercializan a precios demasiado altos para ser asequibles a pacientes y gobiernos, incluso del primer mundo.
- Enfermos de sida en países en vías de desarrollo no pueden acceder a medicamentos más efectivos de segunda y tercera generación porque las patentes bloquean la producción de genéricos.

En fin, si otorgamos derechos exclusivos a las compañías farmacéuticas para recuperar los costes de la innovación, su comportamiento en el mercado tiende a ser monopolista, imponiendo barreras a la competencia para retardar la entrada de productos genéricos en el mercado. En Europa, la Comisión Europea se ha percatado del problema y está investigando el funcionamiento del sector farmacéutico con el objetivo de «averiguar por qué las farmacéuticas no fabrican medicamentos innovadores y por qué no aparecen genéricos alternativos más baratos».

No perdamos la perspectiva: los beneficios que la farmacología moderna ha aportado a las sociedades desarrolladas son inconmensurables. No albergamos duda alguna sobre ello. El reto actual es que ocurra lo mismo en los países en vías de desarrollo.

Pero para conseguirlo no puede ser gestionada como cualquier otra actividad económica cuyo objetivo es maximizar beneficios, ni

regirse sólo por leyes proteccionistas de incentivo a la innovación. Debe contemplar otros valores.

Tampoco somos ingenuos. El sector privado es de lejos más eficiente que el público. Y si no hay beneficios a la vista, tampoco hay investigación previa. Los incentivos económicos son imprescindibles. La cuestión es: ¿de dónde vienen? Si proceden sólo del precio de las ventas, la misión de «garantizar el acceso e innovar en medicamentos para quienes más lo necesitan» se pervierte a favor del «para quienes más puedan pagarlo».

Myriad Genetics debe ser compensada por su contribución al hallazgo de los genes BRCA 1 y BRCA 2, pero sin pasarse, y no necesariamente otorgándole un monopolio.

El punto clave según muchos especialistas como Judit es contundente: desvincular los costes de la innovación al precio final de mercado. Para ello, debe haber una alternativa al sistema de patentes como mecanismo para promover la innovación.

Atención: no estamos hablando de eliminar las patentes por completo. Las farmacéuticas pueden continuar patentando crecepelos o sobrecitos contra los síntomas del resfriado y hacer su negocio, faltaría más. Pero en asuntos importantes de salud pública a escala global, se necesita otro modelo.

Alternativas a las patentes

Hay varios modelos en discusión. En concreto en el que trabaja Judit con el *think tank* Knowledge Ecology International es el de premios en lugar de patentes.

La idea es sustituir el monopolio de las patentes por un sistema de premios o recompensa a la I+D que, sin perjudicar la economía de las farmacéuticas, dirija la investigación hacia donde más se necesite y cambie la distribución de presupuestos entre marketing/investigación. Por ejemplo: crear fondos dirigidos a innovar en una problemática concreta y premiar a la industria que lo consiga. Luego el conocimiento se hace público, varias empresas producen genéricos, y los precios bajan. Nadie dice que sea fácil, pero lo que sí está claro es que el sistema actual de protección basado en patentes no incita a este fin. Debe ser revisado.

Hay muchas más iniciativas, como acortar períodos de explotación, compra directa de patentes, fortalecer alianzas público-privadas, conglomerados de patentes en que se aúnan esfuerzos y comparten licencias, compromisos anticipados de gobiernos en subvencionar futuras compras de medicamentos para países en vías de desarrollo, mecanismos de financiación extendida que dirijan más recursos a los países pobres y los conviertan en mercados atractivos para las farmacéuticas... Es un asunto candente y en plena discusión, porque, definitivamente, algo chirría: la vanagloriada revolución de la biomedicina no puede coexistir con las carencias tan vergonzosas que hay en tantas regiones de nuestro mundo.

El reto implica un cambio de paradigma importante en un país como Estados Unidos, donde la salud es vista como una oportunidad de negocio y el precio de los fármacos es pagado por los que tienen la mala suerte de necesitarlos. A escala global ocurre

algo parecido. En definitiva, se trata de repartir la suerte si realmente creemos que eso es lo más ético.

Anécdota personal en Dakar

A los seguidores del blog «Apuntes científicos» en *El País* quizá les resultará curioso saber que la foto de mi perfil es un recorte de otra tomada en el verano de 2006 durante un viaje a Senegal. Fui invitado a la boda de M. y Pap, el mayor de seis hermanos de una familia de clase media de Dakar. Clase media allí no es lo mismo que en España. No pasaban penurias, pero el arroz con pescado y el cordero que la madre de Pap preparó entre su habitación y la diminuta cocina para celebrar la boda de su hijo era un verdadero lujo. Dinero no tenían, pero dignidad no les faltaba. Al día siguiente, visitándoles en el barrio alejado del centro donde todos los niños me miraban como si hubieran visto un fantasma, me dijeron que una de las sobrinas de Pap estaba enferma. Tenía fiebre y dolores en la tripa. « ¿No la lleváis al médico?», pregunté. Cuando respondieron cabizbajos «Vamos a esperar un poco», me sentí un verdadero niño estúpido. ¿No me daba cuenta de dónde estaba? En la calle de al lado podías comprar tabaco, pero acceder a los medicamentos para una niña de seis años era más complicado, y caro. Sólo me atreví a decir en voz baja: « ¿Os puedo ayudar?», a lo que respondieron: «Gracias, de momento no te preocupes». Esa niña en concreto se recuperó, pero como buen paleta occidental que yo era, necesité vivir tal experiencia en primera persona para entender que entre los

grandes retos de la medicina del siglo XXI quizá el más importante es hacerla llegar a quienes más la necesitan.

Capítulo V

Biología del siglo XXI

Contenido:

- § 1. Leer genes: fiesta pija para recolectar ADN*
- § 2. Seleccionar genes: Gattaca y la nueva eugenesia*
- § 3. Corregir genes: el resurgimiento de la terapia génica*
- § 4. Reprogramar genes: células madre hasta en la crema*
- § 5. Más allá de los genes. Epigenética: las experiencias se pueden heredar*
- § 6. Tus otros genes: el Proyecto Genoma Humano no estaba completo, faltaban tus microorganismos*
- § 7. Diseñar genes: vida sintética en el laboratorio*

Somos unos privilegiados. Tenemos la oportunidad de estar siguiendo en tiempo real los asombrosos avances en biología humana que ya están transformando la medicina, prolongarán nuestras vidas, y nos permitirán comprender el funcionamiento de nuestro organismo en un grado de intimidad nunca antes siquiera soñado. Estamos en medio de una revolución sin precedentes. Y, sin embargo, no seguimos sus progresos con la pasión que cabría esperar.

Una explicación podría ser que los genetistas y los biólogos moleculares llevan ya cierto tiempo anticipándonos sus siguientes pasos, explicándonos cómo la era de la información genética va a modificar poco a poco la práctica de la medicina, o a qué metas dirigen sus investigaciones en células madre. No nos sorprenden de

un día para otro, ni suelen regalarnos descubrimientos que rompan paradigmas. Su progreso es constante, pero lento y dirigido. Es la manera en que avanza este campo particular de la ciencia. Pero eso no debe ocultar que por fin nos encontramos realmente en un punto de inflexión en la historia de la biomedicina. Este punto de inflexión es el paso de la ciencia a la tecnología, del conocimiento a la acción, de la revolución intelectual a la transformación tácita del mundo.

Desde el descubrimiento de la estructura del ADN en 1953 por Watson y Crick, los hitos científicos en biología molecular se han ido sucediendo a un ritmo exponencial. Pero tras varias décadas acumulando conocimiento sobre nuestros genes, la llegada de unas nuevas herramientas tecnológicas que nos permiten secuenciar, extraer información y manipular los bloques de la vida con una facilidad desbordante desembocarán en una biomedicina personalizada que irrumpirá en la consulta de tu médico de cabecera mucho antes de lo que imaginamos. Los próximos años serán frenéticos. La era de la información ha llegado también para la biología humana.

Sin ir más lejos, una proporción inusitada de los que estáis leyendo estas líneas superará holgadamente y con buen estado de salud los cien años de edad. No te pierdas la revolución que lo hará posible.

§1. Leer genes: fiesta pija para recolectar ADN

Imagínate despertar por la mañana, abrir tu correo electrónico y recibir el siguiente *mail* de la empresa que ha secuenciado tu genoma, lo tiene en su base de datos, y va actualizando la

información que puedes extraer de él «Le informamos de que ayer la revista científica *Nature* publicó un estudio según el cual las personas con una mutación en el gen XYZ-987 tienen un 40 por ciento más de posibilidades de sufrir cáncer de colon que las personas sin esta mutación. Al contrastar con los datos que tenemos de su genoma, usted sí posee esa mutación. Ajustando con todo su perfil genético, su riesgo de padecer cáncer de colon ha aumentado a un 27 por ciento por encima de la media de la población. Le recomendamos que informe a su médico y adelante los controles de diagnóstico precoz a la edad que él establezca».

¿Ciencia ficción? En absoluto. Un escenario intermedio, que también parecía futurista hace diez años, ya se ha materializado.

Domingo, 14 de septiembre de 2008. Me había comprado el *New York Times* para sobrellevar las cuatro horas de autobús que me esperaban desde Nueva York a Washington D. C. Iba a ser un viaje tedioso y del que no esperaba emoción alguna, pero cuando al rato empecé a rastrear los diferentes suplementos del periódico, ¡sorpresa! En plena portada de la sección de «Moda» del *New York Times* aparecía la foto de una elegante pareja escupiendo en un par de recipientes. La imagen ilustraba un reportaje sobre la recolecta de ADN acontecida el día anterior en un conocido local de la ciudad. No se trataba de una broma; la compañía de análisis genéticos 23andMe había organizado una fiesta para que miembros de la alta sociedad neoyorquina pudieran dejar muestras de su saliva en unos viales, devolverlos bien precintados a los responsables de la empresa, y recibir al cabo de un mes un informe genético personal

con datos sobre el origen de sus antepasados, la predisposición a ciertas enfermedades comunes como el asma, la diabetes, la obesidad, o varios tipos de cánceres, y detalles como la predisposición a la calvicie, origen ancestral de sus antepasados, sensibilidad al sabor amargo, o saber si su cuerpo metabolizaba rápido la cafeína o no. En ese momento eran 89 los marcadores genéticos que estaba rastreando la compañía fundada por Linda Avey y Anne Wojcicki.



No exageremos. Ellas mismas reconocían que la información obtenida todavía no iba a ser demasiado relevante como diagnóstico médico. De ciertas enfermedades sólo analizaban alguno de los muchos factores genéticos que todavía faltaban por conocer, y sus clientes más bien debían considerarlo un divertimento o simple curiosidad. Sin embargo, algunos invitados parecían tomárselo más

en serio, y el artículo recogía frases como: «Si mi marido tuviera un gen que hiciera peligrar seriamente a mi hijo en el parto quizá adoptaríamos», «Quiero averiguar por qué tengo pecas», o «En principio no dejaría a un novio aunque descubriera que no somos compatibles genéticamente, pero depende de lo que salga». Entre los asistentes había quienes ya se habían sometido con anterioridad a un test genético de la compañía e iban promulgando: ««Me hizo extremadamente feliz saber que tenía pocas posibilidades de padecer obesidad», o ««Me tranquilizó averiguar que un gen asociado a la enfermedad cardiovascular venía de mi madre, que tiene noventa y nueve años; porque mi padre murió a los sesenta y siete de un ataque cardíaco».

No consideres muy lejanas estas expresiones, porque dentro de muy poco tú mismo podrías estar repitiéndolas. De hecho, la tarifa de 23andMe por esos análisis era de unos muy asequibles 399 dólares, y pocos meses después, otras compañías ya estaban ofreciendo precios más competitivos y con mayor número de datos obtenidos a partir del ADN. No te extrañes si algún día alguien te regala por tu cumpleaños un test genético, o la posibilidad de secuenciar tu genoma completo.

Si algo reflejaba la fiesta del análisis de ADN, es que la tan ansiada era de la medicina personalizada estaba acercándose sigilosamente. Ese viaje en autobús me hizo recordar y constatar las palabras pronunciadas unos meses atrás por el prestigioso genetista Eric Lander en el MIT, cuando frente a un auditorio repleto dispuesto a

escuchar la historia de su vinculación al Proyecto Genoma Humano, nos dijo: «El futuro ya ha llegado».

Cuando en junio de 2000 Francis Collins y Craig Venter anunciaron junto a Bill Clinton la primera secuenciación del genoma humano, advirtieron que en esos momentos su valor todavía era más simbólico que práctico. Los genetistas tenían en sus manos un libro extensísimo escrito en un código que cada vez conocían mejor, pero «ahora toca leerlo y encontrar el sentido de las frases», decían. Ya se conocían bastantes mutaciones genéticas específicas que causaban por sí solas enfermedades como la fibrosis quística o la enfermedad de Huntington. Pero caracterizar todas las variaciones relacionadas con trastornos que dependían de múltiples genes como la diabetes, los cánceres o las cardiopatías era una tarea lenta, muy lenta. Primero debían identificar genes asociados a características físicas o procesos metabólicos, luego ver si esos genes eran idénticos en todas las personas o si entre la población habían distribuidas versiones del mismo gen con pequeños cambios, y por fin comprobar si dichos cambios influían de manera significativa en su correcto funcionamiento. Llegar a caracterizar todos los genes relacionados con nuestras características físicas y poder establecer un riesgo genético fiable para enfermedades comunes parecía una empresa titánica. Todavía lo es. Pero como en muchas otras ocasiones en ciencia, la llegada de una herramienta tecnológica poderosísima ha acelerado exponencialmente el proceso.

Eric Lander fue así de entusiasta y contundente: «En 1997 se diseñó el primer chip para leer el ADN capaz de analizar si un gen

específico tenía una mutación determinada o no. En 2001 apareció un nuevo chip que identificaba diez posibles mutaciones a la vez. En 2002 ya conseguían analizar 1.000 posiciones; en 2004, 50.000; en 2006, 500.000, y en 2007 se llegó a un millón de polimorfismos genéticos individuales detectados en un único chip. ¡Esto, en manos de los investigadores, abre unas posibilidades de muestreo enormes!».

Con estos chips genéticos era mucho más sencillo agrupar personas con características diferentes, rastrear sus genomas de forma más exhaustiva, y comprobar si existía alguna mutación claramente asociada a un grupo de pacientes determinado. Los chips de ADN han multiplicado la capacidad de los científicos de interpretar la información genética, y los resultados no se han hecho esperar.

«Vayamos al grano —dijo Lander durante su presentación—. Olvidémonos de detalles superficiales como la altura, la apetencia por el sabor amargo, el color del pelo, o las enfermedades genéticas que sean minoritarias y ya sepamos identificar con otros métodos más específicos y directos. Hablemos directamente de cuántos polimorfismos genéticos individuales relacionados con enfermedades comunes como la diabetes, el infarto de miocardio, el glaucoma, el cáncer, se han descubierto en los últimos años». La tabla que nos mostró fue impresionante: en 2000 se identificó uno (asociado a la diabetes); en 2001, dos (de la enfermedad de Crohn); otro en 2002; uno en 2003; uno en 2004; cuatro en 2005; ocho en 2006; pero, de repente, entre enero y septiembre de 2007 se llevaban confirmados nada más y nada menos que 57 nuevos

polimorfismos genéticos asociados a enfermedades comunes como cánceres de pecho, colon y próstata, diabetes I y II, obesidad, infarto de miocardio, artritis reumatoide, esclerosis múltiple, asma, y el ritmo se estaba acelerando exponencialmente. Todo eso gracias a los chips genéticos. El 2007 fue el *annus mirabilis* de la genética humana. El futuro había llegado. Una vez localizadas tantas mutaciones asociadas a patologías, por fin empezaba a tener sentido diseñar un nuevo tipo de chips para detectar fácilmente si uno las poseía o no. Y eso empezaron a hacer empresas privadas como 23andMe, DeCode, o Navigenetics.

Cautela era la palabra que repetían los genetistas más serios. Aunque, efectivamente, la progresión estaba siendo espectacular, todavía faltaba mucho genoma por leer y piezas que encajar para tener una visión sensata de nuestra salud a través del ADN. Además, los chips utilizados por las empresas privadas contaban con bastantes limitaciones. Una muy importante era que sólo medían mutaciones individuales o SNP (Single Nucleotide Polymorphisms), y hay muchas más formas en que un gen puede estar alterado y conducir a un mal funcionamiento. Pero, sobre todo, la restricción fundamental era —y continúa siéndolo— entender que la mayoría de nuestras características físicas o enfermedades habituales no dependen de un único gen, sino de muchos a la vez. Conocemos algunas variaciones genéticas asociadas al infarto de miocardio, pero seguro que existen muchas más no descubiertas todavía. La lectura del genoma será un proceso continuo que probablemente no terminará nunca, y esto nos

conduce a la visión futurista con que abría este texto. Secuenciar el primer genoma humano completo costó 3.000 millones de dólares; el de James Watson «sólo» un millón; Craig Venter secuenció de nuevo el suyo por 300.000 dólares; y se convocó el Premio X de 10 millones de dólares al primer equipo que fuera capaz de secuenciar cien genomas humanos en diez días por menos de 10.000 dólares cada uno. Visitando un laboratorio del MIT en mayo de 2008, me mostraron el secuenciador que les había llegado la semana anterior diciendo: «Hace en dos semanas lo que todo el Proyecto Genoma Humano hizo en tres años y con un equipo de centenares de investigadores». Quién sabe cuánto costará secuenciar tu genoma cuando leas estas líneas, pero sin duda podrás permitírtelo. En junio de 2010 tuve la oportunidad de entrevistar personalmente a Francis Collins con motivo del décimo aniversario de la presentación del primer borrador del genoma humano. La frase que más me impactó fue: «Me sorprendería mucho que dentro de diez años, tú y yo —o cualquiera que tenga acceso al sistema sanitario— no tuviéramos nuestro genoma secuenciado. Los beneficios de conocer esta información serán enormes, y el coste se está desplomando». Quedan grandes retos científicos, técnicos, sociales y éticos que afrontar para poder sacar el máximo partido a dicha información. Pero, sin duda, se acerca el día en que el genoma formará parte de nuestro historial médico, estará informatizado, y se irá actualizando a medida que los científicos vayan descubriendo más asociaciones a enfermedades, características físicas, habilidades mentales o incluso predisposición a ciertos comportamientos: «Su colesterol es

de 278, la presión sanguínea ligeramente alta, sobrepeso, no fumador, nivel de azúcar correcto, predisposición genética 62 por ciento por encima de la media», podría decirte tu médico.

Respecto a la predisposición genética y la prevención, tampoco tengas grandes expectativas. Salvo pocos errores fatales que condicionan fuertemente a ciertas enfermedades, como el BRCA 1 y 2 para el cáncer de mama y otros, la suerte genética quedará repartida. Me refiero a que los científicos están descubriendo tantísimos genes implicados en características comunes que en raras ocasiones la lotería genética te habrá castigado con todas las mutaciones dañinas, o premiado con una protección excepcional para evitarlas. En realidad, todos somos muy iguales, de la misma manera que poca gente sobrepasa los dos metros de altura o se queda en el metro cincuenta. Conocerás en mayor detalle tus riesgos, qué fármacos son los mejores para ti, y a qué aspectos de tu salud debes prestarles más atención. Pero en casos normales, el dato genético podrá quedarse en una simple línea más, y tu destino será decidido por cómo trates a tu cuerpo o elijas utilizar tu cerebro. Otra historia es cuando tu organismo empieza a funcionar mal. Ahí, sin embargo, la información genética sí podría salvarte la vida. Veamos un ejemplo concreto de esto último, que no es tremendamente relevante, pero sí muy ilustrativo: en enero de 2010 científicos de los Institutos Nacionales de la Salud descubrieron que uno de los cánceres cerebrales más comunes, el glioblastoma, podía estar causado por cuatro mutaciones genéticas diferentes. Hasta el momento, como los tumores del glioblastoma siempre tenían la

misma apariencia clínica, los médicos lo habían considerado un único tipo de cáncer. Pero ahora veían que a nivel molecular, había cuatro subtipos. Y lo más importante, cada subtipo reaccionaba de manera diferente a la quimioterapia y otros tratamientos. Es ahí donde aparece la revolución. Las terapias específicas no son nuevas en absoluto, pero la dimensión que está adquiriendo conocer a fondo el perfil genético de ciertas enfermedades, especialmente el cáncer, hace que por fin podamos asegurar que la expansión de la tan ansiada medicina personalizada está a la vuelta de la esquina. O «ya estamos inmersos en ella», como asegura Francis Collins al recordarnos que la implantación no llegará de un día para otro, sino que será un progresivo goteo de conocimientos y aplicaciones concretas que cambiarán poco a poco la manera de afrontar enfermedades.

«Tómese este fármaco específico y en esta cantidad ajustada a su perfil genético», te dirá el médico dentro de muy poco tiempo. O «Este producto para la calvicie es el que mejor funciona para una mutación como la tuya», te aconsejará el esteticista genético.

Insisto en lo de muy poco tiempo. Tener tu genoma secuenciado será rutinario en menos de una década. No puede ser de otra manera. El precio de hacerlo se está reduciendo a un ritmo impensable hace unos pocos años, inversamente proporcional a la cantidad de valiosísima información que de él podemos obtener. Los progresos en investigación básica están siendo incluso más rápidos de lo que imaginaban los científicos. Ahora falta el difícilísimo reto de trasladarlo a la práctica médica, pero el punto de inflexión ha

llegado: ya hay suficiente masa crítica de conocimiento en genética humana para plantearse aplicarlo a gran escala, e integrarlo definitivamente al cuidado cotidiano de nuestra salud.

Una medicina preventiva específica y adaptar fármacos a nuestros genes estropeados será el primer paso. No está tan cerca, pero cada vez menos lejos, el momento en que podamos llegar a repararlos y evitar transmitirlos a nuestros hijos.

§2. Seleccionar genes: *Gattaca* y la nueva eugenesia

Sitúate ahora en un futuro no tan lejano: tienes secuenciado tu genoma, y sabes que una mutación concreta te da altas posibilidades de sufrir un tipo de cáncer determinado. Consciente de ello, haces controles regulares y sigues unas normas específicas de prevención. Si algún día descubres que tus células empiezan a dividirse y crecer incontroladas, el médico sabrá qué tratamiento se adecua mejor a tu perfil genético y te ofrece mayores opciones de curación. Todo «correcto». Pero entonces llega el momento en que deseas tener un hijo; ¿qué haces?, ¿te la juegas y dejas su destino al azar, o coges un puñado de espermatozoides de tu pareja, fecundas con ellos unos cuantos de tus óvulos, esperas a que empiecen a multiplicarse hasta formar una pelotita de células, sacas una de estas células, miras su ADN, e implantas en tu útero un par de los embriones que no tengan la mutación genética que predispone al cáncer? De hecho, en enfermedades que dependen de un único gen defectuoso y la enfermedad está un ciento por ciento garantizada, como la de Huntington, este diagnóstico

preimplantacional lleva realizándose desde hace más de una década. Y tiene todo el sentido del mundo; si todos los portadores de Huntington optaran por la fecundación *in vitro* acompañada del diagnóstico preimplantacional, y no se produjeran embarazos no deseados, con el tiempo esta enfermedad podría desaparecer de los hospitales. Quedaría erradicada. Siempre habrá embarazos no previstos de personas con la enfermedad de Huntington, cuyos efectos no se manifiestan hasta bien entrada la vida adulta y permiten dejar antes descendencia sin problema, pero sin duda la prevalencia en la población de esta patología irá decreciendo con el tiempo.

Pero regresemos a tu caso futurista, donde tu mutación no garantiza que vayas a sufrir un cáncer, sólo aumenta la posibilidad. ¿También aquí es ética la selección de embriones? No hace falta que lo pienses mucho; no es una situación futurista en absoluto. En 2009 se aprobó en España la ley que permite hacerlo en portadores del gen BRCA 1 y 2, fuertemente asociados al cáncer de mama y al de ovarios. Deja de lado los porcentajes. Ya da igual si el riesgo de cáncer de pecho que evitas es un 80 por ciento, o un 60 por ciento; el camino queda libre para que el diagnóstico preimplantacional se extienda hasta límites que, sin llegar a ellos, te recordarán a la película *Gattaca*. Por mucho estupor que pueda generar, cuando sepas las carencias de tu genoma, no querrás transmitirlos a tus hijos. ¿Hay algún inconveniente en ello? Eso es lo que abordaron en Harvard el científico Douglas Melton y el filósofo Michael Sandel en una sesión de bioética repleta de jóvenes estudiantes.

Lo primero que se hizo fue pasar la famosa escena de *Gattaca* donde un médico muestra a una pareja imágenes de sus embriones, les dice que ya ha eliminado varias enfermedades, la miopía y la calvicie, y les pregunta qué sexo, color de ojos, o tono de piel prefieren. Ante las muestras de perplejidad de los padres, insiste: «No lo olviden, este hijo es como ustedes; simplemente lleva lo mejor de ustedes». Lo segundo fue la pregunta directísima que Sandel le hizo a Melton: « ¿Cuán cerca estamos de esta situación?». La respuesta tampoco se anduvo con rodeos: «En el color de ojos, por ejemplo, hay como mínimo siete genes implicados. Esto lo hace complicado. Además, no despierta ningún interés, por lo que no lo veo cercano ni necesario. En el caso de las enfermedades es diferente. Sí que tiene sentido evitar genes que predispongan a ciertas patologías. Y no será complicado hacerlo».

Sandel continuó: « ¿Qué opinión te merece un escenario como el de la película? ¿Te sientes receloso, estimulado, cauto?». Douglas volvió a ser contundente: «Si nos centramos sólo en las enfermedades, me parece algo tremendamente excitante. Debemos trabajar en esa dirección».

Este último punto condujo a un apasionante debate, que tarde o temprano mantendrás con familiares o amigos. Las voces más favorables a la selección genética opinan que cuando sea posible corregir deficiencias en una etapa embrionaria, no sólo será permisible hacerlo, sino que los padres estarán obligados moralmente a proveer a sus futuros hijos con la mejor salud posible. Argumentan que no hay una diferencia sustancial entre las

medidas que ahora tomamos para mejorar la salud y la educación de los hijos después de haber nacido, y las que genéticamente podremos tomar en el futuro antes de su nacimiento. Para los que están en contra, estas tecnologías representan una amenaza a la igualdad, a la posible falta de libertad, a actitudes de dominio por parte de los padres, y enseguida se menciona una de las palabras más odiadas: eugenesia. La eugenesia, entendida como las medias encaminadas al perfeccionamiento de la especie humana, ha conllevado a lo largo de la historia normas estrictas de apareamiento, esterilizaciones e incluso exterminios. Esta eugenesia coactiva genera repudio. Pero aquí estamos frente a una eugenesia liberal de características totalmente diferentes; ¿hay motivos para oponerse a los esfuerzos voluntarios para mejorar la dotación genética de los futuros seres humanos?

Sí, los hay. Pero no te esfuerces; cuando sea posible, muchos padres que puedan pagarlo lo harán, por el simple motivo de querer ofrecer el mejor futuro posible a sus hijos.

Pero ¿superaremos la línea de la enfermedad hasta adentrarnos en una cosmética genética? Douglas Melton mostró la fotografía de un toro cuyo tejido muscular crecía de manera desmesurada debido a una mutación específica en la pareja de genes que regulan la miostatina (un factor de crecimiento). Luego una imagen con las piernas exageradamente desarrolladas de Mr. Universe Junior, un niño con esas mismas mutaciones y cuya madre es una *esprínter* profesional. Según Melton, algunos culturistas podrían poseer dichas mutaciones sin saberlo. Y si se quisiera, no sería imposible

reproducirlas de manera «artificial». Es sólo un ejemplo, pero pone de manifiesto que a medida que avancemos en la interpretación del contenido de nuestro genoma, encontraremos formas de mejorarlo. Las líneas entre terapia y mejora, entre salud y cosmética, son a veces difusas. Los científicos están convencidos de que su obligación es investigar para poder aplicar la manipulación genética a la prevención de enfermedades. Pero otros sin duda aprovecharán este conocimiento para ir más lejos y llevarnos a una nueva eugenesia, que podría conducirnos a una sociedad injusta, llena de desigualdades, y con un mermado sentido de la responsabilidad y la humildad, o a un mundo en el que nuestros descendientes serán más sanos, inteligentes, bellos, éticos y felices. O ambas cosas a la vez. El debate social será imprescindible.

§3. Corregir genes: el resurgimiento de la terapia génica

Tras publicar el artículo que a continuación os describiré, me sorprendió recibir comentarios recelosos con la trascendencia de la investigación original, insinuando que no había para tanto y que la terapia génica era casi una entelequia.

Es cierto que los científicos llevan más de cuarenta años pregonando las esperanzadoras posibilidades de la terapia génica sin haber ofrecido por el momento ni un único tratamiento a los hospitales. Pero ese estudio era diferente: indicaba que la posibilidad de reparar genes dañados en adultos estaba cada vez más cerca. ¿Por qué pensé que la investigación era tan especial?

Para ello debemos entender qué hace relevante a un artículo científico, y para quién.

En septiembre de 2009 la revista *Science* publicó el trabajo de unos investigadores estadounidenses en el que se describía una zona invariable del VIH, y la existencia de dos anticuerpos que actuaban específicamente sobre ella. Este descubrimiento es de gran relevancia para los científicos, ya que les ofrece una nueva vía para abordar la posible vacuna contra el sida. Por eso es importantísimo que se publique en una revista científica como *Science* y sea comunicado a toda la comunidad de investigadores. Para la opinión pública, ya es otra historia. Bien podría ser —como ocurre en la inmensa mayoría de los casos— que esta línea de investigación nunca llegara a dar frutos. Se encuentra en una etapa demasiado inicial Experimentos de ciencia básica, o con cultivos celulares, pueden ser muy notorios para los científicos, pero quedan lejísimos de la información relevante para el lector no especializado.

Los estudios con ratas de laboratorio están un poco más cerca, pero tampoco tanto. Nunca olvidaré el día en que mi entonces pareja me mostró dos fotografías de sus experimentos en angiogénesis. Llegó a casa toda entusiasmada, abrió el ordenador, y me enseñó la imagen de una rata blanca de cuyo vientre sobresalía un tumor negruzco de un centímetro y medio aproximadamente. Luego me mostró otra fotografía en la que se observaba el vientre de una rata normal y me dijo: «Es la misma rata, después del tratamiento que impedía desarrollar vasos sanguíneos alrededor del tumor. ¡Al final el tumor se secó!». Yo aluciné, y al observar un resultado tan claro enseguida

le pregunté si podía dar lugar a un fármaco contra el cáncer. Se encogió de hombros, y admitió que ésa era la intención final, pero que dicho objetivo estaba lejísimos. No sabían todavía si el tratamiento iba a ser efectivo siempre, sobre qué tipo de tumores, si podía tener efectos secundarios, si el cáncer reaparecería, si funcionaría en humanos... era un resultado tremendamente valioso que merecía ser publicado, pero como parte de un camino que podría quedar estancado en cualquier momento. De hecho, así fue.

Dicho camino continúa —tras numerosas pruebas previas— con los estudios clínicos en humanos. Y aquí es cuando ya nos acercamos sigilosamente a la consulta médica.

Por este motivo, sí resulta muy trascendente que tres jóvenes de veintidós, veinticuatro y veinticinco años aquejados de un tipo de ceguera congénita causada por la mutación del gen RPE65 recuperaran parcialmente la visión cuando en 2007 un grupo de científicos les inyectaron directamente en sus retinas la copia correcta de este gen responsable de codificar una proteína necesaria para el adecuado funcionamiento de las células fotorreceptoras. Y si, además, un año después de la intervención los responsables del ensayo clínico en humanos confirman²¹ en el prestigioso *New England Journal of Medicine* que la mejora radical en la visión de los pacientes se había mantenido en el tiempo, y que no había aparecido ningún problema o respuesta inmune en los ojos ni en otras zonas de sus cuerpos, sí podemos anunciarlo como un enorme y muy significativo adelanto científico. Es más, con independencia

²¹ A. V. Cideciyan *et al.*, «Vision 1 year after gene therapy for leber's congenital amaurosis», *New England Journal of Medicine* 361 (2009), pp. 725-727.

del caso concreto de la ceguera, podemos catalogarlo como uno de los avances más esperanzadores en el controvertido campo de la terapia génica. Investigaciones básicas, con cultivos celulares, ratas, e incluso con perros, ya han sido superadas. Se trata de un gran éxito que bien merece que reconstruyamos el largo y meticuloso proceso científico desde el conocimiento básico hasta la posible cura de una enfermedad por el momento intratable.

Del laboratorio al hospital

En 1993 investigadores del Instituto Nacional del Ojo de Estados Unidos descubrieron un gen encargado de metabolizar la vitamina A, imprescindible para que los fotorreceptores de la retina reaccionen a la llegada de luz. Sospechando que su incorrecto funcionamiento podría estar relacionado con problemas de visión, testaron pacientes y vieron que una mutación en dicho gen RPE65 estaba asociada a un tipo de ceguera infantil llamada amaurosis congénita de Leber (LCA), cuyos afectados sufrían diversos grados de déficit visual, incluso ceguera.

Tras confirmar la relación entre la mutación y la LCA, los científicos crearon unos ratones transgénicos cuyo RPE65 estaba inactivo, para así hacer experimentos y comprender todos los aspectos relacionados con dicho gen.

Con estos ratones *knockout* (una de las herramientas más utilizadas en los laboratorios para investigar los aspectos bioquímicos que rodean a las alteraciones genéticas) descubrieron que los bastones y los conos de la retina de los ratones estaban completamente

intactos, y simplemente no funcionaban porque no recibían vitamina A.

Eso abría la puerta a un posible tratamiento con terapia génica: si se lograba introducir la copia correcta del RPE65 en la retina de los pacientes y hacer que se expresara con normalidad, produciría vitamina A y quizá se restaurara la visión.

El paso siguiente fue averiguar cómo transportar el gen al interior de las células de la retina.

Los virus saben muy bien cómo hacerlo, y por eso han sido utilizados durante décadas como vectores para introducir genes de manera dirigida dentro de las células. Un grupo de investigadores utilizó copias inactivas de un adenovirus (causante de resfriados comunes) para recombinar su material genético junto al RPE65 y permitirle infectar células de manera inocua sin generar una respuesta inmunológica.

Nuevos estudios con ratones demostraron a finales de la década de 1990 que inyectando el virus vector en el fondo de sus retinas se lograba que el gen RPE65 se expresara sin efectos secundarios aparentes.

Pero antes de ser probado en humanos, hacían falta evidencias más sólidas.

Un tipo de perros fue el siguiente animal de laboratorio utilizado. Sus ojos eran similares en tamaño y estructura a los humanos, y daba la casualidad de que existía un modelo animal de perros con una ceguera parecida a la LCA, causada también por problemas en el RPE65.

En 2001 empezaron los experimentos de terapia génica con perros, y el resultado fue un éxito rotundo. Mejoraban su visión, no sufrían problema alguno, y el efecto se mantenía al cabo de los años. Este último aspecto era muy relevante, porque demostraba que los genes no sólo se expresaban en el interior de las células semanas después de su inyección, sino que se integraban correctamente en el genoma y se reproducían junto con el resto de material genético en cada división celular. Todo parecía listo para los ensayos clínicos con humanos.

Éstos llegaron a mediados de 2007 con los tres jóvenes aquejados de LCA. Los resultados publicados en 2008 confirmaron mejoras en la visión, que según otro artículo de 2009 se habían incluso incrementado. Una de las pacientes dijo que, por ejemplo, ahora podía leer un reloj luminoso en el coche de sus padres cuando antes era completamente incapaz. Los científicos especulan que ciertas áreas del cerebro podrían estar adaptándose a las nuevas señales visuales, contribuyendo así a la progresiva mejora de la visión.

Tales resultados son una gran esperanza para los afectados de una enfermedad sin tratamiento como la LCA, pero sobre todo significan un fuerte espaldarazo al campo de la terapia génica.

El concepto subyacente en la terapia génica es muy sencillo: reemplazar genes defectuosos por copias correctas, silenciar los que funcionen mal, o introducir nuevos genes para combatir alguna enfermedad. La idea no es nueva y desde hace varias décadas las investigaciones de laboratorio han producido resultados notorios, pero pocos tan avanzados como el caso de los jóvenes aquejados de

LCA El asunto es más relevante si cabe debido a que en 1999 la joven de dieciocho años Jesse Gelsinger falleció tres días después de ser sometida a un tratamiento de terapia génica, debido a una hiperactivación de su sistema inmunológico. Significó un duro golpe a la terapia génica, que desde entonces está envuelta en una comprensible aura de peligrosidad. Sin duda le queda todavía un largo camino por recorrer, pero hay indicios que confirman que la dirección es correcta, y la meta de manipular en vivo nuestro material genético no es ninguna entelequia.

§4. Reprogramar genes: células madre hasta en la crema

Recuerdo pasar un fin de semana de febrero en las montañas nevadas de New Hampshire al norte de Boston, estar descansando dentro de la casa de campo alquilada con unos amigos, ir pasando las páginas de una revista por inercia sin prestar demasiada atención, y encontrarme un anuncio que me dejó perplejo: una crema de rejuvenecimiento... ¡a base de células madre! Impresionante... En el texto se podía leer que dicha emulsión reactivaba las células madre indiferenciadas que tienes en tu piel, dejándola suave, sin arrugas, y con aspecto joven, muy joven. ¿Sería eso posible? Casualmente, entre el grupo estaba Katrin Arnold, una científica alemana que hacía su investigación posdoctoral en la Harvard Medical School en reprogramación celular y medicina regenerativa. Le mostré la revista, y la habitualmente tranquila Katrin se transformó. « ¡Cómo se atreven!», exclamó indignada, entre otras reprobaciones de tono más agresivo.

Parecía claro que era un engaño publicitario. Pero confieso que tuve la duda de si —por rebuscada que fuera— quedaba algún resquicio de veracidad en tal afirmación. ¿Se atrevería una empresa a anunciar algo rotundamente falso? Como sabía que semanas más tarde teníamos un seminario en el Whitehead Institute del MIT con uno de los principales expertos en reprogramación de células madre, recorté el anuncio y me lo llevé de vuelta a Boston. «Esto es imposible —dijo entre risas pero con contundencia Rudolf Jaenish cuando tras la sesión le mostré la publicidad de la crema—. En parte es culpa nuestra», reconoció ante mi sorpresa. Las células madre han sido a menudo presentadas por los propios científicos como el Santo Grial de la medicina, la gran esperanza de la medicina regenerativa, o incluso la fuente de la juventud. Cuando en 1998 lograron aislar y multiplicar células madre embrionarias en placas de cultivo, sus expectativas se desbordaron. Empezaron a pedir financiación anunciando grandes promesas; pero una vez concedidas, empezaron a reclamar calma. Será su inconsciente, pero si escuchas a un científico hablando en los medios antes o después de tener respaldo económico para su proyecto, notarás que su grado de optimismo es bastante diferente.

¿Hay motivos reales para depositar tantas expectativas en las células madre? No te quede la más mínima duda. En el camino los científicos se han encontrado con dificultades inesperadas, pero la investigación en células madre está siendo una de las más apasionantes en la biomedicina del siglo XXI. Sobre todo desde la

llegada en 2006 de un nuevo tipo de células madre que contribuyó a cerrar el cansino debate sobre adultas versus embrionarias.

Recapitulemos: a lo burdo, una célula madre sería aquélla que todavía no está del todo diferenciada y mantiene la capacidad de convertirse en un tipo u otro de célula en función de los estímulos químicos que reciba. En los tejidos de tu cuerpo que se regeneran rápido, como la piel, la parte interior del intestino, o la sangre, tienes reservas de células madre adultas que pueden, por ejemplo, convertirse en un tipo de célula sanguínea u otra. Estas células madre adultas —que también se pueden obtener de la sangre del cordón umbilical— ya han sido utilizadas con éxito en numerosas ocasiones, pero su potencialidad está muy limitada porque sólo pueden generar células del tejido del que forman parte. En cambio, cuando un óvulo fecundado empieza a dividirse, algunas de esas primeras células terminarán convirtiéndose en neuronas, otras en músculo, otras en hueso, en hígado, en páncreas. Si las extraes antes de que eso ocurra y las cultivas en un estado indiferenciado, tendrás «células madre embrionarias», que en teoría podrías llegar a convertir en cualquier tipo celular que te convenga. Si tus células pancreáticas están dañadas y no producen suficiente insulina, coges células madre embrionarias, haces que se transformen en pancreáticas, y te las inyectas para intentar curar tu diabetes. Y si has tenido una lesión de médula espinal que te mantiene en una silla de ruedas, podrías intentar convertirlas en neuronas motoras que te devuelvan la capacidad de caminar. Las posibilidades están ahí, a la vuelta de la esquina. Pero, evidentemente, no es tan

sencillo. Un primer requisito es aprender bien el lenguaje químico que le diga a una célula «Quiero que ahora seas una neurona dopaminérgica, o un leucocito». Luego está el gran reto de hacerlo de manera segura sin que aparezcan tumores o problemas de salud tras el tratamiento. Y, finalmente, está el inconveniente del rechazo inmunológico. Este último contratiempo podría evitarse si los embriones utilizados para conseguir células madre fueran clones tuyos con tu mismo material genético; pero esto añadiría una nueva dimensión de problemas técnicos y éticos. En el plano ético es donde se situaba el debate entre conservadores como George W. Bush, que se oponían a la investigación con embriones humanos, y aquéllos que consideraban todavía menos ético no utilizarlos para intentar curar enfermedades.

Resulta curioso observar cómo, en los debates a principios de la década, quienes se sentían forzados a encontrar argumentos de peso para defender su posición eran los científicos, que pretendían convencer a una sociedad recelosa de la necesidad de utilizar embriones humanos sobrantes de tratamientos reproductivos para investigar. Pero, poco a poco, la opinión pública se fue desplazando y pasaron a ser los detractores de las células madre embrionarias quienes se veían obligados a justificar su oposición ante tal esperanza.

Por suerte, el debate empezó a diluirse cuando la percepción social se hizo claramente favorable a la investigación con células madre embrionarias. Pero prácticamente desapareció del todo con la llegada de una nueva e inesperada posibilidad: conseguir

reprogramar células adultas del propio paciente a un estado pluripotencial equivalente al de las células madre embrionarias. De esta manera, tienes células de total potencialidad pero sin los problemas médicos del rechazo ni los éticos del uso de embriones.

Rudolph Jaenish era uno de los grandes expertos en este campo. Durante su intervención insistió en que las investigaciones en células madre adultas y embrionarias debían continuar porque generaban una información científica muy relevante y podían dar buenos resultados ante ciertas enfermedades concretas. Pero no pudo disimular que, para él, la apuesta más prometedora y donde se avecinaban futuros grandes éxitos era sin duda esa novedosa reprogramación celular: inducir a una célula de la piel a que se convirtiera en algo equivalente a una célula madre embrionaria.

No era para menos. Pocos meses atrás su equipo había conseguido reprogramar con éxito unas células de la piel llamadas fibroblastos, transformarlos en células sanguíneas, y curar con ellas ratones aquejados de anemia falciforme. Fue un hito. La única suspicacia que tenía era que uno de los factores necesarios para lograr esa reprogramación era el oncogen c-Myc, que provocaba la aparición de tumores al cabo del tiempo. «Veremos qué ocurre en dos años», dijo Jaenish antes de despedirse. Era marzo de 2008.

No habían pasado dos años cuando tuve la oportunidad de estar en los Institutos Nacionales de la Salud de Washington D. C. con el pionero y gran héroe de la reprogramación celular: el simpático, recatado y casi seguro futuro Premio Nobel Shin'ya Yamanaka. Éste explicó los pasos que le llevaron a ser en 2006 el primer científico en

conseguir reprogramar una célula adulta hasta convertirla en una célula madre pluripotencial inducida (iPS).

Qué poder tienen las imágenes. Jaenish nos lo había explicado, pero cuando Shin'ya Yamanaka mostró un vídeo de una célula humana de corazón latiendo y de golpe dijo « ¿Saben qué?, seis meses antes de ser grabada esta célula era un fibroblasto de la piel», volví a tener esa sensación de «¡qué barbaridad!». Era imposible quedarse indiferente ante tal transformación. Si diez años atrás se lo hubiera contado a mis profesores de la Facultad de Bioquímica en Tarragona posiblemente me habrían respondido: «Imposible». Y hace tan sólo cuatro años era algo inimaginable salvo para unos poquísimos investigadores como Yamanaka, que confesó haber puesto a trabajar a un becario suyo en un proyecto tan arriesgado «porque acababa de publicar en *Nature*, y si pasaba tres años sin obtener resultados no iba a ser tan grave».

Sin poder olvidar la imagen del fibroblasto transformado en célula cardíaca tras pasar por un estado de iPS, sólo podía vislumbrar la posibilidad de reparar el tejido cardíaco dañado del propio paciente sin problemas de rechazo inmunológico ni requerir incómodas células madre embrionarias. Pero ¿qué pasaba con los riesgos de crecimiento descontrolado y tumores que Jaenish había citado meses antes? Yamanaka no tardó en abordar esta cuestión. El oncogen c-Myc ya no era imprescindible para conseguir inducir pluripotencia en las células iPS. De hecho, a esas alturas ya se habían podido reprogramar sin el Oct3/4, el Sox2, o el Klf4, que eran los otros factores que en su momento parecían esenciales. Sin

embargo, el fantasma de los tumores todavía no había desaparecido. Yamanaka explicó que el procedimiento de terapia celular seguido en ratones era: 1) coger células de su piel; 2) reprogramarlas a ese estadio pluripotente similar a las células madre embrionarias; 3) hacer que se multiplicaran hasta tener una cantidad suficiente de células; 4) diferenciarlas en, por ejemplo, neuronas, y 5) transferirlas al cerebro de los ratones.

Y lo que al final observaba era que, si en las placas de cultivo les quedaban algunas células iPS sin diferenciar (y en mayor o menor grado esto siempre ocurría), cuando eran trasplantadas al cerebro terminaban generando un tipo de tumores llamados teratomas. Conclusión: las iPS tenían muchísimas más ventajas que las células madre embrionarias, pero todavía existía la gran duda de cuáles iban a ser más seguras. Yamanaka, como Jaenish, confiaba en que terminarían imponiéndose las iPS, pero insistía en la necesidad de investigar mucho más hasta averiguar cuál era el proceso y la receta de factores de inducción más segura, y obtener métodos fiables de evaluación antes de utilizarlas en terapias.

Detalles técnicos aparte, la llegada de las iPS ha supuesto otra consecuencia interesante: el casi olvido de la clonación ¿No es cierto que ahora se oye hablar muchísimo menos de ella? Ha perdido su sentido terapéutico. El rechazo inmunológico en las células madre embrionarias era la excusa perfecta para investigar en la clonación por transferencia nuclear: generar un embrión que sea tu clon, y extraer de él las células madre que te van a curar. Era un asunto controvertido por las grandes dificultades técnicas, la enorme

cantidad de óvulos humanos que se requerían en los experimentos, y la posibilidad de que algún científico intentara seguir con el desarrollo embrionario hasta el nacimiento de la primera persona clonada. En estos momentos quedan pocas excusas para perseguir esta técnica, ya que las iPS son una forma mucho más fácil de conseguir casi lo mismo sin esos inconvenientes.

¿Significa esto un adiós definitivo a la idea subyacente en la clonación? No del todo. En 2009 nacieron ratones cuyo origen fue una célula de la piel reprogramada a célula madre iPS. Verdaderamente espectacular. No hace falta que especifiquemos las posibilidades que esto ofrece.

A veces uno puede tener la sensación de que la ciencia avanza despacio, y siempre que se soluciona un viejo problema aparece uno nuevo. Pero si nos detenemos a pensar dónde estábamos hace diez años en el campo de las células madre, debemos reconocer que los progresos están siendo más que notables. Sin duda, algún día dispondremos de células madre propias para curar nuestros tejidos dañados, en lo que promete ser una nueva era de la medicina regenerativa.

§5. Más allá de los genes. Epigenética: las experiencias se pueden heredar

Hasta aquí, estábamos avisados. Los científicos nos anticipaban sus planes: vamos a secuenciar el genoma humano, con las células madre podremos regenerar órganos dañados, en el futuro conocerás tu predisposición genética a padecer determinadas enfermedades,

nacerán hijos a la carta. En biología molecular hay más acumulación progresiva de pequeños conocimientos que grandes revoluciones científicas y cambios de paradigma en el sentido más kuhniano del término.

¡Ja! Sí que existe una disciplina donde podemos disfrutar del « ¡Uau! » que acompaña al resquebrajamiento de las ideas preestablecidas: la epigenética.

El dogma que aprendí en mis clases de genética era el siguiente: si yo he nacido con genes de delgaducho, por mucho tiempo que me pase en el gimnasio la información genética que transmitiré a mis hijos continuará siendo esos genes originales de delgaducho. Levantar pesas durante dos horas al día afectará a la expresión de los genes en mis células musculares, pero de ninguna manera cambiará la secuencia de ADN que contienen mis espermatozoides. No hay la más mínima discusión al respecto. Insinuar que características adquiridas durante la vida podían ser heredadas por mi descendencia era un atentado contra los principios de la teoría evolutiva moderna, y recordaba esa pifia del bueno de Lamarck al intentar explicar por qué el cuello de las jirafas era cada vez más largo. Recapitulemos, porque quizá no desatinó del todo.

En el siglo XIX varios naturalistas querían entender sin recurrir a fuerzas sobrenaturales el proceso por el cual las especies iban evolucionando con el paso del tiempo. La visión de Jean-Baptiste Lamarck se representaba con el siguiente ejemplo: el cuello de las jirafas es cada vez más largo porque, a base de forzarlo para llegar a las hojas altas, va creciendo poco a poco y eso se hereda de padres a

hijos. Darwin, en cambio, propuso que en épocas de escasez de alimentos las jirafas con cuellos largos tenían acceso a más hojas, lograban alimentarse mejor, y eran las que lograban sobrevivir y dejar más descendencia. La selección natural iba eliminando progresivamente los cuellos cortos.

Durante bastante tiempo ambas teorías coexistieron. Aunque la explicación de Darwin fue ganando partidarios, no había razones para negar que el lamarckismo también pudiera jugar un papel importante en la evolución de la vida sobre la Tierra. Ambos mecanismos eran absolutamente compatibles.

Sin embargo, años después y casi sin proponérselo, un monje austriaco que pasaba sus días cultivando y cruzando meticulosamente diferentes variedades de guisantes empezó a quitar sentido a las ideas de Lamarck. Prácticamente sin salir de su huerto, Gregor Mendel descubrió que sus guisantes heredaban las características físicas mediante unidades de información individuales, que se mantenían invariables durante generaciones. Años después, la biología moderna constató que dichas unidades de información eran genes compuestos por una larga combinación de A, G, T y C (adenina, guanina, timina y citosina) que pasaba inalterada de padres a hijos. El lamarckismo quedó desterrado. Podían ocurrir mutaciones e intercambio de genes, pero no había ningún mecanismo que explicara cómo la jirafa transmitía el esfuerzo de alargar su cuello a su descendencia. Era imposible. Hasta el siglo XXI.

Primero debemos asimilar algo muy importante: la información genética no es sólo la secuencia de bases del ADN. Hay una gran cantidad de fenómenos que regulan la expresión de los genes, los activan, o los silencian. Esto forma parte del desarrollo y el funcionamiento normal de las células, pero también de cómo se adaptan a las circunstancias concretas a que su organismo las fuerza a vivir. Estos fenómenos epigenéticos son la manera como el entorno modula tus genes, y puede hacer que ante experiencias determinadas —una hambruna, enfermedades, un tipo de dieta u otra, períodos de mucho ejercicio, estrés— genes específicos estén más activos o menos.

Existen varios mecanismos epigenéticos. Uno es la modificación de historias, las proteínas que logran la hazaña de empaquetar un finísimo hilo de ADN de un metro en un espacio de 0,01 milímetros en el interior de cada una de tus células. Otro, quizá el más relevante, es la metilación del ADN. Los grupos metilo son unas pequeñas moléculas químicas que se enganchan en algunas bases nitrogenadas de tu ADN para dejar inactivos a ciertos genes. Es un proceso muy habitual, y existen patrones de metilación muy bien conservados que se transmiten de manera normal de padres a hijos. Pero también hay metilaciones que se producen sólo en función de las experiencias que sufras durante tu vida, para adaptarse a condiciones concretas en que te toque vivir. Y, lo más sorprendente, rompedor y neolamarckiano: los biólogos moleculares han comprobado que algunas de estas metilaciones pueden reflejarse en las células germinales y ser heredadas por la siguiente generación.

Las experiencias se reflejan en tus genes, y algunos caracteres adquiridos durante tu vida sí pueden ser transmitidos a tus hijos. Esto representa un cambio de paradigma enorme. Todavía falta establecer el grado en que esto ocurre, y cuán estables son esas modificaciones en el tiempo, pero en los últimos años las evidencias de esta herencia epigenética se han ido acumulando.

Uno de los primeros y más significativos estudios que salió a la luz fueron los experimentos con ratones agouti. Los ratones agouti son amarillentos, pero tienen una peculiaridad: pueden transformarse en marrones siguiendo una dieta rica en grupos metilo. La secuencia de su ADN no cambia en absoluto, pero la metilación de ciertos genes provoca un cambio de color que, como *no* era de esperar, es heredado por sus descendientes. Es decir, el ratón nace amarillo, se hace más marrón debido a la metilación, y sus hijos nacen marrones. Hace diez años, la inmensa mayoría de los biólogos hubieran apostado a que serían amarillos de nuevo.

No es un caso aislado. Otro estudio publicado en 2009 hacía que ratones crecieran en un entorno cargado de estímulos para ver si desarrollaban una mejor memoria a largo plazo. Lo lograban claramente. Pero lo más inverosímil fue que las crías de los ratones estimulados también poseían mejor memoria a largo plazo que las crías de los ratones controles. Los autores de la investigación propusieron mecanismos epigenéticos de metilación para explicar esta herencia, y sugirieron que si un fenómeno similar ocurriera en humanos, la efectividad de la memoria de uno durante su

adolescencia podría estar influenciada por las experiencias estimulantes vividas por su madre durante su juventud.

Ir tan lejos son todavía elucubraciones, pero el mito ya se ha roto. La herencia epigenética ha quedado hartamente demostrada y sólo falta entender mejor su alcance. Lo que hagamos durante nuestra vida puede dejar huella en la información genética que transmitimos a nuestros hijos y heredarán nuestros nietos. Como ocurrió durante la hambruna sufrida en Suecia en el siglo XIX, cuyos efectos se manifestaron durante varias generaciones.

«Si lo piensas bien, tiene mucho sentido evolutivo —me explicó el experto en epigenética español Manel Esteller cuando nos encontramos en un congreso sobre esta disciplina en los Institutos Nacionales de la Salud en Washington D. C. —. Los genes son la información básica, la materia prima, pero es necesario que se modulen de alguna manera. Y parecería lógico que estas adaptaciones se transmitieran a la siguiente generación, ¿no? Imagínate una mujer asiática que llegue a Estados Unidos y tenga una dieta totalmente diferente. La secuencia de sus genes no cambia, pero la expresión de ellos lo hace sin duda. No sería extraño que transmitiera algo a sus hijos para que nacieran mejor preparados ante el entorno en que les tocará vivir». Suena como una herejía para el darwinismo, pero no lo es en absoluto. Este cierto neolamarckianismo es compatible con la selección natural. Simplemente, «aceleraría un poco el lento mecanismo evolutivo basado en los cambios en la secuencia del ADN y posterior selección», afirma Esteller.

Es un cambio conceptual tan provocador que disculpa la injusticia de hablar de este ínfimo aspecto de la epigenética en lugar de a lo que se dedican el 99 por ciento de los investigadores en este campo: las implicaciones de los procesos epigenéticos en medicina. Desde que en 1995 se descubriera el primer caso de cáncer causado por la inactivación por metilación de un gen supresor de tumores, se han ido acumulando asociaciones de alteraciones epigenéticas con gran cantidad de enfermedades. «Incluso ya hay cuatro fármacos aprobados para la leucemia y el linfoma», explicaba Manel Esteller, todavía entusiasmado tras haber asistido días antes a la presentación en Madrid de un medicamento para un tipo específico de leucemia sin tratamiento hasta entonces. La epigenética está en plena explosión. Manel explica que los alcohólicos están hipometilados por la falta de vitamina B12, y ese déficit podría estar implicado en el cáncer de hígado y la cirrosis hepática. Que se podría aprobar un marcador epigenético para el cáncer de próstata que daría menos falsos positivos que la prueba del PSA. También cuenta que están monitoreando gemelos que desarrollan diferentes enfermedades para distinguir la influencia de la epigenética. Y que han empezado a seguir los pasos del genoma humano para hacer un mapa del epigenoma humano completo y poder comparar células sanas con enfermas. Incluso tapan ojos de ratas durante semanas para averiguar si la expresión de sus genes se modifica debido a metilaciones y pueden explicar que en ocasiones un ojo domine sobre otro. O si ser zurdo o diestro depende de marcas epigenéticas en los primeros instantes de tu desarrollo.

Es impactante. Abandono a Manel y el congreso de epigenética convencido de la importancia que todo esto tendrá para la medicina. Pero yo todavía sigo dándole vueltas a que la secuencia del ADN sea sólo una parte de la información que contienen mis genes, y que sea mucho menos estable y determinista de lo que me imaginaba. La dieta que siga, el ambiente que me rodee, o las vivencias que experimente van a modular mi material genético activando y desactivando genes mediante modificación de histonas, ARNs de interferencia, o metilación. Y lo más inquietante: mis hijos podrían heredar algunas de esas adaptaciones.

§6. Tus otros genes: el Proyecto Genoma Humano no estaba completo, faltaban tus microorganismos

Hace un tiempo, si un microbiólogo quería averiguar cuántas bacterias tenías en la boca, restregaba unos palitos por la parte interior de tu mejilla, otro por encima de las encías, otro por el paladar, por debajo de la lengua, y embadurnaba con ellos diferentes placas de cultivo. Allí las comunidades de microorganismos podían crecer y ser estudiados. Pero había un problema: crecía sólo una pequeña parte de la diversidad de fauna microbiana que existía. La gran mayoría de las bacterias quedaban ocultas. Y por si fuera poco, las que sí aparecían sólo podían ser estudiadas de manera aislada y fuera de su entorno natural.

Ese microbiólogo clásico ya se imaginaba que en sus placas no aparecían absolutamente todos los bichitos que habitaban en tu boca, pero imagínate el chasco cuando un día aparece un biólogo

molecular, se pone a hacer ciertos experimentos, y le dice: «Oye... que sólo estás viendo un 5 por ciento de lo que aquí existe.». ¿Chasco? ¡O vaya reto! Sobre todo si unos años después y ya en el siglo XXI ese biólogo molecular regresa y te dice: « ¡Hey! Tengo un método llamado metagenómica para re explorar en profundidad todo lo que contiene el ecosistema microbiano que estás estudiando».

Ahora, desde que científicos como Julie Segre de los Institutos Nacionales de la Salud (NIH) pueden aprovechar el espectacular progreso en las técnicas de secuenciación genómica, la bioinformática y la biología de sistemas, ya no utilizan placas de cultivo. Hacen algo muy diferente: cogen la muestra y se ponen a secuenciar a destajo todo lo que en ella habite. No se les escapa nada. Luego, analizando fragmentos concretos del ADN, son capaces de ordenar las secuencias, averiguar cuántos tipos diferentes de microorganismos hay, en qué cantidad, y cómo se relacionan entre ellos. De alguna manera están construyendo un mapa genético global de toda la comunidad de individuos que viven en un rincón determinado de tu cuerpo. Por eso al Proyecto del Microbioma Humano le llaman el segundo genoma humano.

Con estas técnicas de metagenómica, y cogiendo muestras de veinte sitios diferentes de la piel de un grupo bien caracterizado de voluntarios, Julie Segre ha descubierto que en nuestra piel tenemos cien veces más tipos de microorganismos de los que conocíamos (no el doble, o el triple, o diez veces más. ¡Cien!²²). «Los que tú tienes en

²² E. A. Grice H. H. Kong S. Conlan, C. B. Deming J. Davis, A. C. Young «NISC Comparative Sequencing Program». G. G. Bouffard, R. W. Blakesley, P. R. Murray, E. D. Green, M. L. Turner,

la axila se parecen más a los de mi axila que a los de tu propio pecho», me explicó Julie en el mismo instituto de los NIH donde se había dirigido diez años atrás el Proyecto Genoma Humano.

Pero no sólo eso. También observaron que si frotan un algodón por la parte más externa de tu piel y después lo analizan, encontrarán 10.000 bacterias por centímetro cuadrado. Si escarban un poquito y se quedan con las capas celulares más superficiales de tu epidermis, podrán contar hasta 50.000 bacterias en cada centímetro cuadrado. Y si de la misma área te hacen una pequeña biopsia alcanzando los folículos capilares y las glándulas sebáceas, aparecerán, ¡un millón! Es decir, tu cuerpo está cubierto de bacterias, pero no intentes desprenderte de ellas lavándote a fondo, la inmensa mayoría viven bien adentro de tu piel.

¡Que eso no te dé repelús!, están ahí para servirte. Degradan aceite para humedecerte, controlan el pH de tus zonas íntimas, evitan que otras comunidades patógenas te colonicen, déjalas vivir en paz, y ni se te ocurra considerarlas más prescindibles que tus propias células humanas. Julie Segre, al igual que muchos otros científicos que trabajan en el Proyecto del Microbioma Humano, considera que «las bacterias que habitan en nuestro cuerpo son parte de tu organismo». Estás formado por tus propias células eucariotas, junto a un número diez veces superior de células bacterianas. No, no he sufrido un lapsus: ahora mismo encima y dentro de ti hay diez veces más bacterias que células «tuyas». Y reza por que continúe siendo así, ya que sin ellas te resultaría complicadísimo sobrevivir.

J. A. Segre, «Topographical and temporal diversity of the human skin microbiome», *Science* 324, 5.931 (2009), pp. 1.190-1.192.

«Conocer al detalle esta diversidad es fundamental —continuaba Julie—. Cuando aplicamos un antibiótico para tratar una infección podemos estar eliminando bacterias que nos son necesarias y que antes ni sabíamos que existían. Y no es eso lo que queremos. El objetivo es tener una comunidad microbiana sana, y averiguar cuál es su papel en la salud y la enfermedad».

Ya sé que no parece un objetivo muy novedoso. No lo es, de la misma manera que hace cuatro siglos Galileo también tenía como objetivo comprender cómo funcionaba el universo. Los grandes descubrimientos vienen dispuestos por las herramientas con que cuentan los científicos. Y la metagenómica será para la microbiología lo que el gran colisionador de hadrones (LHC) para la física de partículas, o los escáneres cerebrales para el conocimiento del cerebro. Es una herramienta muchísimo más poderosa para re explorar el mundo microbiano. Ya lo está haciendo Craig Venter en su búsqueda de genes por los océanos, ecólogos analizando ambientes extremos, y el consorcio del Proyecto del Microbioma Humano en el cuerpo humano. Y, normalmente, cuando la tecnología suministra nuevas lentes a la ciencia, suelen aparecer resultados inesperados.

Julie reconoce que todavía están en una fase inicial de exploración. El artículo que publicó en *Science* era «sólo» una descripción de la diversidad de bacterias que había en las diferentes zonas del cuerpo humano, y cómo variaban entre individuos. Pero ya están empezando a buscar relaciones con enfermedades y trastornos. Colegas suyos que estudian los microorganismos del sistema

digestivo ya han conseguido los primeros resultados, pero asegura que las grandes sorpresas están todavía por llegar. Más a título de curiosidad, me resultó interesante una investigación sobre si los brebajes de la medicina oriental pueden ser más eficientes allí que en Occidente debido a diferentes floras intestinales.

A los científicos les cuesta horrores soltar prenda antes de tener sus resultados publicados, pero al preguntarle a Julie si tienen indicios de que aparecerá algo sonado, contesta un contundente: « ¡Desde luego! Estamos empezando a ver resistencia a fármacos, o relaciones con desórdenes que en principio no tienen nada que ver. Todo indica que los resultados serán muy claros, y el traslado a la práctica clínica será rapidísimo».

Abstrayéndonos todavía un poco más del tema, esta metagenómica que analiza los genomas de toda una comunidad de individuos representa a la vez una nueva era en la microbiología. Para los que os guste divagar, puede implicar incluso un cambio en el concepto de ser independiente. Los científicos están encontrando tanto popurrí bacteriano, tanta transferencia horizontal de genes, tanta flexibilidad, tantas combinaciones posibles, que la idea de organismo individual se está diluyendo, y trasciende a un conglomerado de genes que actúan en conjunto, estén dentro de unas pelotitas lipídicas u otras. Es decir, Julie Segre confiesa que en el fondo no persigue identificar microorganismos, sino genes bacterianos. La metagenómica es en realidad una «caza de genes» con diferentes funciones, y da igual si se agrupan de una manera o de otra. El universo microbiano es mucho más maleable de lo que

pensábamos, hasta el punto de que ideas como el árbol de la vida de Darwin llegan a perder sentido.

Lo sentimos, Darwin, tu árbol de la vida aún no existe

También en los NIH, pero desde el edificio de la Biblioteca Nacional de Medicina, Eugene Koolin fue así de taxativo: «La historia de la vida no puede ser representada como un árbol. En los últimos años esta idea ha perdido todo su sentido. Puedes realizar árboles de primates, o de vertebrados, pero ahora que podemos comparar secuencias genéticas, lo que construimos a nivel unicelular no son ni siquiera arbustos, sino redes. Las especies microbianas son una serie de genes con diferentes historias y trayectorias evolutivas». A lo que se refería Eugene era a la imposibilidad de establecer una jerarquía, un orden evolutivo lógico, entre los organismos procariotas.

Darwin y los naturalistas del siglo XIX empezaron a construir el árbol de la vida en función de las características externas de los diferentes grupos de animales. Un conejo estaba más emparentado con una liebre que con un caballo, y los tres más que a una sardina. Fácil Pero ¿qué hacíamos con los microorganismos? Bacterias, hongos, o amebas nos parecen insignificantes, pero al fin y al cabo constituyen la inmensa mayoría de las especies vivas sobre la Tierra. La idea de construir un árbol de la vida fidedigno se esfumó, hasta que en la década de 1970 apareció en escena la genética, y la posibilidad de emparentar especies comparando secuencias específicas de genes muy conservados. De esta manera,

Carl Woese diferenciò a las arqueas de las bacterias, y reaparecía el sueño de construir diagramas de relaciones evolutivas completas. Pero la ilusión se truncó de nuevo en la década de 1990, cuando los genetistas microbianos constataron que la transmisión de genes durante la reproducción era algo minoritario comparado con la enorme transferencia horizontal de genes que intercambiaban las bacterias como si nada. Incluso en células eucariotas observaban que la historia de la vida tenía poco de lineal. En estos momentos el sueño de dibujar un árbol de la vida completo ya ha quedado desterrado para siempre, al comprobar que no existe una relación jerárquica entre microorganismos.

Dejando de lado estas divagaciones, todo indica que en el siglo XXI la metagenómica nos puede llevar a la comprensión de una parte de la vida que —a diferencia de otros organismos como animales y plantas— no han podido ser estudiados. La primera vez que vi en Harvard al carismático naturalista Edward Wilson empezó su charla con una idea poderosa: «De la misma manera que los físicos están intentando conciliar la teoría cuántica con la relatividad, en biología debemos empezar a pensar en una unificación de la biología molecular con la ecología». Y la concluyó diciendo: «Si ahora pudiera empezar de nuevo a investigar, me haría microbiólogo».

§7. Diseñar genes: vida sintética en el laboratorio

«¿Qué hace un estudiante de ingeniería eléctrica en el MIT? Aprende unas leyes básicas, diseña unos circuitos, construye un ordenador con la forma y características que quiere (más grande, más

pequeño, más ligero, más resistente.), y programa un *software* para que ejecute lo que ellos desean. En el Departamento de Ingeniería Biológica pretendemos conseguir algo parecido, pero con seres vivos».

Así se expresaba Drew Endy, uno de los principales líderes en el campo emergente de la biología sintética, cuando lo visité en su laboratorio del MIT. Recuerdo a la perfección ese día, porque las memorias asociadas a eventos emocionalmente intensos forman conexiones neuronales mucho más fuertes. Salí del edificio 64 en la calle Ames absolutamente excitado por la sensación de haber vislumbrado el futuro, y con esa sensación extraña de que mi mente se abstraía hasta límites que la hacían disociarse de la realidad cotidiana. Estaba en pleno síndrome *stomp*, bajo los efectos alucinógenos de la conversación con Endy y las bacterias programadas para expresar proteína fluorescente roja que me mostró el investigador Felix Moser. Unas bacterias rosáceas que no eran especiales por transgénicas, sino por haber sido manipuladas con herramientas de programación de ADN y un registro de partes estándares que iban un paso por delante de la ingeniería genética «tradicional».

La idea, a lo burdo, es la siguiente: la ingeniería genética tal y como la entendemos coge genes de diversas especies, los mezcla, los altera, los duplica, los silencia, es decir, juega con secuencias genéticas y estructuras que ya existen en el mundo vivo. La biología sintética representa un nuevo escalafón: pretende diseñar estructuras biológicas *ex novo*. En el fondo, se trata de no estar

restringidos por la naturaleza, sino de diseñar constituyentes celulares con funciones absolutamente novedades que ejecuten instrucciones genéticas programadas por nosotros, y que terminen comportándose como hayamos predicho.



Suena a ciencia ficción, pero no lo es. La biología sintética está llamada a ser una tecnología con la que rediseñar el mundo vivo creando organismos que nunca hubieran existido sin la intervención humana. Por ejemplo, podremos construir microorganismos que resistan ciertas condiciones en un fermentador y que realicen los procesos metabólicos que nos convengan, o que sean diminutos como para poder penetrar en el interior de una célula y una vez allí sintetizar un fármaco específico. Las aplicaciones industriales, médicas, o medioambientales son tremendamente amplias. Todavía no es el momento de pensar en aplicaciones, pero nadie duda de

que llegarán, ni del potencial revolucionario de este campo que ahora es ciencia y pronto será tecnología.

A mitad de nuestra conversación Drew Endy sacó cuatro frascos de un cajón y me preguntó: «¿Sabes qué es esto?». Leí las etiquetas «Guanina, citosina, timina y adenina», y respondí: «Las bases del ADN». Drew continuó: «Son materiales extraídos de la caña de azúcar. Cada frasco vale sólo 250 dólares, y con ellos hay cantidad suficiente para sintetizar treinta veces el material genético de todos los seres humanos de la Tierra. Las posibilidades que esto ofrece son amplísimas». Ciertamente que el precio del material bruto es lo de menos, pero el convencimiento absoluto de Endy me dejó perplejo: «No te puedo decir cuáles serán las primeras grandes aplicaciones ni cuándo llegarán, pero no tendremos que esperar cincuenta años, ni treinta, ni veinte. Estamos avanzando a un ritmo exponencial», aseguró, añadiendo el siguiente símil para reforzar el concepto revolucionario que envuelve a la biología sintética: «Hace miles de años nuestros antepasados empezaron a comprender las propiedades de las rocas, en qué se diferencian unas de otras, cómo reaccionan a diferentes condiciones, esto era ciencia y sería análogo a la biología. Luego utilizaron las rocas y los materiales que tenían en su entorno para construir edificios, esto es tecnología y equivaldría a la ingeniería genética actual. Y posteriormente empezaron a diseñar materiales sintéticos con propiedades mejores de las que podíamos encontrar en la naturaleza, esto es lo que hará la biología sintética construyendo desde cero de manera estandarizada».

¿Es lo que hará? No todos los expertos en biología sintética comparten la aproximación tan ambiciosa de Endy. La duda, en el fondo, es si los mecanismos intrínsecos de la vida son tan sencillos para que podamos comprenderlos y dominarlos a nuestro antojo, y si el concepto de ingeniería que funciona en la construcción de coches u ordenadores funcionará en la síntesis de organismos vivos. Una investigación realizada en Barcelona sugirió que la vida es más complicada de lo que nos pensamos, y diseñarla cual ingenieros no va a ser tan fácil.

El *Mycoplasma pneumoniae* es una de las bacterias de vida libre más simples que existen: una pelotita de 2 micras rellena de una maraña de proteínas y escasos 689 genes flotando por su interior, envueltos por una membrana lipídica que no llega ni a pared celular, sin siquiera orgánulos celulares, y contando sólo con un citoesqueleto muy básico que da forma a una bola central donde se esparce el ADN. Lo único sofisticado que tiene es un apéndice con el que se desplaza por las células de tus pulmones, se engancha a ellas, y les roba aminoácidos, lípidos, y glucosa hasta matarlas. Total, tampoco es que aproveche muy bien dicha glucosa, pues por no tener no tiene ni un ciclo de Krebs completo; su metabolismo no pasa del ácido láctico y consigue entre unos míseros 2 y 4 ATP por molécula de azúcar. El *M pneumoniae* es un organismo tremendamente básico: unos pocos genes y complejos proteicos con lo mínimo para poder replicarse y dividirse. Pero es mejor no menospreciarlo, porque de simple no tiene un flagelo.

«Nosotros queríamos tener por primera vez un modelo matemático que permitiera explicar un ser vivo; tener la bacteria replicándose y dividiéndose en el ordenador. Ésa era la idea original, y seguimos con ella, pero pensábamos que iba a ser más fácil —explicaba el investigador Luis Serrano cuando le visité en su despacho del Parc de Recerca Biomedica de Barcelona (PRBB) —. Una bacteria normal tiene unas 400 proteínas que regulan la expresión de otras proteínas, y el micoplasma tiene como mucho 10. Otras bacterias tienen 50 sistemas que les permiten comunicarse con el mundo exterior mediante traducción de señales, mientras que el micoplasma sólo tiene una quinasa y una fosfatasa. Pero a pesar de que parece muy simple, tiene respuestas muy complejas a las perturbaciones exteriores», prosiguió Luis.

¿Y qué?, podéis pensar. Mucho. Los científicos eligen un organismo sencillísimo como el *M pneumoniae* para intentar comprender de manera global el funcionamiento más básico de una célula, y se dan cuenta de que la vida es todavía mucho más sofisticada de lo que pensaban. En concreto, los investigadores detectaron un inesperadamente alto grado de complejidad a tres niveles: el transcriptoma son las señales completas que regulan la expresión de los genes en la bacteria; quién decide qué genes se activan y cuándo. Lo que el grupo de Luis Serrano descubrió es que cuando cambian las condiciones del medio, genes específicos del *M Pneumoniae* cambian su expresión de manera muy sofisticada para adaptarse a la nueva situación. Y eso no lo pueden explicar con los poquísimos factores de transcripción *conocidos* con que cuenta la

bacteria. El metaboloma son todas las reacciones químicas del interior celular destinadas a generar energía. De nuevo se observó una versatilidad inesperada, similar al metabolismo de los organismos más sofisticados. Y en el estudio del proteoma se encontraron interacciones entre proteínas que en principio no deberían tener nada que ver entre sí, sugiriendo que las comunicaciones internas dentro de la célula son mucho más elaboradas de lo previsto.

En definitiva: «Al haber utilizado en el pasado organismos más complejos para estudiar los mecanismos de regulación celular, quizá no nos dimos cuenta de que a un nivel inferior puede haber mecanismos mucho más básicos que todavía desconocemos», dijo Luis, sugiriendo que entender cómo funciona una célula *en detalle* iba a ser mucho más difícil de lo que se imaginaban.

Y esto, para una disciplina cuyo reto es diseñar organismos vivos en el laboratorio, sin duda tiene implicaciones. No es necesariamente una limitación, sino un cambio de estrategia en una disciplina que está empezando. La aproximación de Drew Endy liberándose del caos de los seres vivos, construyendo el equivalente molecular a herramientas como tuercas, tornillos o chips con los que sea fácil hacer ingeniería biológica porque los has analizado, comprendes perfectamente su funcionamiento, y sabes cómo se van a comportar cuando los pones juntos, puede no ser la más eficiente, al menos a corto plazo. Luis Serrano prefiere no menospreciar 4.000 millones de años de evolución y aprovechar la robustez que han acumulado ciertos organismos. Su enfoque para la biología sintética es más

bien partir de una célula con las condiciones que nos puedan interesar, modificarla hasta conseguir ciertas características, e ir avanzando de momento a base de prueba y error como se ha hecho en los inicios de la mayoría de las tecnologías. Quizá algún día conozcamos tan bien el funcionamiento de una célula para diseñar sobre el papel su funcionamiento, y entonces tendrá más sentido una aproximación desde la ingeniería convencional como la de Endy, pero la complejidad manifiesta del *Mycoplasma pneumoniae* nos indica que esto no va a ser tan sencillo.

Pero ¿podrán algún día los ingenieros biológicos diseñar y construir un organismo vivo de manera parecida a como los ingenieros mecánicos diseñan y construyen un coche?

La pregunta es intelectualmente sobrecogedora. Aunque en realidad en el aspecto práctico no es tan relevante. De lo que no hay duda alguna es de que pronto seremos capaces de modificar seres vivos ya existentes a una escala muy superior a la ingeniería genética convencional. Diseñaremos nuevo ADN sintético, nuevas rutas metabólicas, nuevas estructuras, y funciones completamente insólitas en microorganismos inexistentes hasta el momento, creados para ser utilizados en la medicina, la energía, el medioambiente, el diseño, la industria, la alimentación o el bioterrorismo.

Un paso adelante que la comunidad científica acogió con recelo fue el anuncio en mayo de 2009 de Craig Venter asegurando que había creado una célula sintética: la primera forma de vida artificial. El hito de Venter —porque sin duda lo es— fue secuenciar primero el

genoma de una bacteria muy simple, sintetizar después en el laboratorio una copia haciendo pequeños cambios, introducir el ADN sintético en otra bacteria de características ligeramente diferentes, y lograr que el nuevo ADN se adueñara de su maquinaria celular y empezara a dividirse, convirtiéndose en el primer ser vivo cuyo material genético completo había sido creado de manera artificial.

Drew Endy, Luis Serrano, y la mayoría de los compañeros de Venter en el campo de la biología sintética discrepan en denominarlo vida artificial, pues no es suficiente con sintetizar un cromosoma entero e introducirlo en una célula que mantiene todo su engranaje. Será vida artificial cuando alguien consiga diseñar *ex novo* más elementos, y a poder ser cualitativamente diferentes de lo que ya existe en la naturaleza. De momento, la bacteria con ADN de Venter quedará registrada en los libros de historia como una muestra de poder tecnológico, y paso intermedio valiosísimo hacia la vida artificial que, sin duda, algún día llegará. Todo tipo de preguntas son válidas en estos momentos.

Capítulo VI

Ciencia, política y periodismo del cambio climático

Contenido:

§ 1. El difícil reto de entender y predecir científicamente el clima

§ 2. «Escépticos, depende; negacionistas, no»

§ 3. Ataque frustrado de los negacionistas a Obama

§ 4. El cambio climático no hay quien lo pare

§ 5. El Gran Hermano del cambio climático

§ 6. Acuerdo de Copenhague: ¿algo mejor que nada? ¡¡¡NO!!!

Poco me imaginaba un martes de noviembre de 2007, mientras me dirigía a la Kennedy School of Government de Harvard, que quien nos iba a impartir dos horas de seminario sobre ciencia, economía y política del cambio climático se convertiría poco más de un año después en el asesor científico directo de un inesperado presidente Barack Obama.

El encuentro con John Holdren fue extraordinario. Yo acudía a un Estados Unidos todavía comandado por George W. Bush esperando encontrar cierta resistencia a la necesidad de atajar políticamente un fenómeno tan complejo y polarizado como el cambio climático. Sin embargo, Holdren fue contundente al resumir la posición científica consensuada por la mayoría de los expertos en esta disciplina: «Tenemos incertidumbres, claro está. Pero de lo que no dudamos es de que el cambio climático es real, ya está causando daños significativos, se está acentuando, y su principal causa son los gases de efecto invernadero que nuestra manera de obtener

energía emite a la atmósfera. Los países industrializados debemos empezar a reducir el uso de combustibles fósiles y las emisiones de dióxido de carbono. En las próximas décadas lidiaremos con tres opciones en la balanza de la lucha frente al cambio climático: mitigación (las medidas que adoptemos para frenar el calentamiento global), adaptación (prepararnos ante los efectos adversos del cambio climático), y sufrimiento (consecuencias negativas que no estaremos a tiempo de paliar). Sin duda, tendremos una combinación de estos tres factores. En nuestras manos está decidir cuál tendrá más peso. Cuanta más mitigación, menos adaptación necesitaremos para evitar el sufrimiento».

Tanta rotundidad me asustaba. Yo sabía que la verdad en ciencia no es democrática, y que ni el consenso ni la mayoría son quienes deciden dónde reside la razón. Si quería profundizar en el problema del cambio climático debía alejarme de certezas absolutas e ideas preconcebidas, y empezar a estudiar las diferentes fuentes con una mente bien abierta. Aunque mi intuición suscribía las palabras de Holdren, no era el momento todavía de hacérmelas mías sólo por un principio de autoridad.

Por eso atendí con exquisito detalle los argumentos científicos con que pretendió avalar sus convicciones, antes de analizar las diferentes fases por las que estaba transitando el movimiento escéptico. Hagamos lo propio, y empecemos revisando cuál es la base científica consensuada por la mayoría de los investigadores que intentan vislumbrar la evolución del clima en nuestro planeta.

§1. El difícil reto de entender y predecir científicamente el clima

La historia de la Tierra ha presenciado cambios climáticos mucho más extremos del que podemos estar sufriendo ahora. Hace 700 millones de años el planeta estaba cubierto de hielo y nieve casi por completo. Unos 50 millones de años atrás, sin embargo, un calentamiento extremo aumentó drásticamente la temperatura del mar, derritió los polos, y provocó la extinción de un elevadísimo número de especies animales. En los últimos 3 millones de años los cambios en el clima no han sido tan abruptos, pero hemos continuado alternando temperaturas suaves como la actual con períodos de rápido calentamiento y épocas glaciales durante las cuales los continentes del hemisferio norte estaban cubiertos de enormes capas de hielo. La explicación más aceptada a estas últimas glaciaciones son ligeras oscilaciones periódicas en la orientación del eje de la Tierra que afectan a la distribución de energía que nos llega del Sol: la tierra firme, el hielo de las regiones polares y el agua no absorben ni reflejan de la misma manera la radiación solar. Y como la distribución de estos tres elementos es considerablemente diferente en ambos hemisferios, la modificación del eje de rotación terrestre hace que cambie la cantidad de energía solar que se queda en la Tierra y se encadenen una serie de sucesos que desembocan en una época glacial. De hecho, si sólo tuviéramos en cuenta esta geología básica, deberíamos haber llegado a escenarios muchísimo más extremos. A medida que la nieve y el hielo se fueron acumulando reflejaban cada vez mayor cantidad de

luz solar de vuelta al espacio en un proceso de retroalimentación positiva (una perturbación genera efectos que incrementan la perturbación en el mismo sentido), debiendo haber continuado enfriando poco a poco el planeta hasta convertirlo en una gran bola de nieve, cuyo estado templado sólo podría haberse recuperado por grandes explosiones volcánicas u otros incidentes externos. De la misma manera, en períodos en los que el cambio del eje de rotación favoreció el aumento rápido de temperaturas, los procesos de retroalimentación positiva provocaron la acumulación de vapor de agua —el gas de efecto invernadero más poderoso que existe—, generando una espiral de calentamiento que debería haber convertido el planeta en un lugar increíblemente cálido, evaporándose incluso gran parte de los océanos.

Si estas situaciones no se han producido en la historia de la Tierra es gracias a la existencia de vida. Como popularizó en la década de 1960 la hipótesis de Gaia de James Lovelock, la vida ha atenuado estos cambios por medio de unos sistemas de retroalimentación negativa que han mantenido el planeta en unas condiciones favorables para sus habitantes, y la atmósfera en un extrañísimo equilibrio de nitrógeno, oxígeno y trazas de otros gases, como vapor de agua, metano, o dióxido de carbono. Este dióxido de carbono es justamente uno de los sistemas de retroalimentación que moldea el clima terrestre y, gracias a una reconstrucción mucho más afinada de cómo ha ido cambiando el clima en tiempos recientes, los paleo climatólogos han podido constatar su estrecha relación con las temperaturas del planeta.

Para ello, se han servido de unas pistas preciosas: burbujas de aire que quedaron atrapadas en los hielos de Groenlandia y la Antártida a medida que éstos se iban formando. Mediante la perforación de esas densas capas de hielo, los paleo climatólogos están rescatando dichas burbujas prehistóricas y midiendo su composición química, detectando la presencia de metano, dióxido de carbono, y llegando incluso a poder evaluar la temperatura de la atmósfera gracias a la relación que ésta guarda con la proporción entre dos isótopos del oxígeno. Entre las conclusiones que han sacado, hay una fuera de cualquier duda: el vínculo entre CO₂ y temperatura es estrechísimo. Cuando los científicos sobreponen gráficos de aumentos y descensos de la temperatura en los últimos 800.000 años con los de incremento y disminución de CO₂, la relación es inequívoca. Ambos factores están íntimamente relacionados, detectándose subidas de temperatura cuando aumenta la concentración del gas, y viceversa. Otro dato les ha sorprendido y dejado preocupados: nunca en los últimos 800.000 años la concentración de CO₂ en la atmósfera había superado las 300 ppm (partes por millón). Pero en las últimas cinco décadas, y a consecuencia de nuestra quema de combustibles fósiles, la cantidad de dióxido de carbono ha aumentado de manera vertiginosa hasta alcanzar las 380 ppm en 2008, y superar las 390 ppm en 2010. Nada indica que vaya a detenerse aquí, y si su relación con la temperatura global del planeta se mantiene intacta, nos puede llevar a un calentamiento global de una rapidez sin precedentes.

¿Cómo? Hablemos del efecto invernadero y del papel que el CO_2 juega en el mismo. El Sol nos envía constantemente energía por medio de radiaciones electromagnéticas. La atmósfera intercepta y refleja de vuelta al espacio una pequeña parte de ellas (por ejemplo, gran parte de la radiación ultravioleta gracias al ozono de la estratosfera), pero es transparente a la mayoría de las longitudes de onda que le llegan. Cuando la radiación solar incide sobre la superficie de la Tierra, es absorbida y la calienta. Ese calor es posteriormente re-irradiado desde la Tierra hacia el espacio, con longitudes de onda menos energéticas de las que llegaron. El problema —o ventaja— es que la atmósfera ya no es transparente a estas ondas menos energéticas, y en lugar de escapar de la Tierra, son absorbidas por ciertos gases y reflejadas de nuevo hacia la superficie. De esta forma, el calor «no puede escapar», quedando atrapado entre la fina capa de gases que compone la atmósfera y la superficie terrestre, como si de un invernadero se tratara, aumentando por consiguiente la temperatura del planeta. El oxígeno y el nitrógeno no intervienen en absoluto en dicho proceso; los principales responsables de este efecto invernadero son el vapor de agua, el CO_2 y el metano. El vapor de agua es el elemento más influyente en el calentamiento, pero por suerte su concentración se regula constantemente mediante lluvias y evaporación. Algo muy diferente ocurre con el metano y el CO_2 , cuya presencia en la atmósfera tarda muchísimo más tiempo en reciclarse (centenares de años en el caso del dióxido de carbono), y el aumento súbito de su concentración en la atmósfera —ya sea por fenómenos naturales

como la actividad volcánica o por emisiones antropocéntricas— tiene efectos durante un largo período de tiempo.

Sin duda, no es un fenómeno tan simple como el que acabo de describir, pero la física básica detrás del efecto invernadero está sobradamente comprendida y modelizada. Si cambiáramos la concentración de un gas manteniendo el resto del sistema intacto, los climatólogos podrían predecir con bastante acierto cómo ello afectaría a la temperatura del planeta. La controversia llega porque, evidentemente, los cambios nunca llegan solos, y es harto complicado discernir cómo se relacionan todos los elementos que forman parte de un sistema tan complejo como el clima terrestre. A pesar de eso, y de que es imposible predecir el clima atmosférico a cortos períodos de tiempo debido al caos inherente en el sistema, los científicos sí pueden tener bajo control algunos parámetros básicos. Por ejemplo, es muy fácil aventurar que en Madrid pasarás más frío en invierno que en verano debido a la inclinación del eje terrestre. También han logrado conocer cómo los ciclos regulares de actividad solar afectan a la temperatura del planeta. Y hasta cierto punto saben cómo calcular el efecto de las grandes erupciones volcánicas u otros fenómenos de origen natural. Los climatólogos llevan varias décadas recogiendo datos y monitoreando todos estos factores. Las mediciones detalladas de datos meteorológicos no empezaron hasta el siglo XIX, pero utilizando anillos de árboles, acumulaciones de polen, o restos en sedimentos oceánicos, han sido capaces de remontarse mucho más atrás en el tiempo y conocer de manera muy precisa las fluctuaciones de la temperatura. Y cuando plasman

todos estos datos en gráficos vuelven a encontrar un hecho sorprendente: aunque nosotros lo percibamos como nimio, el aumento de la temperatura en las últimas décadas se está produciendo a un ritmo sin precedentes. Nunca antes la temperatura había aumentado de manera tan rápida sin una causa natural que lo explicara. ¿Sin una causa natural que lo explicara? Aquí es donde aparecen en escena los controvertidos modelos climáticos, monumentales expresiones matemáticas capaces de simular la evolución climática que, al contrario de lo que argumentan algunos de sus críticos, sí pueden ser testados con relativa facilidad. La clave está en utilizar esos registros tan detallados de los últimos 150 años para poner a prueba los modelos e ir ajustándolos hasta que sean capaces de describir la evolución climática de este último siglo y medio. Una vez conseguido esto, se convierten en valiosas herramientas capaces de predecir el clima en el futuro. Nadie les presupone una perfección absoluta, pero el grado de afinamiento que han conseguido los modelos informáticos es realmente alto. Incluyen flujos de la atmósfera y los océanos, condensación y precipitación de agua, ciclos solares, y un gran número de otros factores. Existen decenas de estos modelos y, aunque difieren ligeramente, sí son consistentes en algunas conclusiones. Una de ellas es fundamental: cuando intentan predecir cómo habría evolucionado la temperatura de la Tierra durante el siglo XX eliminando la actividad humana de la ecuación, logran reproducir muy bien los altibajos ocurridos durante las primeras décadas, pero a partir de la de 1950 no prevén ningún

aumento constante de la temperatura media. Con subidas y bajadas, pero la tendencia sigue estable. Sin embargo, cuando introducen el aumento de CO₂ atmosférico de los últimos sesenta años por la quema de combustibles fósiles, describen a la perfección el aumento de temperaturas que estamos viviendo. Es decir, los modelos ajustan todos los parámetros naturales, y sólo logran explicar el calentamiento reciente del planeta si incluyen el incremento antrópico reciente de CO₂. Otro factor importante es que el CO₂ producido por la quema de combustibles fósiles generados hace millones de años contiene una menor cantidad de isótopos ¹³C que el emitido por otras fuentes. Gracias a ello, los científicos han podido analizar la proporción de isótopos ¹³C/¹²C en el dióxido de carbono atmosférico y concluido con total seguridad que su aumento durante las últimas décadas es de origen antropocéntrico. Sin duda se trata de un fenómeno complejo. Pero toda esta acumulación de datos —y muchos más— son los que dejan a la comunidad científica convencidísima de que el aumento de CO₂ atmosférico que estamos provocando con nuestra quema de combustibles fósiles es el principal responsable del cambio climático que ya hemos empezado a sufrir.

¿Qué nos depara el futuro? Aquí la incertidumbre aumenta. Todos los modelos climáticos apuntan a un aumento de la temperatura media que conllevará graves disrupciones en el clima. Posiblemente, la realidad se encontrará entre las estimaciones más altas y las más bajas, pero todos los cálculos, sin excepción, apuntan al alza. Desertificación en ciertas zonas, inundaciones en otras, deshielo de

los glaciares y los polos, acidificación de los océanos, pérdida de la biodiversidad y sobre todo huracanes más extremos y aumento del nivel del mar parecen consecuencias inevitables de tener un sistema tan sobrecargado energéticamente. La severidad de estos daños, y cómo minimizarlos, es lo que está en discusión dentro de la comunidad científica. Los más optimistas confían en la capacidad de autorregulación de la Tierra para atenuar esta tendencia. Pero otros temen que, como ha ocurrido en ocasiones anteriores, los efectos se retroalimenten hasta crear saltos repentinos de un punto de equilibrio a otro, con resultados catastróficos. Si bien el calentamiento global y su origen están aceptados por la mayoría de los investigadores, el debate sobre la gravedad de sus consecuencias ha llegado totalmente desvirtuado a la opinión pública.

Haciendo un poco de historia, en 1979 un trabajo de la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos ya alertó de que doblar el CO₂ atmosférico implicaría subidas de temperaturas globales muy peligrosas. Y en 1988 el climatólogo de la NASA James Hansen testificó ante el Congreso estadounidense, mostrando pruebas de que el cambio climático ya había empezado. Sus palabras fueron tomadas inicialmente con escepticismo incluso dentro de la comunidad científica. Pero a medida que las evidencias iban confirmando la realidad del cambio climático, empezó a gestarse un debate politizado y polarizado entre dos posiciones antagónicas: unas versiones catastrofistas que pronosticaban escenarios de futuro apocalípticos, y un movimiento escéptico transformado a negacionista que renegaba del cambio climático y buscaba

constantemente flecos en una ciencia que no podía pretender ser exacta.

Las tres fases del escepticismo sobre el cambio climático

John Holdren fue tremendamente crítico con el movimiento escéptico, al que acusó de haber estado sembrando dudas y ralentizando enormemente la toma de decisiones políticas. Por eso quiso analizar las tres etapas por las que solían pasar las actitudes escépticas hacia la idea básica de que el cambio climático está causado por la actividad humana:

1ª etapa: «Los científicos pueden estar equivocados». Innegable. Pero este escepticismo sólo tenía sentido diez años atrás, cuando todavía no había pruebas tan concluyentes de que las emisiones antropocéntricas de CO₂ eran la causa principal del calentamiento del planeta. Con los datos acumulados en ese momento, la unanimidad científica era prácticamente absoluta.

2ª etapa: «Los científicos exageran». Este escepticismo era más actual. Asumía que los científicos tenían razón en cuanto al origen del problema, pero cuestionaba que los efectos del calentamiento global fueran tan graves como ellos pensaban. La controversia no estaba cerrada, desde luego, pero dicho escepticismo se basaba en apreciaciones individuales y estudios minoritarios. La gran mayoría de las investigaciones aseguraban de forma cada vez más contundente que la situación era realmente preocupante.

3ª etapa: «Ya es demasiado tarde para hacer algo al respecto».

John Holdren se sentía preocupado porque esta postura —más bien pesimista que escéptica— estaba cogiendo fuerza incluso entre algunos expertos. Los que la mantienen reconocen que las predicciones científicas son acertadas, pero opinan que llevamos demasiado tiempo maltratando el planeta como para poder solucionarlo, y muestran cierto derrotismo tras constatar durante años la indiferencia política a sus mensajes.

A pesar de todo este escepticismo paralizador, el mensaje de Holdren era positivo. Desde una posición a la que pocos tenían acceso, decía percibir un cambio de actitud más que considerable en la clase política de su propio país, y aseguraba que los gobiernos por fin estaban analizando muy en serio el problema. Terminó la charla mostrándose muy expectante ante qué iba a suceder la semana siguiente durante la conferencia sobre cambio climático que las Naciones Unidas había organizado en Bali, en diciembre de 2007.

Nada ocurrió en Bali. Estaba claro que el gobierno de Estados Unidos, a un año de finalizar el mandato de George W. Bush, no empezaría a adoptar compromisos para reducir las emisiones de CO₂. Y ninguna otra región iba a enfrentarse en serio al asunto hasta que el país con mayor responsabilidad en la problemática del cambio climático diera un claro primer paso. Tocaba esperar unos meses a ver quién iba a ocupar la Casa Blanca. Mientras, yo seguiría mi andadura particular intentando comprender el fenómeno del cambio climático desde una perspectiva amplia, y

manteniendo un espíritu abierto a resquicios en las explicaciones que tan claras parecía tener ese consenso científico.

Recuerdo las clases sobre física atmosférica del meteorólogo Kerry Emmanuel, o la asignatura global climate change: economics, science and policy del genial Henry Jacoby. También reuniones internas con periodistas especializados discutiendo sobre las consecuencias negativas de un catastrofismo desmesurado cuya intención era movilizar a una opinión pública apática, del problema de un periodismo que alimentaba un debate interminable donde en realidad no lo había, o de la costumbre de contraponer siempre los dos lados más radicales de la historia. Y todavía tengo grabado en la memoria el día en que, desde la confidencialidad que prometían nuestros seminarios, uno de los expertos más influyentes en materia de cambio climático nos confesó: «Yo soy de los que en su momento recomendó al presidente de Estados Unidos no respetar Kioto, porque los datos de que disponíamos entonces no eran concluyentes. Ahora son incontestables».

Yo escuchaba con una mente abierta y en absoluto crédula, pero reconozco que por muy mal que me sonara la palabra «consenso», mi escepticismo se iba diluyendo. Aun sabiendo que la verdad no era democrática, mantener dudas sobre la solidez científica del cambio climático lo hubiera transformado en negacionismo. Por eso, cuando alguien insinuó que debía ser más crítico con el consenso científico, sentí la necesidad de exponer en el blog cuál era mi posición intelectual al respecto.

§2. «Escépticos, depende; negacionistas, no»

«El escepticismo en la ciencia es bueno. Más que bueno; es necesario. Más que necesario; es un requerimiento, una obligación de cualquier persona que pretenda observar el mundo desde una perspectiva científica. Por eso, en el *post* donde criticaba a los que niegan la existencia de un cambio climático provocado por la actividad humana no cité a los escépticos (un término y una actitud intelectual que respeto), sino a los *deniers* (un término y una actitud intelectual que repruebo). El escéptico es una persona formada, crítica con la información que le llega, y que no duda en argumentar utilizando datos científicos objetivos. En ocasiones puede resultar un tozudo y mostrarse arrogante, pero en el fondo está abierto a cambiar su manera de pensar si las evidencias se lo indican. Los negacionistas, en cambio, son personas cuyo escepticismo se ha ensuciado de ideología, y mantienen una postura dogmática y activista en contra del cambio climático. Cada negacionista radical tiene sus razones no científicas para ello.

»Aquí no decimos que, sin lugar a dudas, el calentamiento global vaya a desembocar en una situación catastrófica. Ni negamos que haya incertidumbres por resolver todavía. Nadie dice que el dióxido de carbono sea el único responsable, ni que los modelos climáticos sean perfectos, ni que sepamos con certeza cómo reaccionará la naturaleza a un posible aumento de la temperatura. Pero sí creemos en el mensaje básico que la inmensa mayoría de los investigadores nos llevan diciendo desde hace años: la actividad humana es responsable de un cambio inusual en el clima, y en un mundo con

cada vez más demanda energética, si no nos esforzamos en reducir la emisión de gases de efecto invernadero, las consecuencias a medio plazo pueden ser muy graves. Ir a contracorriente es tentador. Aquéllos que deseen mantener una posición escéptica y desconfiar del consenso científico siempre encontrarán algún fleco por donde alimentar su inconformismo provocador. De nuevo, tienen todo el derecho intelectual de hacerlo, pero también deben considerar las peligrosas consecuencias paralizantes que pueden conllevar sus acciones. Si las dudas en la opinión pública sirven como excusa a los gobiernos para retrasar las acciones destinadas a mitigar el cambio climático, y al final resulta que tenía razón la casi totalidad de los expertos que están advirtiéndolo de sus posibles consecuencias, quizá habremos reaccionado demasiado tarde. Las decisiones políticas no se toman bajo certezas incontestables. No podemos permitirnos la insensatez de esperar a ver qué ocurre. Las discusiones sobre el calentamiento global no pueden ser tratadas de la misma manera que el debate entre los genes y el entorno, la teoría de cuerdas, el futuro de la inteligencia artificial, la coexistencia de la ciencia y la religión, o las características de los homínidos que nos precedieron. En ocasiones toca posicionarnos y actuar, estemos plenamente convencidos o no».

Escribir te clarifica las ideas. Sobre todo si lo haces con el cuidado de saber que mucha gente va a leerlo. Mi posición se estaba consolidando: el negacionista que todavía rechazara la influencia humana en el cambio climático estaba profundamente desactualizado. El que pensara que la situación tampoco era tan

grave podía tener razón si vivía en una zona acomodada no costera del primer mundo y no le importaban las sequías, las pandemias, la intensificación de huracanes, la desaparición de especies, o el menor rendimiento agrícola en los países pobres. Y quien creyera que era un problema de imposible solución, que se apartara y no interfiriera en los que sí pretendían intentarlo.

Continuaba creyendo que las dudas alrededor del cambio climático eran legítimas, pero demasiado débiles como para frenar por más tiempo la toma de decisiones. Sin embargo, dos sucesos me hicieron ver que muchas de esas dudas no eran ni siquiera legítimas. El primero fue una cena privada con una persona cuyo nombre sería injusto airear, muy influyente políticamente, respetado académicamente en el campo de la economía y el mundo en vías de desarrollo, y que se había manifestado repetidamente en público en contra del cambio climático. Acudía al encuentro intrigado por escuchar los argumentos escépticos que podía esgrimir alguien tan bien asesorado y con tanta responsabilidad social. Qué decepción. Quedé boquiabierto cuando a mi primera pregunta respondió con cierto desdén: «Eso es el Sol». « ¿Cómo? —repliqué—. Está demostradísimo que los ciclos solares no explican las subidas de las últimas décadas». Continuó: «Llevamos un par de años menos cálidos, y el invierno pasado fue muy frío», insistió ante mi asombro. No podía creer tanta simplicidad. Tras refutar un par de tópicos más, terminó con un tajante: «Mira, hay cosas más urgentes por las que preocuparse en el mundo». Innegable pero cortoplacista, e insuficiente para negar la existencia de un cambio climático como él

había estado haciendo alegremente en sus artículos. Me sentí perplejo; ¿cómo podía una persona tan indudablemente capacitada y lúcida mostrarse convencida con argumentos tan débiles? Alan Leshner, editor de la revista *Science* y presidente de la Asociación Americana para el Avance de la Ciencia, me respondió a esa inquietud cuando la comentamos meses después durante una entrevista en su despacho de Washington D. C.: «Los únicos que se aferran a los datos experimentales son los científicos. En general, la gente antepone sus propias ideas a lo que diga la ciencia. La tendencia natural es posicionarte desde un principio a un lado de la discusión, por el motivo inicial que sea, y luego atender sólo a los argumentos que lo refuercen, y desoír los que te contradigan. A ti y a mí nos puede parecer lógico cambiar de manera de pensar porque un científico nos lo diga, pero en la mayoría de las personas no funciona así».

Era una explicación, pero también una advertencia. ¿No estaría cayendo yo en el mismo error? Tuve la oportunidad de ponerlo a prueba gracias a un segundo suceso que iba a afianzar todavía más algunas de mis ideas...

§3. Ataque frustrado de los negacionistas a Obama

La última semana de abril de 2009 aparecía en varios de los periódicos con más tirada de Estados Unidos un anuncio a toda página encabezado por el siguiente fragmento de un discurso de Barack Obama pocos días después de haber sido elegido presidente de Estados Unidos: «Pocos retos afronta Estados Unidos y el mundo

más urgentes que luchar contra el cambio climático. La ciencia está fuera de disputa, y los hechos son claros».

Bajo estas palabras se podía leer en letras bien grandes la frase: «Con todos los respetos, señor presidente, esto no es verdad».

Y continuaba un texto que decía: «Los científicos abajo firmantes mantenemos que la alarma por el cambio climático es exagerada. [...] Los cambios de temperatura en este siglo han sido modestos [...] en la última década no ha existido calentamiento. [23, 24 [...]] No han incrementado los daños por cambios climáticos²⁵. [...] Los modelos informáticos de predicción no explican el comportamiento reciente del clima [...]»²⁶.

Los numeritos eran referencias a cuatro artículos científicos que avalaban dichas afirmaciones, y estaban citados justo después de una extensa lista de cien científicos escépticos que suscribían este texto de la campaña promovida por el Instituto Cato.

Sonaba convincente. Decidí no menospreciarlo, y pasé una tarde entera rastreando atentamente quiénes eran esos cien científicos, y qué decían los cuatro artículos científicos citados por el anuncio.

Primera sorpresa: muchos de los científicos firmantes no hacían precisamente investigación puntera en cambio climático. ¡Ni siquiera no puntera! Bastantes de ellos se dedicaban a otros

²³ K. L. Swanson y A. A. Tsonis, «Has the climate recently shifted?», *Geophysical Research Letters* 36, L06711 (2009), p. 4.

²⁴ P. Brohan *et al.*, «Uncertainly estimates in regional and global observed temperature changes: a new dataset from 1850», *Journal of Geophysical Research* 111, D12106 (2006), p. 21.

²⁵ R. A. Pielke, Jr, *et al.*, boletín de la American Meteorological Society, 2005, DOI: 10.1175/BAMS-86-10-1481.

²⁶ D. H. Douglass, John R. Christy, Benjamin D. Pearson y S. Fred Singr, «A comparison of tropical temperature trends with model predictions», *International Journal of Climatology* 28, n.º 13 (2007), pp. 1.693-1.701.

ámbitos, estaban ya retirados, o formaban parte de la industria. Me resultó sospechoso, pero no quise sacar conclusiones precipitadas. Los nombres no son lo más trascendente teniendo a mano cuatro citas científicas publicadas en revistas de referencia. Eso fue lo verdaderamente revelador: dichos artículos, ¡no sustentaban las frases del texto que acompañaban! Increíble. El engaño era flagrante y se volvió en contra de los negacionistas. Los periódicos y las páginas especializadas se llenaron inmediatamente de réplicas contundentes de una comunidad científica indignada. Sin entrar en demasiado detalle, los autores de los dos primeros artículos [27,28] decían literalmente estar evaluando la variabilidad interna del clima, y que sus resultados no contradecían la tendencia al aumento global de la temperatura a largo plazo que estábamos sufriendo. La tercera referencia²⁹ no era un artículo científico revisado por pares, sino una simple carta del boletín de la American Meteorológica Society, que por si fuera poco no aseguraba que las preocupaciones por un cambio climático abrupto estaban bien justificadas. Y el cuarto artículo³⁰ se refería sólo a los trópicos, era antiguo, y había sido rebatido³¹ por investigaciones posteriores. Inconcebible.

²⁷ K. L. Swanson y A. A. Tsonis, «Has the climate recently shifted?», *Geophysical Research Letters* 36, L06711 (2009), p. 4.

²⁸ P. Brohan *et al.*, «Uncertainly estimates in regional and global observed temperature changes: a new dataset from 1850», *Journal of Geophysical Research* 111, D12106 (2006), p. 21.

²⁹ R. A. Pielke, Jr, *et al.*, boletín de la American Meteorological Society, 2005, DOI: 10.1175/BAMS-86-10-1481.

³⁰ D. H. Douglass, John R. Christy, Benjamin D. Pearson y S. Fred Singer, «A comparison of tropical temperature trends with model predictions», *International Journal of Climatology* 28, n.º 13 (2007), pp. 1.693-1.701.

³¹ B. D. Santer, P. W. Thorne, L. Haimberger, K. E. Taylor, T. M. L. Wgley, J. R. Lanzante, S. Solomon, M. Free, P. J. Gleckler, P. D. Jones, T.R. Karl, S. A. Klein, C. Mears, D. Nychka, G. A.

Algo olía muy mal... porque más allá de la artimaña, si los negacionistas preparaban un ataque de esas dimensiones... ¿No tenían nada mejor que ofrecer? ¿Eran ésas las evidencias científicas más sólidas que tenían para oponerse al cambio climático? No salía de mi asombro. Pero todavía quedaban más motivos para la suspicacia. Daba la casualidad de que los dos primeros trabajos científicos estaban publicados en revistas de la American Geophysical Union, institución en cuyo Departamento de Comunicación trabajaba la periodista amiga M. J. Viñas. Le pregunté esa misma tarde por el asunto, y no dejó lugar a dudas. Su institución declaraba que tales artículos estaban completamente sacados de contexto, y algunos de los autores ya se habían manifestado en contra de la tergiversación de sus resultados.

El asunto daba mucho que pensar. Era obvio que la frase de Obama «La ciencia está fuera de disputa» no era demasiado agraciada. Ciertamente existen lagunas en la comprensión de este complejo fenómeno llamado cambio climático, y controversias científicas entre resultados más concluyentes y menos. Nadie conoce el alcance que puede llegar a tener el calentamiento global, y bien podría ser que las catástrofes que a veces nos anticipan fueran exageradas. Pero lo que no parecía debatible eran los principios básicos a los que se refería el presidente Obama: 1) el CO₂ y otros gases de efecto invernadero han aumentado debido a la actividad humana; 2) el efecto de estos gases es un calentamiento del planeta,

Schmidt, S.C. Sherwood, F. J, Wentz, «Consistency of modelled and observed temperature trends in the tropical troposphere», *International Journal of Climatology* 28, n.º 13 (2008), pp. 1.703-1.722.

y 3) las consecuencias de seguir emitiendo CO₂ al ritmo que lo hacemos podrían ser graves.

Casi nada en la ciencia está fuera de disputa. Pero, desde luego, estas tres afirmaciones no quedaban contradichas por las tristes pruebas aportadas por los negacionistas en su desafortunada campaña.

Para mí fue un momento clave, un punto de inflexión. Decidí abandonar de manera definitiva mi polémica interna y pública sobre el escepticismo sano en torno al cambio climático. Ya no me interesaba. Podía no sentirme seguro al ciento por ciento. Quizá estaba equivocado, pero ya tenía suficiente. Había llegado el momento de pasar página de tanto debate científico paralizante y pensar en las actuaciones que había que seguir. La pregunta que planteaba a los todavía no convencidos era clara: «Si estuvieras en un organismo con el presupuesto y la capacidad para tomar decisiones al respecto, ¿qué harías?, ¿empezarías planes de mitigación y adaptación, o esperarías algunos años o décadas a que todos los entresijos científicos estuvieran resueltos?». Yo lo veía claro. Pero residiendo en Washington D. C., tenía la oportunidad de preguntar a alguien que estaba justo en esa posición.

§4. El cambio climático no hay quien lo pare

El Banco Mundial en Washington D. C. es una institución que recibe cuotas de dinero de sus 186 países miembros, y lo invierte en países en vías de desarrollo de tres maneras diferentes: con préstamos a bajos tipos de interés, con donaciones para proyectos

en ámbitos como la educación, la salud, las infraestructuras o la gestión ambiental, y realizando estudios técnicos para entender mejor las causas de la pobreza y cómo afrontarla.

Cuando me recomendaron hablar con Walter Vergara, ingeniero líder del Departamento Ambiental del Banco Mundial para Latinoamérica, enseguida le llamé preguntando si podía visitarle y conocer el punto de vista de alguien que debe integrar toda la información científica respecto al calentamiento global, tener en cuenta cuestiones económicas y vaivenes políticos, y terminar tomando decisiones sobre en qué y cómo invertir el dinero de su presupuesto. Fue un auténtico choque con la realidad.

Es muy fácil vociferar a favor o en contra de la energía nuclear, exigir la reducción de emisiones de manera inmediata, buscarle inconvenientes a cualquier solución, aludir a teorías conspirativas, solicitar un cambio de sistema, o decir sin remordimientos que tampoco hay para tanto. Pero cuando tienes frente a ti un presupuesto y te toca priorizar proyectos, o asesorar a un país sobre qué política medioambiental debería seguir, necesitas tener un muy buen sentido global de la situación.

Un primer mensaje quedó muy claro durante mi visita a la división latinoamericana del Banco Mundial. A excepción de Brasil y México, la mayoría de los países en la región no debían preocuparse en demasía por reducir las emisiones de CO₂. Adelante con la eficiencia energética y las fuentes renovables siempre que se pueda, sin duda, pero la mitigación es responsabilidad fundamental de los países más industrializados. Lo que debemos apoyar rápidamente en el

resto son las medidas de adaptación para minimizar los impactos del cambio climático. Porque otro mensaje debe ser asumido: la situación no mejorará. Quizá algún día se consiga reducir las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera, pero, a efectos prácticos, la temperatura media del planeta va a continuar aumentando progresivamente durante buena parte de este siglo. No hay una sola estimación seria que diga lo contrario.

Centrándonos en América Latina, esto conllevará huracanes y fenómenos climáticos más abruptos, problemas en zonas costeras por el aumento del nivel del mar, y redistribución de enfermedades tropicales. En concreto, un informe técnico editado por Walter Vergara y publicado en junio de 2009 por el Banco Mundial definía claramente cuáles eran los cuatro ecosistemas de Latinoamérica más vulnerables al cambio del clima, cuyos daños tenían consecuencias más preocupantes para la región, su deterioro ya se podía prever con certeza, y a los que debíamos empezar a prestar atención de manera inmediata.

Deshielo de glaciares en Los Andes

Cuando decimos que la temperatura media del planeta aumenta unas décimas, debemos entender que ese incremento no es uniforme. En tierra firme aumentará más que en los océanos, en los polos más que en las zonas meridionales y en las cimas de algunas montañas más que en sus cotas bajas. En la cordillera de los Andes esas décimas de grado están modificando la vegetación, lo que afecta al régimen de vientos, y en consecuencia el calentamiento de

las zonas altas será mucho más rápido. La cubierta de hielo en los glaciares de los Andes ya lleva tiempo en constante retroceso. Esto conlleva una pérdida de zonas húmedas, menor disponibilidad de agua para la agricultura, generación de electricidad, e incluso consumo humano. Hay un aspecto que quita algo de hierro al asunto: para la mayoría de estos problemas se podrían encontrar soluciones técnicas de adaptación (que éticamente deberían ser pagadas por los países que causan el calentamiento). Más difícil es evaluar la pérdida de integridad de los ecosistemas, la desaparición de las especies endémicas, y los cambios en los patrones de lluvias que pueden afectar a otras áreas de la región.

Colapso de corales en el caribe

Los océanos capturan CO₂. Más dióxido de carbono en la atmósfera conduce a una ligera acidificación de los océanos. Hay áreas como los arrecifes coralinos tremendamente sensibles a esos cambios. No es una exageración. En zonas del océano remotas, donde no llega la pesca ni la actividad humana, se ha constatado que los corales ya están desapareciendo por causa directa de esa acidificación. El calentamiento de las aguas del Caribe también es una grave amenaza añadida para los corales. Si la temperatura supera cierto límite podría conllevar su colapso completo. No pienses que no hay para tanto. Los corales alojan al 25 por ciento de las especies marinas, y muchas más dependen de su riqueza biológica. Son imprescindibles para el ecosistema y la protección de las costas. La desaparición que ya están sufriendo en el Caribe afectará a la pesca,

al turismo, y a la vulnerabilidad de las zonas costeras. Se esperan fuertes impactos medioambientales y económicos. Y otro detalle: debido a su complejidad, su pérdida es irreversible.

Humedales del Golfo de México

La salinización y el hundimiento están afectando seriamente a las zonas húmedas del golfo de México. Si a esto añadimos la posible subida del nivel del mar, los pronósticos son preocupantes. Los humedales del golfo de México son básicos para las aves migratorias y la riqueza de sus ecosistemas, pero también para la pesca, la agricultura, la regulación del régimen hídrico y la mitigación de los fenómenos climáticos. Las costas de todo el planeta están en general amenazadas, pero el valor biológico y económico de los humedales del golfo de México hace que sean considerados uno de esos cuatro *hotspots*, «puntos calientes», del clima en la región, y por tanto una de las áreas prioritarias a proteger con medidas de adaptación.

El Amazonas convertido en sabana

Es obvio que no ocurrirá de un día para otro, pero el proceso de «sabanización» parece haber comenzado. No hay un consenso científico sobre el ritmo al que puede avanzar, pero las previsiones apuntan a una pérdida de entre el 20 y el 80 por ciento de la selva amazónica durante el siglo XXI. Esto sería uno de los impactos más catastróficos del cambio climático, tanto por la imperdonable

pérdida de biodiversidad que comportaría como por las consecuencias que tendría en el propio sistema climático global.

En todos estos casos, no podemos esperar unos años a ver si alguien consigue frenar el cambio climático. En primer lugar, porque el daño en esos ecosistemas ya ha empezado; y en segundo lugar, porque sería utópico pensarlo. Tenemos que empezar a proteger esas zonas. Una frase del proyecto del Banco Mundial dice textualmente: «La región es una prioridad en la agenda de adaptación al cambio climático. Es obvio que pocos otros impactos rivalizan con las consecuencias del colapso del Amazonas, la desertificación de los Andes, y la destrucción de los arrecifes de coral. La falta de estrategias de adaptación podría hacer que el coste de estos impactos fuera mucho mayor». Toca actuar, pero ¿quién debe pagarlo? Muchos países están sufriendo las consecuencias de un cambio climático que ellos no han provocado. El debate se desplaza de la ciencia a la política internacional.

Liberarse de la ciencia te permite ampliar perspectivas. En busca de profundizar todavía más en el fenómeno social del cambio climático, en otoño de 2009 solicité encerrarme cinco días en una casa en medio de los bosques de Maryland. Allí, la Smithsonian Institution tenía un centro de investigación forestal, y el Earthwatch Institute había organizado un programa para periodistas especializados con el objetivo de explicarnos con detalle sus estudios medioambientales, y darnos todas las herramientas que necesitábamos para cubrir aspectos relacionados con el cambio climático.

§5. El Gran Hermano del cambio climático

Cuatro hombres y cuatro mujeres previamente desconocidos compartiendo cinco días y cinco noches en un entorno idílico. Neveras llenas de comida, vino, cervezas (¿por qué la coordinadora dirigió la mirada hacia mí cuando recomendaba moderación?), y algo tan estimulante para conversar de manera lujuriosa como la ciencia del cambio climático. A pesar de ello, inexplicablemente, en la casa del Gran Hermano científico no hubo escarceos y nos ceñimos a los objetivos predeterminados por sus organizadores.

Para ser sincero, los dos primeros días fueron una repetición de los típicos datos científicos que avalan la versión oficial del cambio climático. Os los voy a obviar, como a mí me habría gustado que hubieran hecho. Yo ya no quería escuchar a más climatólogos demostrando la correlación entre el aumento antropogénico de los gases de efecto invernadero y la subida de la temperatura global, la acidificación de los océanos, el deshielo de los glaciares, los fenómenos climáticos más intensos, las sequías, el aumento del nivel del mar. Quería oír a políticos, economistas y líderes que nos explicaran qué podía ocurrir en Copenhague al cabo de un par de meses.

Saqué un par de reflexiones de las primeras jornadas. La primera fue constatar la diversidad de actitudes frente al cambio climático que se pueden encontrar en sólo ocho personas que sí piensan que es un problema. Entre el grupo había una activista convencida de que las acciones individuales pueden transformar el mundo. Uno

decía que eso era utópico y se debían plantear cambios radicales a gran escala. Un conspiracionista que veía manipulaciones e intereses económicos por todas partes. Un enterado que leyó cuatro artículos y tenía respuestas incontestables para todo. Y una moderada que sopesaba constantemente los pros y los contras, y que si esperábamos a que aclarara sus dudas la subida del nivel del mar ya se habría tragado algunas ciudades costeras. Qué curiosa es la dinámica de las discusiones humanas, y cómo las posiciones tienden a alejarse progresivamente en lugar de acercarse.

Pero para discusión, la que entablamos al valorar un artículo del periódico inglés *The Guardian*, en el que un par de expertos reflexionaban sobre las implicaciones socioeconómicas del cambio climático. Uno proponía directamente que el colapso del sistema económico era inevitable y casi necesario. Resultaba absurdo imaginar un crecimiento continuo que llegara a todas las personas del planeta. Habíamos tocado techo explotando la era del petróleo barato y el uso desmesurado de combustibles fósiles, y el cambio climático nos pasaría factura. Él planteaba que el sistema económico no podría restablecerse sin un colapso previo colosal que forzaría un nuevo equilibrio energético.

La segunda réplica era más optimista y defendía que sí estábamos a tiempo de reaccionar para evitar el golpe, pero introducía un factor muy interesante: cualquier solución que busquemos al cambio climático debe ser compatible con el progreso económico. No podemos poner en riesgo el sistema con medidas radicales que amenacen nuestro bienestar y empeoren nuestra calidad de vida a

costa de tener un planeta un poco más frío. La cura no debe ser peor que la enfermedad.

No tenía claro que esa posición fuera la óptima a largo plazo, pero sí me hacía ver que en Copenhague ningún político iba a llegar a acuerdos de reducción de emisiones que no fueran compatibles con el desarrollo económico de su país y el bienestar de sus ciudadanos a corto y medio plazo. Había una lógica preocupante en esas palabras.

De los siguientes días en la casa del Gran Hermano, me quedo también con un par de anécdotas. La primera, el enfado del bueno de Bert Drake por la manera arbitraria en que algunos habían interpretado sus estudios científicos.

Bert tenía setenta y tres años y estaba feliz a punto de jubilarse, tras pasar los últimos veintitrés años estudiando los flujos de CO₂ en diferentes ecosistemas terrestres. No estaba influido por ningún *lobby*, no tenía intereses económicos ocultos, ni presión alguna en publicar trabajos sonados que le dieran notoriedad. A su edad se sentía del todo independiente. Para ser sincero, no era un científico de los más reconocidos, pero justo al final de su carrera sí había acumulado unos resultados muy interesantes. Y se mostraba bastante molesto.

Bert nos acompañó por una zona lateral del río Rhode, donde habían instalado una especie de pequeños invernaderos estancos con los que monitorean el crecimiento de plantas en su interior. La peculiaridad era que rellenaban dichos invernaderos con 700 ppm de CO₂ en el aire; una concentración el doble de la actual y que se

podría alcanzar en unas décadas si continuamos con el ritmo actual de emisiones. Ellos mismos ya habían demostrado que en tales condiciones las plantas aumentaban su eficiencia y crecían más rápido y más anchas. Pero en abril de 2009 presentaron un estudio más sorprendente: los niveles tan elevados de CO₂ también estimulaban el crecimiento de las raíces, la actividad biogénica en el subsuelo y la acumulación de materiales³². Y esto contribuía a la elevación del suelo de los pantanos. Además de Bert, nos acompañaba el autor principal de esa investigación, Patrick Megonigal, que aseguró que ese efecto podría compensar el futuro aumento del nivel del mar. « ¡Sólo en algunas zonas!», se apresuró a matizar ante el grupo de periodistas. Patrick insistió varias veces en su desacuerdo ante el reiterado uso tergiversado de sus resultados y los de Drake por fuentes negacionistas para minimizar la gravedad de los efectos del cambio climático. Ambos reconocieron que sus investigaciones añadían un grado de incertidumbre y mostraban lo compleja que era la tarea de prever la reacción de los ecosistemas al cambio climático, pero no implicaban en absoluto que la subida del nivel del mar no supusiera un gran riesgo para la mayoría de las zonas costeras, ni que el aumento de CO₂ atmosférico podía ser compensado por un mayor crecimiento de árboles y plantas. « ¡De ninguna manera!», aseguraron con firmeza.

No lográbamos desprendernos de la ciencia, sus incertidumbres y su carácter inconformista. Por eso protagonicé el momento más

³² J. Adam Langley, Karen L. McKee, Donald R. Cahoon, Julia A. Cherry, J. Patrick Megonigal, «Elevated CO₂ stimulates marsh elevation gain, counterbalancing sea-level rise», *PNAS* 106, n.º 15 (2009), pp. 6.182-6.186.

tenso de las jornadas el último día, cuando un investigador repitió el consabido «El problema es que los políticos no nos escuchan». Reaccioné con un tono que para los estadounidenses es impertinente: « ¡Claro que os escuchan! ¡Pero no necesariamente están obligados a haceros caso! Ni que el cambio climático fuera el único problema en el mundo.». Algunos científicos andan demasiado ensimismados en sus datos, y parece que vivan en una sociedad utópica donde la razón siempre pueda imponerse. Les cité las palabras que unos meses antes había pronunciado en la BBC Steven Cú (Premio Nobel de Física, experto en energías renovables y secretario de Energía estadounidense en la Administración de Obama): «Como alguien muy preocupado por el clima me gustaría ser lo más agresivo posible, pero sé que siéndolo generaríamos demasiada oposición, y eso podría retrasar el proceso varios años». Ésa era una realidad que no se medía en el laboratorio, y con la que algunos científicos parecían no contar. Pero, además, su derrotismo no era justo. Les recordé que dos años atrás tenían un presidente que negaba la existencia del cambio climático, y ahora contaban con otro que había afirmado que «romper nuestra dependencia de los combustibles fósiles es el gran reto de nuestra generación», y para lograrlo «mi presupuesto incluye 150.000 millones durante los próximos diez años en fuentes de energía limpia y eficiencia energética». Aunque fuera planteado como una nueva oportunidad económica que indirectamente sería respetuosa con la salud del planeta, el cambio de discurso de Barack Obama resultaba prometedor. Pero no se había avanzado sólo eso. A pesar de que el

movimiento escéptico continuaba vivo, las encuestas mostraban que la concienciación social sobre el cambio climático iba en aumento, e incluso el candidato republicano en la carrera presidencial John McCain contemplaba la reducción de emisiones como un problema real a solucionar. En España, el ex presidente José María Aznar se había posicionado al lado de las creencias negacionistas, pero todos los partidos políticos, incluido el Partido Popular, afirmaban la necesidad de actuar contra el cambio climático. Sí se había avanzado en los dos últimos años. Y por eso se podía ser optimista ante la prometedora Cumbre Mundial del Cambio Climático que iba a celebrarse en Copenhague al cabo de un par de meses. Los científicos ya habían dicho su última palabra, y el mensaje había quedado suficientemente claro. Ahora llegaba el momento de escuchar a gobernantes, empresarios y gestores acostumbrados a saltarse la paralizante incertidumbre y tomar decisiones prácticas. No podían excusarse más.

¿Cómo terminará Copenhague?, ¿con acuerdo o conflicto?

La situación ante la cumbre de Copenhague era tremendamente diferente de la que nos había anticipado dos años antes John Holdren sobre la cumbre de Bali. Desde mi punto de vista, con la presión social, mediática y política que se respiraba no podía, de ninguna manera, quedar en agua de borrajas. Si no se llegaba a un acuerdo, se anticipaba un conflicto.

Sin duda, el hecho de que el presidente del país más contaminante del mundo y que más compromisos debía adquirir frente a la

reducción de gases de efecto invernadero se apellidara Obama en lugar de Bush era un factor fundamental. Pero había otros. Uno muy importante era la posición más enérgica de los países en vías de desarrollo. Ya no estaban dispuestos a que se les ninguneara por enésima vez, y empezaban a presionar con mucha más fuerza que en ocasiones anteriores. Se amparaban en el consenso científico para defender un planteamiento de justicia social: «Ya estamos sufriendo en nuestras tierras los efectos adversos del deterioro climático provocado por vuestro desarrollo económico. Sufrimos por vuestra culpa, y por tanto estáis obligados moral y legalmente a ayudarnos. Queremos dinero para la adaptación».

Adaptación era una palabra cada vez con más peso. El principal objetivo continuaba siendo reducir las emisiones y mitigar lo máximo posible el cambio climático, pero todos los estudios confirmaban que ya no había quien detuviera el calentamiento global, y los efectos negativos iban a continuar empeorando en gran parte de los países pobres, que —con una lógica irrefutable— pedían altísimas compensaciones para poder adaptarse.

Otro aspecto importante era que la Unión Europea también estaba forzando más a Estados Unidos en los momentos previos a la cumbre. El «Nosotros no nos comprometemos hasta que vosotros no lo hagáis» formaba ya parte del discurso oficial, no sólo eran conversaciones de pasillo. A pesar de que el papel de China formaba parte indiscutible de la futura balanza, Estados Unidos era el que éticamente estaba obligado a actuar primero y de manera más enérgica. Las responsabilidades no estaban equitativamente

distribuidas. El ciudadano medio estadounidense era el que más CO₂ emitía del mundo —y con abismal diferencia—. Todos los países industrializados debían procurar disminuir sus emisiones, pero Estados Unidos tenía una responsabilidad histórica acumulada que ya nadie obviaba.

Los que también presionaban fuerte y de manera indiscriminada a todos los gobernantes eran los grupos de activistas, los medios de comunicación, y la sociedad en general la reacción que suscitó un decepcionante encuentro de líderes en Barcelona semanas antes de la cumbre fue un claro «Os estamos observando de cerca; no penséis que podéis torearlos».

De todas maneras, los augurios previos a Copenhague no invitaban al optimismo. Se percibía cierta resignación, y los rumores eran que no se podría pasar de un marco de acuerdo político que sería reafirmado con un tratado en 2010. Pero parecía inconcebible que dos semanas de cumbre internacional monotemática con presencia de todos los líderes mundiales pudiera quedar en algo tan nimio y volátil. Los antecedentes estaban tan caldeados que la cumbre no podía terminar sólo con buenas intenciones. La sociedad y los países en vías de desarrollo no lo iban a permitir. O había acuerdo sólido, o habría confrontación.

§6. Acuerdo de Copenhague: ¿algo mejor que nada? ¡¡¡NO!!!

El transcurso de la cumbre fue lento, espeso y caótico. Se alternaba alguna noticia esperanzadora con otras desalentadoras que reflejaban lo difícil que parecía acercar posiciones entre países ricos

y pobres. La Unión Europea intentaba presionar, y China venía a decirle —con considerable razón— «No os paséis al exigirnos reducir las emisiones, que sois vosotros y el resto de los países desarrollados los que tenéis una larga responsabilidad histórica en contaminación». Entretanto, más informes científicos pretendían reforzar la necesidad de actuar con urgencia: la temperatura de la última década era la más alta desde que existían registros, y se empezaban a encontrar claras relaciones entre el cambio climático y los problemas de salud. Pero la ciencia no era lo más relevante en esos momentos, y las discusiones científicas no pasaron de la primera jornada. Ni los gobernantes ni los representantes que acudían a la cumbre necesitaban confirmación sobre las causas y la problemática real del cambio climático. El objetivo era actuar ya. ¿Expectativas? Fluctuaban a diario, y se pueden seguir en el buen trabajo que hicieron los periodistas desplazados a Copenhague.

Reconozco que me sentía más bien optimista. Hubiera sido muy inocente pensar que la cumbre iba a solucionar el problema del cambio climático, pero se percibía voluntad social y política de alcanzar un acuerdo, la industria de las energías limpias ya no era una utopía como años atrás, y los gobiernos inteligentes estaban financiando con decisión esa nueva oportunidad económica. Faltaba un empujón enérgico. La cumbre de ninguna manera podía terminar en fracaso. Los líderes mundiales no podían permitírselo. A las reuniones importantes se llega con las conclusiones hechas. Algún giro inesperado sucedería en los próximos días.

¿Cuál fue el resultado final? Decepción generalizada. El penoso pacto que Estados Unidos y China pusieron sobre la mesa me recordó un ejemplo clásico de la teoría de juegos:

Imagínate que vas caminando por la calle, alguien te para junto a otro desconocido, y os dice dirigiéndose a tu nuevo compañero: «Vamos a hacer un juego: te voy a dar 10 euros para que los repartas a tu criterio con tu amigo. Pero sólo os los quedaréis si él acepta la oferta que tú le hagas. En caso contrario, no os entrego nada a ninguno».

Piensa qué harías. Si el negociador te ofrece partes iguales, o quedarse él 6 euros y tú 4, seguro que aceptarás el trato y ambos os iréis a casa con unas monedas extra en vuestros bolsillos. Pero si va de listo y te dice: «Como yo soy quien tiene el poder, me quedo 9 euros y a ti te daré 1. Oye, no seas tonto y acepta, porque algo es mejor que nada». ¿Cómo reaccionarás? Posiblemente rehusarás el acuerdo. Aunque la lógica racional te dicte que es mejor ganar un euro que ninguno, una reacción emocional de indignación te impedirá aceptar la injusticia.

Pero no es sólo cuestión de vísceras irracionales. Si lo reflexionas bien, la lógica «algo es mejor que nada» no es una buena estrategia a medio plazo. Me explico: experimentos como éste se han repetido en numerosas ocasiones, situaciones y culturas diferentes, y comparado las cantidades mínimas necesarias para llegar a un acuerdo. Por ejemplo, si haces el test con un completo desconocido que sabes que nunca encontrarás de nuevo en tu vida y te ofrece un mísero euro, es más posible que pienses «Qué aprovechado.», pero

termines aceptando el «algo es mejor que nada». Sin embargo, si estás con un compañero de trabajo con quien sabes que en el futuro deberás llegar a nuevos acuerdos, probablemente te plantarás y le advertirás: «No me ningunees. Para la próxima, que sepas que conmigo no se juega». Los antropólogos han observado algo parecido en diferentes culturas y países del mundo. Aunque a primera vista parezca ilógico, las sociedades pobres donde en teoría «algo es mucho mejor que nada», pero en las que la confianza dentro de los grupos cooperativos es muy importante, son mucho más reacias a aceptar tratos injustos que en determinados países ricos.

Al terminar la lastimosa cumbre de Copenhague, los gobernantes nos mostraron una hojita improvisada *in extremis* e intentaron convencernos de que «algo es mejor que nada». Pues no, señores. No estamos satisfechos. Algunos ilusos nos sentimos profundamente decepcionados y vimos minada la confianza que teníamos depositada en unos líderes que creíamos diferentes. Como en el amor y en la guerra, no avanzar es retroceder. La frase de Obama «Por primera vez en la historia, todas las grandes economías han aceptado juntas su responsabilidad para hacer frente a la amenaza del cambio climático» nos sabe a poquísimo. «El cambio climático es uno de los grandes retos de nuestro tiempo», lo llevamos oyendo desde hace años. Decir que las emisiones deberían tocar techo «lo antes posible» nos suena demasiado vago, y que el compromiso no vinculante de mantener el incremento de la temperatura por debajo de dos grados se deba obtener con reducciones de emisiones voluntarias nos genera indignación. A estas alturas, después de

tanto tiempo, tanta ciencia, tantos avisos, tantas palabras, y tantas intenciones, ese acuerdo era ridículo, ofensivo e indignante. El presidente de la Comisión Europea, José Manuel Durado Barroso, declaró: «Este acuerdo es mejor que ningún acuerdo, pero está claramente por debajo de nuestros objetivos y no voy a ocultar mi decepción». Nosotros tampoco y, como no teníamos ninguna obligación de ser políticamente correctos, nos dejamos llevar por una primera reacción emocional: «Habéis atentado contra nuestra confianza. Meteos el acuerdo por donde os quepa». Semanas después, ya más calmados, y desde una postura más reflexionada, ¡seguíamos pensando lo mismo!

Tentado de asumir que atajar el cambio climático no era una cuestión de falta de voluntad política, y acercándome peligrosamente a la tercera fase del escepticismo que explicaba John Holdren, decidí darme un respiro y no volver a reflexionar sobre el cambio climático hasta que sucedieran movimientos significativos. En el momento que escribo estas líneas, desde un país cuyo despilfarro energético es absurdo, todo lo que veo, leo y oigo me parece una pesadilla que se repite.

Nunca debía haberme apartado de los científicos. Son ellos y no los economistas, los políticos, o los abogados endiablados, los únicos que pueden solucionar el problema y llevarnos a un mundo más sostenible sin mermar nuestra calidad de vida. Démosles tiempo y recursos para mitigar el cambio climático. Y mientras tanto, empecemos a trabajar en adaptación y ayudar a los que van a sufrir

las peores consecuencias de un difícilmente evitable empeoramiento de las condiciones climáticas terrestres.

Capítulo VII

Rascar donde no pica

Contenido:

- § 1. *El cuerpo desajustado*
- § 2. *Embriagado de naturaleza*
- § 3. *Reflexiones inesperadas*
- § 4. *Nunca lo hubiera dicho...*
- § 5. *El mono que llevamos dentro*
- § 6. *Ciencia contra la pobreza*

El «rascar donde no pica» es uno de los lemas de este libro; toda una declaración de intenciones.

Recuerdo la primera reunión que mantuvimos los diez periodistas científicos becados por el programa Night para pasar un año académico estudiando libremente cualquier temática que nos interesara en el MIT y Harvard. Nuestro director, Boye Rensberger, tomó la palabra e insistió de nuevo en que no teníamos restricción alguna; podíamos acudir a las clases, charlas o visitas a laboratorios que más nos apetecieran. Nunca en nuestros trabajos íbamos a tener tal grado de libertad ni una concentración de conocimiento tan desbordante en nuestras manos. « ¡Rascad donde no os pique!» («*Scrath where it doesn't itch!*») —nos dijo, dejándonos desconcertados por unos instantes—. Todos llegáis aquí con ciertos objetivos predefinidos. Unos queréis profundizar en neurociencia, otros en temas medioambientales, en medicina, tecnología, tenéis muy claro qué os interesa y qué no. Está muy bien, pero os

recomiendo que también «rasquéis donde no os pique. Tenéis diez meses ante vosotros; dad una oportunidad a temáticas que hasta el momento os han pasado desapercibidas, embarcaos en asuntos que *a priori* no os atraen, o que el destino no ha puesto antes frente a vosotros. Si en un instante algo consigue llamaros la atención, perseguidlo, no lo descartéis porque no forma parte de vuestros intereses predeterminados. Destinad cierto tiempo a rascaros en sitios donde no os pique. Abrid vuestra mente e inquietudes a explorar nuevos intereses intelectuales desconocidos. Seguro que descubris gratas sorpresas».

Es una de las principales enseñanzas que me llevo de mi experiencia en el MIT. Implanté el «Rascar donde no pica» como una actitud vital desde el principio, y ha sido el gran motor para alimentar el caótico *blog* de los «Apuntes científicos». En él aprovechaba para mantener una búsqueda proactiva al acecho de intereses ocultos, para escuchar a todo aquél que quisiera contarnos algo, y para profundizar en voz alta sobre aquello que en el momento más inesperado lograba captar mi atención. A continuación os transmito algunos de estos desordenados pero estimulantes episodios de descubrimiento personal e intelectual. No soy gran amigo de los consejos, pero me resulta imposible resistirme al «rascad donde no os pique».

§1. El cuerpo desajustado

1.1. Un rhinovirus se ha instalado en mi nariz

Era un lunes de diciembre por la tarde. Estaba sentado cerca de la entrada del restaurante Vapiano en Washington D. C., y cada vez

que alguien abría la puerta me llegaba una bocanada de aire gélido. Cogí frío, y dos días después me dolía la garganta. ¡Ya está!, alguno de los más de doscientos virus diferentes que pueden causar un resfriado común había logrado vencer mis defensas y se estaba multiplicando en la parte más interna de mi nariz Seguro que me lo pasó M J., Lucie, Spencer Wells, o cualquier otro miembro del equipo del Proyecto Genográfico que el genetista de poblaciones madrileño David Soria me había presentado. Claro, con tantos apretones de manos, a la que alguien se hubiera cubierto un estornudo antes de saludarme, y yo después me hubiera tocado despistado la nariz o los lagrimales de los ojos, ¡rhinovirus en mi cuerpo!

No está claro si el frío que entraba por la puerta influyó demasiado en la flojera del sistema inmunológico que permitió a mi virus acampar con éxito. Dicen que es un mito, y muchas de las investigaciones realizadas no establecen una relación directa entre la infección y las bajas temperaturas (sí, en cambio, con el estrés que también me acompañaba), pero un estudio del centro para el resfriado común de la Universidad de Cardiff vio que los estudiantes inoculados que ponían los pies en agua fría durante veinte minutos se contagiaban el doble de los que los mantenían calentitos. Los científicos proponen que, cuando el cuerpo siente frío, hay zonas en las que disminuye el riego sanguíneo, como la nariz, y puede ser que el virus no encuentre tantas células de defensa oponiéndose a su invasión.

Da igual si ésa fue la causa o no; una vez que la infección se había establecido, ya no la podía detener. Como mucho, podía intentar controlar los síntomas del resfriado mientras mi sistema inmunológico se encargaba de crear más defensas y anticuerpos específicos para el virus concreto que me estaba incordiando. Pero eso requería varios días.

Lo curioso del caso es que los molestos síntomas que sufría e irremediablemente iban a aumentar en breve no los causaba la acción del pobrecito virus; él no pretendía hacerme daño para que pudiera ir por ahí contagiando a otra gente. Los efectos del «resfriado» en verdad los provocaba mi propio sistema inmunológico mientras trataba de vencer al rinovirus. Digo rinovirus porque es el más común, pero el desencadenante de mis molestias podía ser un adenovirus, un coronavirus, o cualquiera de las doce familias de virus diferentes que generan lo que entendemos por un constipado. Estuvieran esas malas noticias de ADN envueltas en una cápsula de proteínas u otra, pensara yo que eran un ser vivo independiente o un simple conglomerado de moléculas sin vida propia, se habían instalado inicialmente dentro de las células en el fondo de mi nariz, justo por detrás del paladar. Allí tardaron un par de días en reproducirse y escaparse por millones de cada célula con intención de colonizar mi garganta. Por eso era entonces cuando empezaba a notar el primer síntoma; un dolor de cuello inducido por las citoquinas que los glóbulos blancos de mi sistema inmunológico estaban enviando para avisar de que en esa zona se estaba produciendo una infección. Esas molestas señales de alerta se

dedicaban a inflamar la parte superior de mi garganta y estimular los nervios sensitivos; ellas eran las responsables, y no el virus, de la clásica irritación que notaba los primeros días del catarro.

De momento todavía no me dolía la cabeza, pero pronto una citoquina llamada interferón se dirigiría a mi cerebro para hacer que me sintiera fatigado, espeso, sin apetito, con dolor muscular, y quizá incluso me subiría la fiebre. Ella pretendía que descansara, que guardara energía, y colaborara en el proceso de recuperación. Debería haberle hecho caso, pero aunque quizá era contraproducente, yo estaba dispuesto a tomarme algún sobrecito para neutralizar su efecto y poder hacer vida normal.

Ya podía ir comprando pañuelos, porque pronto empezaría a moquear. La inflamación se trasladaría a zonas más centrales de la nariz, y allí los vasos sanguíneos empezarían a dilatarse y supurar agua para tratar de expulsar el máximo de virus posibles. Con el agua también eliminaría los restos del combate, glóbulos blancos destrozados que espesarían el líquido y le darían esa consistencia mucosa y de color verdoso.

Para intentar que la congestión no bloqueara completamente mi nariz, unos nervios del sistema nervioso autónomo harían que las venas de cada agujero de mi nariz se fueran dilatando alternativamente cada tres minutos aproximadamente. Los conductos lagrimales también se inflamarian y harían que me doliera la parte superior de la nariz y mis ojos estuvieran irritados. Si la inflamación alcanzaba partes profundas de la laringe,

empezaría a toser para evitar que el moco llegara hasta los bronquios.

Intentando evitar las fases más agudas de la infección, tuve varias dudas en recurrir a las fuentes médicas o la sabiduría popular. En algo tan frecuente como un resfriado, el ensayo y error de nuestras abuelas y todas las abuelas que las precedieron también merece cierto crédito. De todas maneras, opté por buscar en la bibliografía científica más reciente. Como de costumbre, encontré versiones bastante diferentes en las fuentes consultadas, pero terminé de desesperarme un estudio reciente en el que se decía que la vitamina C no evitaba los resfriados ni mejoraba su evolución³³. No era un estudio aislado cualquiera, sino una revisión de todas las investigaciones publicadas hasta el momento con el objetivo de cerrar los sesenta años de controversia sobre si la vitamina C era o no efectiva como tratamiento para resfriados comunes. Las conclusiones del trabajo decían textualmente: «El fracaso de los suplementos de vitamina C a la hora de reducir la incidencia de resfriados en la población normal indica que las rutinarias dosis elevadas que se utilizan como profilaxis no están racionalmente justificadas para el uso generalizado. Podrían tener sentido en personas expuestas a períodos breves de frío o ejercicio físico severo». No parecía muy severo el frío que había pasado en el Vapiano, pero, por si acaso, a falta de mis naranjas de Tortosa, me tomé una dosis de ésas diez veces superior a la cantidad diaria recomendada. A diferencia de otras sustancias, mi orina expulsaría

³³ H. Hemila, E. Chalker y B. Douglas, «Vitamin C for preventing and treating the common cold», *Cochrane Database of Systematic Reviews* (2007).

el exceso sin más problema. Sea la vitamina C, el placebo, o los remedios que me recomendaron los lectores del blog, la verdad es que al final todo quedó en un resfriado de lo más inocente. Eso sí, pasando por todas y cada una de las fases descritas en la literatura médica que consulté. Qué grande es la ciencia.

1.2. Resaca de metanol

Qué espabilado el subconsciente. Va el tipo y un 29 de diciembre cualquiera, cuando su aparente dueño está pensando qué *post* podría compartir con sus lectores, le envía un inesperado mensaje invitándole a buscar información científica sobre la fisiología de la resaca y cuál es la mejor manera de minimizarla³⁴. ¿Estaría intuyendo que podía ocurrirle tres mañanas después? No creo; seguro que se trataba sólo de curiosidad intelectual.

Cóctel de síntomas

Además del exasperante dolor de cabeza, cada uno de los síntomas que aparecen a las pocas horas tras dejar de beber, cuando la concentración de alcohol en tu sangre es ya prácticamente nula, tiene diferente explicación y tratamiento. Te sientes fatigado porque el alcohol induce cambios en el metabolismo de tu hígado que desembocan en una bajada de los niveles de azúcar; una ligera hipoglucemia que mejorará si por la mañana ingieres zumos o alimentos con carbohidratos.

³⁴ Robert Swift, M. D., Ph. D., y Dena Davidson, Ph. D., NIAAA, «Alcohol hangover, mechanisms and mediaton», *Alcohol Health and Research World* (2002).

Quizá no te apetezca comer nada porque tengas el estómago hecho polvo. Especialmente si has tomado licores fuertes sin rebajarlos con ningún otro líquido, el alcohol habrá irritado directamente tu sistema gastrointestinal y estimulado la producción de secreciones pancreáticas y ácidos en el estómago. Si la comida previa a las copas hubiera sido contundente y elevada en grasas, tu estómago e intestinos no se habrían irritado tanto y de paso la absorción de alcohol habría sido más lenta.

Bebe agua. Antes, mientras y después, bebe mucha agua. El alcohol es diurético: hace que tu glándula pituitaria segregue menos hormonas antidiuréticas como la vasopresina (cuyo efecto es que los riñones no reabsorban tanto líquido). Como consecuencia aumenta la producción de orina, y tu cuerpo termina eliminando más líquido del que ingiere. Si tomas 50 gramos de alcohol diluidos en un volumen total de 250 mililitros, acabarás perdiendo entre 600 y 1.000 mililitros de agua. Esta deshidratación y pérdida de electrolitos es lo que te provoca la sensación de sequedad, cansancio, sed abundante, y puede (eso se ve que no está tan claro todavía) contribuir al dolor de cabeza por la vasodilatación en el cerebro.

No sólo es culpa del etanol

En tu estómago e hígado tienes un par de enzimas que se encargan de transformar el etanol en algún otro compuesto que tu cuerpo pueda metabolizar sin problemas. La primera enzima se llama alcohol deshidrogenasa (ADH), y le quita un hidrógeno a la molécula de etanol para convertirlo en acetaldehído. Este

compuesto es tóxico, por lo que la segunda enzima, la ALDH, debe actuar rapidísimo quitándole otro hidrógeno y transformándolo en un inocente acetato. Si bebes muy rápido y no permites a la ALDH seguirte el ritmo, o eres una de las personas que tienen una variante genética de la ALDH menos efectiva, tu concentración de acetaldehído en sangre será demasiado alta y sufrirás náuseas, sudores, aceleración del pulso, y malestar generalizado. Pero además del etanol, las bebidas alcohólicas contienen unas sustancias llamadas «congéneres» que se generan durante el proceso de producción del licor, y contribuyen a la severidad de la resaca. Las bebidas de baja calidad suelen tener más congéneres, por eso dicen que el garrafón es mucho peor. Mezclar diferentes licores también resulta contraproducente porque aumenta la diversidad de congéneres y agrava su efecto.

Calidades aparte, y a igualdad de etanol final consumido, la lista de bebidas que generan de más a menos resaca es la siguiente: coñac, vino tinto, ron, *whisky*, vino blanco, ginebra, vodka, cerveza y etanol puro diluido en zumo de naranja; orden que concuerda con mayor a menor cantidad de congéneres. El metanol es el peor congénere de todos. Se trata de una molécula de estructura similar al etanol pero un poco más pequeña, y que se descompone con las mismas ADH y ALDH. El problema es que sus productos intermedios (formaldehído y ácido fórmico) son todavía más tóxicos. Hay científicos que consideran al metanol el factor clave en la resaca. Dicen que las enzimas

metabolizan primero el etanol (tienen más afinidad química por él), y cuando terminan siguen con el metanol produciendo formaldehído y ácido fórmico. Esto explicaría que los síntomas de la resaca empiecen cuando la cantidad de alcohol en sangre es prácticamente nula. Y, de hecho, también podría explicar que tomar un poco de alcohol por la mañana disminuya momentáneamente sus síntomas, ya que bloquearía de nuevo las ADH y ALDH.

Teoría novedosa

En una revisión publicada en 2008 se plantea otro mecanismo que podría influir en el dolor de cabeza y los cambios de ánimo³⁵: la intoxicación etílica del cuerpo activaría de golpe las señales de alarma del sistema inmunológico, induciendo el malestar propio de un resfriado o infección. Las citoquinas que utiliza el sistema inmunológico para comunicarse con el cerebro provocan malestar, debilidad, dolores y aplatanamiento para forzarte a que descanses y contribuyas a tu recuperación. No está comprobado, pero algunos expertos creen que este proceso se puede sobreactivar tras una borrachera y contribuir a la pesadez del día siguiente.

Resumen de recomendaciones

Comer bien antes y dulce después ayuda. Beber agua, aunque sepa peor que la cerveza, es casi imprescindible. Una aspirina o el ibuprofeno por la mañana o antes de ir a dormir disminuirá

³⁵ J. C. Verster, «The alcohol hangover: a puzzling phenomenon», *Alcohol and Alcoholism* 43, 2 (2008), pp. 124-126.

tu dolor de cabeza. Las vitaminas, especialmente la B6, podrían acortar el tiempo de sufrimiento aunque sea por placebo. El café te despejará, pero su contrapartida es que tiene efecto diurético. Ah, y si por la mañana se te ocurre tomar una cervecita, carajillo, o el mal recomendado bloody mary (a pesar de que el tomate tenga vitamina B6), olvídalo. Es normal sentir un leve síndrome de abstinencia al día siguiente, y quizá sí notarías un alivio momentáneo, pero significaría alargar todavía más el proceso de desintoxicación que debe seguir tu cuerpo.

Hasta aquí un burdo batiburrillo de la ciencia testada. Cada uno tendrá sus remedios caseros, recomendaciones, o truquillos extraídos de la sabiduría popular que a las revisiones de científicos se les hayan podido escapar, pero funcionan por un mecanismo todavía misterioso.

1.3. Pupilas dilatadas en pleno orgasmo

Alguien me dijo que cierta mañana estaba haciendo el amor con una chica de ojos claros y, cuando ella estaba alcanzando el orgasmo, se aferró a sus hombros, acercó su cara a pocos centímetros de la suya, le miró fijamente, y de repente sus pupilas se dilataron tanto y tan rápido que el pobre se quedó medio asustado y un poco comedido.

Intrigado por el suceso, recordé que meses atrás durante un congreso de neurociencia había conocido a Mayte Parada, una científica de la Universidad de Concordia en Montreal, que

investigaba la estimulación clitoriana en ratas de laboratorio y me había dicho que su jefe era uno de los expertos más reconocidos en fisiología y neuroquímica de la excitación sexual. Contacté con Mayte, y enseguida acordamos una cita telefónica con James Pfaus. Llamé a la hora establecida a Jim con una pregunta muy clara en mente: ¿se dilataban las pupilas en pleno orgasmo, y por qué? « ¡Desde luego! —contestó Jim—, el orgasmo es un acto que activa de golpe el sistema nervioso simpático y modifica drásticamente el estado de todo tu cuerpo».

Tu organismo funciona sin tu permiso consciente. El control de la máquina bioquímica que eres viene dirigido por un sistema nervioso autónomo que se encarga de controlar tus órganos internos, regular el ritmo cardíaco, hacerte sudar si tienes calor, digerir los alimentos, y un sinfín de tareas que son realizadas de manera automática por unos nervios que no quieren interferencia alguna por parte de tu corteza cerebral. Con la espina dorsal y la parte primitiva de cerebro que compartes con una mosca, ya se bastan.

Este sistema nervioso autónomo tiene dos estados posibles: el simpático y el parasimpático. Durante la mayor parte del día estás en modo parasimpático, que es cuando todo está «normal» y puedes tener los músculos relajados, hacer tranquilamente la digestión, excitarte sexualmente, salivar, hacer tus necesidades sin problemas... Pero ante una situación de estrés repentino que requiera acción inmediata (estás conduciendo y de golpe un camión invade tu carril, o paseas por el bosque y te encuentras un oso), se activa de manera automática el modo simpático y tu cuerpo cambia

de dueño: incrementa súbitamente el ritmo cardíaco, segregas adrenalina, se estimula el metabolismo glucocorticoide para que llegue más glucosa a tus músculos, dilatas los bronquios para conseguir más oxígeno, abres las pupilas para agudizar tu visión. Tu cuerpo cambia de estado de manera radical para que puedas reaccionar de inmediato a la situación inesperada. La digestión, reproducirte, o ir al baño pasan a ser secundarios; incluso tu poder de decidir «a conciencia» se ve mermado. Son los nervios de tu sistema simpático alojados dentro de la columna vertebral los que tomarán el control de tu organismo y lo dirigirán durante unos instantes, en los que debes actuar rápido y fiándote sólo del éxito evolutivo de todas las especies animales que te han precedido.

Durante ese estado no pensarás en comer, ni en sexo, ni en nada que no sea reaccionar ante la inesperada adversidad. De hecho, «para que la sangre fluya normal por tu pene o clítoris debes estar en el modo parasimpático, porque bajo una situación de estrés no vas a mantener una erección», explicaba Jim Pfaus. Pero a medida que te vas excitando y el acto sexual avanza, se acerca una situación que hará fluir de manera masiva al sistema simpático y bloqueará tu cuerpo durante varios segundos: el orgasmo. La explosión llegará de repente: gemidos, enrojecimiento de tu piel, contracciones en los músculos de la pelvis, espasmos, placer y eyaculación serán las respuestas más notorias, pero si estás haciendo el amor a plena luz del día y te fijas bien, quizá también percibas en tu compañera una repentina dilatación de las pupilas. No te asustes y continúa tranquilo. Señal de que no ha fingido.

Investigando científicamente el orgasmo

Además, la pérdida de control momentánea y la desorientación posterior de tu amante femenina es bien real. Si estuvierais practicando sexo mientras un escáner midiera la actividad de vuestros cerebros, veríais que muchas áreas del de ella bajan de actividad cuando alcanza el clímax. Ésta es una de las investigaciones que en las últimas décadas se están realizando para estudiar el placer sexual no sólo desde el punto de vista conductual, sino también fisiológico. Una de las más curiosas son las pruebas con pacientes que tienen lesiones en la espina dorsal: si muestras imágenes eróticas a alguien con una lesión en la parte alta de la columna vertebral, te dirá que se excita mentalmente, pero no observarás lubricación ni erección en sus genitales, ya que la señal no bajará por la espina dorsal. En cambio, si estimulas físicamente sus partes íntimas, quizá sí consigas que reaccionen debido a que sus nervios de la región sacra están intactos. Por el contrario, en las personas cuya lesión se sitúa en la parte más inferior de la columna ocurre la situación inversa: sí se excitan físicamente ante estímulos visuales, auditivos o mentales, pero el contacto directo con los genitales no genera respuesta alguna. Estos estudios de investigadores como Barry Komisaruk ayudan a caracterizar qué regiones nerviosas están involucradas en el orgasmo, y a entender cómo los impulsos pueden viajar en ambas direcciones entre el cerebro, los órganos sexuales, u otras áreas erógenas del cuerpo cuya estimulación —

especialmente en mujeres— puede generar orgasmos sin ninguna necesidad de que el clítoris o la vagina estén involucrados.

Marte y Venus no son tan diferentes

De hecho, solucionado el misterio de las pupilas aproveché para curiosear un poco más —científicamente, claro— con Jim Pfaus. Y quizá lo que más me sorprendió fue constatar lo parecidos que eran en realidad los genitales masculinos y los femeninos, y su rotundidad en afirmar que la distinción entre el orgasmo clitoriano y el vaginal era absurda desde el punto de vista fisiológico. Pene y clítoris tienen el mismo origen durante el desarrollo embrionario, sólo que uno crece hacia fuera del cuerpo y el otro se queda dentro. Pero su diseño y funcionamiento como órganos del placer son muy parecidos. «Si te muestro la imagen por escáner de un clítoris lleno de sangre, lo primero que pensarás es que se trata de un pene. Y luego dirás: 'Un momento, el glande es más bien pequeño, y el tronco es muy plano.'», aseguraba Pfaus. Mi posible equivocación se debería a que en la imagen estaría viendo tanto la parte externa como la interna del clítoris. El clítoris es en realidad un órgano bastante grande, cuya mayor parte se encuentra dentro del cuerpo y en contacto con la pared superior de la vagina. Si miras las terminaciones nerviosas que contiene, verás que muchas se concentran en la parte externa, pero otras están ramificadas por la parte interna y son parecidas a las que encuentras en la parte dorsal del pene. Estas últimas son las que se excitan durante la penetración, y por lo tanto, en sentido estricto, ya sea por

estimulación clitoriana o vaginal, estás excitando el mismo órgano: el clítoris.

Desde luego que las sensaciones pueden ser muy diferentes, pero todo forma parte del mismo sistema. Y respecto a si resulta más placentera la estimulación externa del clítoris, la penetración, o una combinación de ambas, Jim Pfaus y Mayte Parada lo tienen clarísimo: en sus ratas de laboratorio los orgasmos conseguidos al aunar penetración y fricción clitoriana son claramente más placenteros. «Hombre, no nos vas a comparar con ratitas.», fue mi inocente reacción. « ¡Claro que nuestro comportamiento sexual está diversificadísimo! —respondió Jim—, pero hay aspectos básicos de nuestra fisiología, señales químicas y circuitos cerebrales primitivos asociados al sexo que están muy conservados en ratas, macacos, lagartos o humanos». Desde un punto de vista evolutivo, tiene muchísimo sentido. Hay temas en los que la selección natural no se la juega, y la reproducción es uno de ellos. Evidentemente, y por suerte, hemos desarrollado una enorme diversidad de maneras, combinaciones y costumbres para disfrutar del sexo con plenitud, pero los circuitos del placer y esas reacciones fisiológicas fundamentales cuando se activa el sistema nervioso simpático no son tan fuertes entre mamíferos. Son demasiado importantes.

Medicina sexual basada en la evidencia

Y a esto se acoge James Pfaus para defender el uso de modelos animales con los que estudiar la fisiología y la neuroquímica del placer sexual. En su laboratorio de la Universidad de Concordia en Montreal estimulan ratas por diferentes puntos,

frecuencias, intensidad, y analizan su comportamiento. Testan sustancias químicas, e intentan esclarecer todo lo que físicamente excita o inhibe el apetito sexual y la consecución del orgasmo. El objetivo final, evidentemente, es avanzar en este demasiado reciente campo que es la medicina sexual. Todos sabemos que el componente psicológico está detrás de un gran número de disfunciones sexuales, pero claramente también hay factores físicos involucrados, y en algunos casos la medicina podría ayudar mucho a las terapias psicológicas convencionales, ya sea para conocer mejor el origen del problema o para corregirlo. Pfaus cita la viagra (SiUenaS) como una mejora drástica en la calidad de vida de muchos hombres que vivían atormentados por la impotencia, y explica que buscan algo parecido para las mujeres. Pero es más complicado. La disfunción eréctil que soluciona la viagra en hombres no se da por falta de excitación, sino porque no hay suficiente flujo sanguíneo en el tejido esponjoso del pene. Es un problema físico que la viagra corrige, y de hecho también funciona en mujeres con falta de irrigación en el clitoris. Pero esto interfiere poco en el deseo. El deseo sexual está controlado por dos sistemas cerebrales que regulan la excitación y la inhibición. Y ahí es donde sí se encuentran diferencias notables entre hombres y mujeres: la inhibición es mucho más frecuente en el género femenino. Comprender todos los aspectos relacionados en la salud sexual de manera multidisciplinar es fundamental para atajar esas disfunciones

desde un punto de vista médico, integrando las perspectivas de urólogos, endocrinos, terapeutas, psicólogos y científicos de laboratorio en el camino hacia una medicina sexual basada en la evidencia. La ciencia ha empezado muy tarde a investigar el sexo, pero ya forma parte de su dominio y seguro que nos ofrecerá una inestimable cantidad de nuevo y útil conocimiento.

Los bufets libres de la ciencia

En ocasiones saber lo que quieres es un error. A Mayte Parada la encontré de pura casualidad en el mayor congreso de neurociencia del mundo, en el que se presentaban 10.000 trabajos diferentes y se gastaron un total de 110.000 chinchetas en colgar pósters científicos. ¿Cómo te planteas una visita a tal acontecimiento? Lo que suelen hacer los científicos y los periodistas que asisten es planificar bien a qué sesiones quieren asistir. Buscan en la base de datos por palabras clave lo que más les interesa de su campo de investigación, e intentan encajar una apretada agenda de manera que les dé tiempo para hacer *networking* con sus compañeros de temáticas afines. « ¡Es desbordante! No tengo tiempo de asimilar lo de mi área, imagínate el resto», acostumbran a decir. Un explorador científico se lo toma de manera completamente diferente. Él se despoja de cualquier presión, y se desplaza por los acontecimientos científicos como si fueran un bufet libre exquisito en el que pudiera probar platos nuevos que ni sabía que existían. Él ya sabe dónde buscar lo que le interesa; lo que espera de una oportunidad así

es descubrir qué más puede añadir a su lista de intereses. De ese modo descubrió a Mayte y terminó visitando meses después su laboratorio en Montreal. El rascar donde no pica puede resultar adictivo, pero no se le conocen efectos secundarios adversos. Todo lo contrario.

1.4. Gorditos por culpa del estrés

La comida te engorda, de eso no hay ninguna duda. Lo que yo no sabía hasta asistir al congreso científico «Factores de riesgo no tradicionales para la obesidad», realizado en los Institutos Nacionales de la Salud de Estados Unidos, es que el estrés y ciertos virus también. Incluso quizá algunos contaminantes químicos y el tipo de flora bacteriana que tengas.

Estrés: más allá del picoteo

No me lo invento. Justo la semana anterior a este congreso, una amiga me decía que cuando pasaba una temporada estresada le salía «pancita». Yo repliqué que en mi caso era lo contrario, y que parecía mucho más lógico perder peso si tu metabolismo iba más acelerado de lo habitual, y dormías menos y peor.

La ponente Elissa Epel, de la Universidad de California, nos dio la razón a los dos, pero aseguró que la situación de mi amiga era mucho más frecuente. Sus estudios en mujeres relacionan claramente el estrés con ganar unos kilitos de más. ¿Razones? Por una parte, los cambios de hábitos: cuando estás estresada comes más veces a deshoras, tienes mayor apetencia por los dulces y los alimentos grasos, y disminuye tu capacidad de autocontrol. Pero la relación del estrés con la obesidad va

mucho más allá de los factores conductuales. El estrés incrementa los niveles de insulina y de una hormona llamada cortisol que —especialmente en mujeres— provoca un aumento de grasa abdominal, aunque no modifiques tu dieta en absoluto.

Infectobesity

¿Un virus que te haga engordar? Sí, hay varios candidatos. Por ejemplo, el adenovirus AD-36 que hace tiempo estudia Nikhil Dhurandhar.

Casi por casualidad, dicho investigador descubrió que los pollos infectados con este virus de origen aviar eran considerablemente más gordos de lo normal. Luego comprobó que si inculaba el AD36 a ratones y monos, éstos aumentaban los niveles de grasa corporal Y, por último, demostró que este adenovirus relativamente inocuo para los humanos está presente en el 30 por ciento de las personas obesas, y sólo en el 5 por ciento de los no obesos.

En su intervención no se atrevió a asegurar que la causalidad estuviera del todo demostrada, pero todo hace pensar que éste y otros virus pueden jugar cierto papel en el aumento de peso. En cultivos celulares se ha visto que los adipocitos infectados con AD-36 se dividen más y acumulan una cantidad de grasa mucho mayor.

Obesogen en el desarrollo embrionario

Si fumas durante el embarazo, tu hijo nacerá con menor peso, pero de adulto tendrá mayor tendencia a sufrir obesidad. Esto está más que demostrado según Jerry Heindel, del Instituto Nacional de Ciencias de Salud Ambiental. Existe la hipótesis (y recalco la palabra hipótesis) de que otras sustancias químicas denominadas obesogenes también podrían regular la expresión génica durante el desarrollo embrionario, y dejar marcas epigenéticas que condicionen a un mayor peso corporal de adultos.

Un ejemplo es el diethylstilbestrol (DES), un estrógeno que durante treinta años se dio a unos 10 millones de embarazadas estadounidenses hasta descubrir que aumentaba la probabilidad de cáncer vaginal en sus hijas. Además de este efecto tan negativo, algunos investigadores observaron que las hijas de madres prescritas con DES también parecían sufrir más obesidad. Evidentemente, no se ha podido comprobar mediante estudios clínicos en humanos, pero en ratas el efecto es clarísimo: si le das DES a la rata madre, la rata hija será obesa. No porque coma más ni haga menos ejercicio, sino porque cambia su expresión génica.

«Obesogen» es un término establecido por un científico que estudiaba los efectos del tributyltin —un fungicida utilizado en instalaciones marinas y recibimiento de barcos— en el metabolismo de los animales marinos. Durante sus investigaciones se dio cuenta de que incrementaba el número de adipositos. Cuando después hizo pruebas con animales de

laboratorio, comprobó que, efectivamente, provocaba obesidad. Al igual que éstos, los investigadores tienen una larga lista de compuestos químicos sospechosos.

Bacterias en tu intestino

El tipo de bacterias que tengas en tu intestino puede hacer que absorbas más comida, o que la metabolices de manera más eficiente. El Proyecto del Microbioma Humano intenta averiguar la diversidad de estos 10-100 billones de seres que viven en tus tripas, y muy bien podrían ser considerados parte de tu organismo. Los resultados publicados en Nature y presentados en el congreso fueron contundentes: comiendo el mismo número de calorías, los ratones que tenían un tipo de bacterias intestinales determinadas aprovechaban mucho más la energía de la dieta, y terminaban engordando más que otros ratones con flora intestinal diferente. Todo hace pensar que el efecto es idéntico en los humanos.

Es obvio que la obesidad depende de la cantidad de calorías que ingieras, de las que gastes haciendo ejercicio, y de las características físicas que hayas heredado de tus padres. Pero hay evidencias que sugieren hacer caso al sugestivo lema del congreso («*Exploring roads less travelled*») y explorar carreteras menos conocidas. Con suerte te llevarán a parajes inesperados.

1.5. Spray de oxitocina para enamorar

Poco a poco la oxitocina se está asentando como «la hormona del amor». Varios estudios han demostrado su influencia en el apego de las madres hacia sus hijos, en la solidez de las relaciones de pareja, y en la confianza que nos generan otras personas. Hasta tal punto que quizá algún día nos rociaremos con oxitocina para conseguir establecer vínculos más fuertes en nuestras relaciones sociales.

¿¿Algún día?? ¡Pero si ya se puede comprar por internet! Boquiabierto me quedé cuando descubrí el maravilloso... ¡Liquid Trust! («confianza líquida»), un espray creado por la empresa estadounidense VeroLab, y anunciado como la sustancia que hará que tus clientes o amistades te perciban como una persona mucho más de fiar. ¿Gracioso? Pues permitidme que traduzca del apartado de instrucciones de su web: «Construye relaciones instantáneamente en sólo tres simples pasos: 1) aplícate Liquid Trust mientras te vistes antes de una reunión importante o de salir por la noche a conocer gente; 2) todo aquel con quien te encuentres detectará de inmediato y de manera inconsciente la oxitocina humana que llevas encima; 3) sin saber por qué, los que te rodean sentirán una fuerte confianza hacia ti. No se puede explicar, pero sabrás ¡que Liquid Trust está haciendo su magia!».

Impresionante. ¡Ah!, y también podéis comprar la nueva fórmula enriquecida con feromonas para —textualmente— «conseguir mujeres que estaban fuera de tu alcance» (chicas, no parece haber versión para vosotras.).

Ok, ok, me lo estoy tomando un poco a cachondeo, y la idea que hay detrás del producto sí tiene una base científica respaldada por

investigaciones serias. Que el susodicho espray del amor nos sirva por lo menos para dar un repaso rápido a los principales estudios serios que han convertido a la oxitocina en la hormona del amor y la confianza.

Todo empezó hace unos veinticinco años, cuando un grupo de científicos se encaprichó en averiguar por qué ciertas ratitas de campo llevaban una vida enteramente monógama (algo muy extraño entre los mamíferos), y en cambio otra especie muy parecida a ellas no formaba ningún tipo de pareja permanente. Los investigadores ya sospechaban de la oxitocina, pues sabían que se segregaba durante el parto y estaba muy relacionada con el apego que sentían las madres hacia sus hijos, y también que se liberaban grandes cantidades durante las relaciones sexuales, especialmente en el momento del orgasmo. Ligando estos dos conceptos, pensaron que la oxitocina podría estar relacionada con la unión monógama entre las parejas de ratoncillos. Para confirmarlo, hicieron dos experimentos: primero inyectaron oxitocina en los cerebros de los ratones promiscuos y, efectivamente, vieron que con el tiempo empezaban a formar enlaces estables. El segundo experimento fue bloquear el efecto químico de la oxitocina en los ratones de la especie monógama y, sorpresa, dejaron de ser fieles a sus parejas. Después se descubrió que una hormona muy parecida a la oxitocina, la vasopresina, estaba íntimamente relacionada con la conducta fiel de los ratones machos. En los monógamos el gen que codificaba los receptores de vasopresina se expresaba mucho más, y en una zona específica del cerebro en la que los polígamos no tenían

tales receptores. Estimulando la expresión del gen AVPR1A, los científicos consiguieron que los machos promiscuos se comportaran como sus primos fieles³⁶.

Los humanos también tenemos este gen AVPR1A, pero hay dos variedades distribuidas por la población, una más activa y otra menos. En 2008 un grupo de investigadores suecos publicó un artículo en el que se decía que los hombres con la versión menos activa del gen tenían el doble de posibilidades de ser solteros y de sufrir más crisis matrimoniales en caso de casarse³⁷. Suena absurdo, y quizá lo es, pero hasta que alguien no refute este experimento, de las mil y una cosas que están relacionadas con nuestra tendencia a la fidelidad, esa *una* podría ser el gen AVPR1A.

¿Rebuscado? Todavía puede serlo más: hace unos años se empezó a pensar que si la oxitocina estaba relacionada con el apego de madres a hijos y la cohesión entre las parejas, quizá también podía tener un efecto en el resto de las relaciones sociales. Varios estudios demostraron que, efectivamente, los índices de oxitocina estaban relacionados con la confianza que nos genera otra persona. Quizá el experimento más famoso fue el que publicaron en *Nature* unos investigadores suizos en 2005, en el que comprobaron que la administración intranasal de oxitocina hacía que confiaras más en

³⁶ Miranda M. Lim, Zuoxin Wang, Daniel E. Olazábal, Xianghui Ren, Ernest F. Terwilliger y Larry J. Young «Enhanced partner preference in a promiscuous species by manipulating the expression of a single gene», *Nature* 429 (2004), pp. 754-757.

³⁷ H. Walum, L. Westberg, S. Henningsson, J.M. Neiderhiser, D. Reiss, W. Igl, J. M. Ganiban, E. L. Spotts, N. L. Pedersen, E. Eiksson, P. Lichtenstein, «Genetic variation in the vasopressin receptor 1a gene (AVPR1A) associates with pair-bonding behavior in humans», *PNAS* 105, 37 (2008), 14.153-14.156.

los desconocidos³⁸: a un par de grupos de voluntarios les pedían que invirtieran dinero en el proyecto que les proponía un desconocido, y vieron que los que habían sido rociados con oxitocina daban una cantidad un 17 por ciento mayor que los rociados con un análogo neutro. Este estudio y otros posteriores que parecen confirmarlo son la base «científica» del espray del amor con que he iniciado este apartado³⁹. Quién sabe, quizá sí sirva y logre aumentar la confianza, aunque sea la del que lo utilice.

§2. Embriagado de naturaleza

2.1. La historia de la vida en 1.000 palabras

Hace 4.600 millones de años, restos de polvo y gas girando en un disco estelar alrededor del Sol empezaron a colapsarse hasta constituir un planeta que más tarde llamaríamos Tierra.

Esa gran masa derretida comenzó a enfriarse, pero muy pronto, hace 4.530 millones de años, un colosal impacto expulsó al exterior los materiales que a la postre formarían la Luna.

Mientras tanto, la superficie de la Tierra primigenia se convirtió en un laboratorio químico prebiótico donde las diferentes moléculas químicas iban combinándose y haciéndose cada vez más complejas, hasta que en algún momento hace 4.000 millones de años aparecieron unas protocélulas constituidas por envoltorios lipídicos que daban cobijo a macromoléculas de ácidos nucleicos con capacidad de autorreplicarse.

³⁸ Michael Kosfeld, Markus Heinrichs, Paul J. Zak, Urs Fischbacher y Ernst Fehr, «Oxytocin increases trust in humans», *Nature* 435 (2005), pp. 673-676.

³⁹ P.J. Zak, A. A. Stanton, S. Ahmadi, «Oxytocin increases generosity in humans», *PLoS ONE* 2, 11 (2007), c1128. doi: 10.1371/ journal.ponc.0001128.

Dichas cápsulas de pre-vida podrían haberse creado y destruido en muchos lugares y sitios a la vez, o incluso llegado del espacio exterior a bordo de meteoritos; pero lo cierto es que fueron evolucionando hasta constituir los primeros microorganismos procariotas, con moléculas de ADN esparcidas por su interior junto a unos procesos metabólicos básicos que les permitían obtener energía de los compuestos químicos que atrapaban del medio exterior; entre ellos, la glucosa.

La vida procariota continuó evolucionando, fusionándose, sofisticándose y haciendo todo tipo de experimentos intracelulares durante 1.500 millones de años. Arqueas y bacterias se separaron, y a un tipo de estas últimas se les ocurrió inventar algo llamado fotosíntesis, provocando uno de los eventos más trascendentales en la historia de la vida en la Tierra: las cianobacterias llenaron la atmósfera de oxígeno. Se calcula que las primeras células eucariotas con núcleo y orgánulos bien definidos aparecieron hace 2.000 millones de años, y perfeccionaron una manera de compartir material genético que daría origen a una reproducción sexual que les permitiría evolucionar más rápidamente.

El mundo continuó siendo unicelular hasta hace poco más de 1.000 millones de años. Entonces la evolución dio un salto más inverosímil, revolucionario y único que el propio origen de la vida: varios microorganismos aprendieron a trabajar en conjunto y terminaron renunciando a su identidad individual para convertirse en los primeros seres pluricelulares. Este hecho insólito y el fin de un período glacial facilitó la llegada de faunas como la de Ediacara

hace 650 millones de años, formada por animales sésiles que no necesitaban moverse porque vivían en paz sin necesidad de depredarse los unos a los otros.

Este entorno bucólico se transformó con la llegada de los animales modernos y la fabulosa explosión del Cámbrico hace 530 millones de años. Fue posiblemente la etapa más esplendorosa de la vida. Como S. J. Gould ilustró en su apasionante libro *La vida maravillosa*, los organismos más aberrantes y los diseños corporales más inverosímiles que puedas imaginar aparecieron sin restricción. Había más diversidad de estructuras básicas en el Cámbrico que en la actualidad. Y llegaron los artrópodos. Representados por los extintos trilobites o seres enigmáticos como *Opabinia*, serían los precursores de insectos, arácnidos o cangrejos y llegarían a representar el 85 por ciento de las especies animales del planeta.

La vida continuó diversificándose en los océanos con moluscos, medusas, amebas, crustáceos, estrellas de mar, pulpos, o ciempiés primitivos que según el registro fósil empezaban ya a explorar tierra firme. También aparecieron los cordados, animales que tenían un nervio central a lo largo de su cuerpo y de los que hace 485 millones de años surgieron los primeros vertebrados.

Los peces surcaron los mares hace 440 millones de años, y posteriormente las algas verdes evolucionaron hasta convertirse en las primeras plantas que colonizaron la tierra y aceleraron el desplazamiento de insectos hacia su interior.

En los siguientes millones de años a los peces les crecieron mandíbulas y dientes, y en los continentes salieron líquenes, más

diversidad de plantas, ácaros y todo tipo de insectos, entre ellos algunos con alas y capacidad para volar. Cuando hace 363 millones de años empezó el Carbonífero, la vegetación ya cubría la tierra, había bosques con gigantescos helechos, árboles, libélulas de 60 centímetros, escorpiones y los primeros anfibios empezaban a abandonar los lagos para adentrarse en el mundo terrestre. La Tierra tal y como la conocemos estaba cogiendo forma. Hace 300 millones de años aparecieron los reptiles, luego los escarabajos, y muchos nuevos tipos de plantas. La vida se iba diversificando, hasta que hace 250 millones de años la gran extinción del Triásico eliminó el 96 por ciento de las especies marinas y el 70 por ciento de las terrestres. Se discute si fue un impacto, vulcanismo extremo, liberación de metano, o una combinación de catástrofes naturales lo que provocó un cambio climático extremo de consecuencias desastrosas para muchas especies, pero que permitió el brote de otras nuevas. Los mares se repoblaron con grandes depredadores, algunos reptiles dieron paso a los dinosaurios hace 225 millones de años, y pequeños mamíferos intentaban hacerse un espacio en este nuevo mundo hace 200 millones de años.

Llegó el Jurásico, acompañado de mayor diversidad de anfibios, insectos que chupaban sangre, reptiles, enormes peces, y unos dinosaurios a los que hace 150 millones de años les salieron alas, convirtiéndose en los precursores de los pájaros actuales. Algo faltaba para terminar de embellecer el planeta: las flores. Las plantas con flor nacieron hace 130 millones de años, motivando una nueva explosión de diversidad cuando los insectos empezaron a

utilizar y dispersar su polen Llegaron animales como las abejas, serpientes u hormigas, que se han mantenido intactas durante 80 millones de años. Los dinosaurios continuaron creciendo majestuosos hasta que la caída de un meteorito hace 65 millones de años desencadenó la extinción del Cretácico, eliminándolos a todos excepto las aves. El vacío que dejaron los dinosaurios fue aprovechado por los mamíferos para abandonar su vida nocturna, aumentar de tamaño, y extenderse por los ya casi separados cinco continentes. Los pájaros se diversificaban, empezaban a cantar, y se convertían en las especies modernas que ahora conocemos. Unos mamíferos constituyeron hace 60 millones de años el grupo de los primates, mientras que otros decidieron irse a vivir a los océanos y dar lugar a ballenas o delfines. Hace 40 millones de años surgieron las mariposas, y los mamíferos continuaban diversificándose en felinos, jirafas, caballos, o chimpancés.

Hace 6 millones de años Ardi se convirtió en el homínido más antiguo que conocemos, una familia de primates que caminaban de pie y cuyo cerebro fue aumentando, pasando por los australopitecos que comían carne; *habilis* que fabricaban herramientas complejas; un *ergaster* con indicios de cierto lenguaje articulado, *heidelbergensis* y *antecessor* con conocimiento abstracto; hasta la llegada hace 200.000 años de un *Homo sapiens* que salió de África para intentar adueñarse de un mundo que durante un corto período de tiempo tuvo la ilusión de dominar.

Desde que perdí una apuesta por defender que las plantas aparecieron en tierra firme antes de ser ésta colonizada por los

animales terrestres, y tras discutir si —como aseguran algunos paleobiólogos— la llegada de seres pluricelulares fue un evento más inesperado que la formación de las primeras bacterias, me apetecía poner cierto orden y asentar en mi cabeza algunos acontecimientos en la evolución de la vida en la Tierra, filtrando los que más me llamaban la atención. Compartí en el blog esta inocente pincelada a la mayor historia jamás contada, se extendió por la red, y llegó incluso a las aulas escolares, donde jóvenes estudiantes se sintieron motivados a ampliarla. Qué gran honor.

2.2. Fabricando antídotos para el veneno de serpientes en costa rica, y el maldito *batrachochytrium dendrobatidis*

El «rascar donde no pica» es mucho más fácil de llevar a cabo cuando te encuentras fuera de tu entorno y rutina. Por eso es tan «sano» viajar. Te sientes más aventurero y abierto a probar nuevos platos, vas a museos que no pisarías si estuvieran en el pueblo de al lado, y te muestras tremendamente interesado por hablar con los locales sobre su cultura. Incluso tu mente parece abrirse y empieza a hacer planes revolucionarios sobre tu futuro. Alguna relación debe de haber con el demostrado aumento de divorcios tras las vacaciones. Al explorador científico le ocurre lo mismo, claro, y por eso se siente entusiasmado cuando estando de visita en Costa Rica le pregunta a una amiga periodista científica del diario *La Nación*: «¿Qué no debo perderme?», y ella responde: «Que te hablen de la extinción del sapo dorado en Monteverde; ve al Inbio, donde Rodrigo Gámez te hablará del color de las alas de mariposa, y llama al

Instituto Clodomiro Picado para que te muestren cómo producen antídotos de serpientes». ¿Antídotos de serpientes? ¡Empecemos por ahí! La primera serpiente que me mostraron en el reptiliario del Instituto Clodomiro Picado de la Universidad de Costa Rica fue una terciopelo de un par de metros. Perteneciente al grupo de las víboras, es la serpiente que más accidentes causa en este país, unos quinientos al año. Si te inyecta su veneno, además de un dolor espantoso, gran hinchazón y necrosis alrededor de la mordedura, las proteínas anticoagulantes que contiene empezarán a provocar hemorragias internas que, eventualmente, podrían desencadenar un *shock* cardiovascular que llevaría a la muerte en un 7 por ciento de los casos si no fuera porque unos científicos costarricenses se las apañaron para elaborar antídotos contra su veneno.

Es mucho más infrecuente, pero también podría picarte una serpiente de coral. Ellas representan la otra forma en que suelen actuar los venenos de las serpientes. Al igual que las cobras, su veneno está constituido por sustancias neurotóxicas que bloquean la comunicación entre los nervios y los músculos, induciendo parálisis en la zona afectada e incluso muerte por parada respiratoria en casos extremos. De nuevo, podrías fallecer si no te suministran uno de los sueros antiofídicos preparados en este centro. Creado en la década de 1970 para luchar contra la mordedura de serpientes en Costa Rica, al poco tiempo empezó a abastecer a toda Centroamérica, y en la actualidad se ha convertido en un centro de investigación y producción que exporta sus productos a todo el mundo y publica una veintena de artículos

científicos al año, algunos de ellos en colaboración con laboratorios de diversos países, como el Instituto de Biomedicina del CSIC en Valencia.

El proceso de producción de los antídotos es conceptualmente sencillo: los científicos del Instituto Clodomiro Picado extraen veneno de las serpientes que acogen en su reptiliario, e inyectan pequeñas dosis a algunos de los 120 caballos que tienen en su finca. Al cabo de unos días extraen unos 6 litros de sangre por caballo y purifican los anticuerpos que el equino ha generado contra las proteínas del veneno. Con eso, en sus propios laboratorios prepararán sueros como el que me mostró el subdirector del instituto José María Gutiérrez, específico contra las serpientes de coral. Si algún día te encuentras buceando en cualquier lugar remoto y una serpiente de coral logra abrir la boca lo suficiente para morderte e inocularte su veneno, inyectándote este suero antiofídico lograrás que los anticuerpos generados en el cuerpo de un caballo costarricense se enganchen a las proteínas neurotóxicas y las neutralicen.

Resultado del primer «rascar donde no pica» sobre venómica y antivenómica: un éxito. Nunca me había pasado por la cabeza pensar cómo se fabricaban los antídotos para intentar disminuir las 125.000 muertes por mordedura de serpiente que según la OMS se producen cada año. Y tampoco si el color de una flor tenía un origen completamente diferente al de las alas de una mariposa...

«Prefiero un quetzal a cinco vacas».

Esto le dijo el alcalde de un poblado interior de Costa Rica a Rodrigo Gámez, director del Instituto Nacional de Biodiversidad de San José, para convencerle de su predisposición a cuidar los bosques frente a empresarios que querían explotar su territorio. El sentido era muy claro: los quetzales —pájaros preciosos que habitan en los bosques del Caribe— generaban muchos más ingresos en turismo que la ganadería o la agricultura.

Cuando se habla de preservar la biodiversidad o salvar especies en peligro de extinción suelen aparecer dos posturas bastante confrontadas: unos argumentan con valores éticos y de responsabilidad frente a la naturaleza, mientras otros anteponen el bienestar humano y el progreso económico a un simple pajarito. Para los segundos, proteger la biodiversidad es un capricho de países ricos, pero un lujo para los que se encuentran en pleno desarrollo. Lejos de ser coherente, es una visión absolutamente miope que sólo ve el beneficio inmediato. Incluso en términos estrictamente económicos, a medio plazo conservar es mucho más rentable que destruir. Y si no, que se lo digan a Costa Rica.

Rodrigo Gámez me explicó que, a pesar de ser un país tan pequeño, debido a su orografía, temperatura estable, y a haber sido un puente intercontinental que tras su formación permitió el encuentro de especies provenientes de América del Sur y América del Norte, acumula hasta el 4 por ciento de la biodiversidad existente en todo el mundo. Mucha más que Canadá y Estados Unidos juntos. Y lo más importante: ha

sabido conservarla. Un tercio del territorio de Costa Rica está protegido, es de los pocos lugares donde los bosques están creciendo, y apostó por un modelo de turismo sostenible que ha enriquecido tanto a la naturaleza como a sus ciudadanos.

En los trópicos se acumula el 80 por ciento de la biodiversidad mundial. Protegerla y saber sacarle partido es una apuesta ganadora para los países que la contienen. Sin duda, hay problemáticas prioritarias, pero no deben ofuscar el hecho de que la biodiversidad es un tesoro irremplazable que cada vez será más cotizado, incluso económicamente.

«Es mucho mejor vender un árbol 1.000 veces que sólo una», me dirían en la reserva biológica de Monteverde en relación con los visitantes que les llegan. « ¡Pero no es sólo el turismo lo que da beneficios!», insistió Rodrigo Gámez tras explicar la anécdota del quetzal.

Rodrigo me mostró sus gráficos, en los que pude comprobar que en los parques nacionales el turismo naturalista dejaba más ingresos por hectárea que la deforestación para plantar café. Pero enseguida mencionó los beneficios derivados de las numerosas investigaciones internacionales que atraen los manglares, los bosques nubosos o los arrecifes coralinos. Habló de mejoras en la calidad de vida, de la educación recibida por los 180.000 alumnos que pasan por el Inbio-parque cada año, de biodiplomacia, y del síndrome de déficit de naturaleza que afecta a los niños de las ciudades por falta de contacto con entornos naturales.

Y a continuación me acompañó por sus laboratorios de bioprospección, donde científicos y empresarios locales perseguían descubrir principios activos de animales y plantas para sintetizar químicamente pinturas, pesticidas, o medicamentos de origen natural. Dos de los productos que esa institución ya ha patentado y comercializado eran un tranquilizante a partir de una variedad de tilo, y unas pastillas para problemas digestivos elaboradas con extractos de la planta «hombre grande», utilizada tradicionalmente para tratar dolores estomacales.

Además de los aspectos medioambientales, la clave es comprender que la biodiversidad también es una valiosísima fuente de recursos que puede generar productos de gran valor agregado si la sabemos explotar de manera sostenible. Rodrigo no se cansaba de repetir este mensaje, pero el *Aha! moment* de verdad llegó cuando, acompañándome por las instalaciones del Inbio, la oruga de una mariposa *Morpho* se posó en su hombro y me dijo: « ¿Sabes cuál es el origen del color azul de sus alas?». Tras mi expresión desencajada, explicó que las flores deben su color a pigmentos, sustancias químicas que producen color. Pero los tonos de las alas de algunos insectos, aves o mariposas son el resultado de estructuras microscópicas que reflejan la luz a diferentes longitudes de onda. Los pigmentos llevan siglos utilizándose como tintes o pinturas, pero hace poco que estos otros colores estructurales se están empezando a utilizar industrialmente para conseguir productos con color propio sin

necesidad de ser pintados. Era sólo un ejemplo de lo que se puede aprender y aprovechar con los centenares de miles de especies diferentes que habitan sólo en Costa Rica. Imagínate en el resto del mundo.

A sus setenta y tres años envidiablemente bien llevados, Rodrigo Gámez no necesitaba argumentos económicos para justificar su compromiso con la preservación de la naturaleza. Yo tampoco; me preocupa más que nuestro crecimiento incontrolado convierta el mundo en un lugar plano, homogéneo, civilizado y aburrido. Con Rodrigo invertimos más tiempo y pasión conversando sobre los árboles del parque, los hilos de araña, o sus colecciones de mariposas y su extenso catálogo de especies de insectos. Pero si como director del Instituto Nacional de Biodiversidad de Costa Rica le tocaba demostrar la rentabilidad económica de proteger la biodiversidad frente a políticos y gobernantes, disponía de argumentos sólidos para hacerlo. La biodiversidad es una fuente de riqueza, no sólo en sentido metafísico.

Maldito Batrachochytrium dendrobatidis

La tercera recomendación de Debbie, mi amiga periodista, me llevó al Centro Científico Tropical de Monteverde, cuyo bosque nuboso había albergado miles de sus característicos sapos dorados, hasta que en 1989 fue visto el último ejemplar. El causante de la extinción de esta especie endémica de Costa Rica fue el maldito Batrachochytrium dendrobatidi, un hongo que

está causando estragos entre los anfibios de Centroamérica. Dicho hongo infecta su piel provocando una enfermedad llamada quitridiomycosis, que impide la respiración cutánea propia de los anfibios y termina asfixiándolos.

¿De dónde salió este hongo? Siempre ha existido en ambientes húmedos y crecido a temperaturas entre 17-25 °C. El problema fue que hasta hace poco los microclimas de los bosques tropicales de Centroamérica no eran tan cálidos. Los investigadores que me acompañaron por unos senderos considerablemente más angostos que los reservados a turistas confirmaron que la rápida expansión del hongo a causa del cambio climático es la hipótesis más consistente sobre la desaparición del sapo dorado y una especie de rana arlequín. Sus más de quince años recogiendo datos meteorológicos en el bosque nuboso de Monteverde, y relacionándolos con las fluctuaciones en la población de ranas y sapos de la zona, así parecen indicarlo.

Sin embargo, el maldito *Batrachochytrium* no es la única amenaza a los delicados anfibios. A un centenar de kilómetros de Monteverde, el científico Steven Whitfield estableció que el 75 por ciento de los anfibios de la Estación Biológica de la Selva habían desaparecido en los últimos treinta y cinco años⁴⁰. Pero no a consecuencia del hongo, sino —sin descartar episodios de

⁴⁰ Steven M. Whitfield, Kristen E. Bell, Thomas Philippi, Mahmood Sasa, Federico Bolaños, Gerardo Chaves, Jay M. Savage y Maureen A. Donnelly, «Amphibian and reptile declines over 35 years at La Selva, Costa Rica», *PNAS*(2007),104, pp. 8.352-8.356.

sequías o uso de plaguicidas— posiblemente debido a cambios en la hojarasca del suelo.

La desaparición acelerada de anfibios es un hecho contrastado en diferentes lugares del mundo. Al tratarse de especies tan vulnerables a pequeños cambios en los ecosistemas, los anfibios son considerados indicadores biológicos, y su pérdida demuestra que algo está ocurriendo en sus hábitats. Averiguar ese algo y comprender el funcionamiento interno de la naturaleza es una tarea harto complicada.

«Para ello tenemos las parcelas de monitoreo a las que te llevamos», me explicaron los investigadores del Centro Científico Tropical. Tras treinta minutos adentrándonos en el bosque nuboso de Monteverde paramos de golpe y dijeron: «Esto es una parcela». No vi nada. Frente a mí sólo tenía más bosque. Prestando atención a las indicaciones de mis guías, pude ver unas pequeñas placas en los árboles, una cajita que contenía aparatos de medidas meteorológicas, y unos palos metálicos que delimitaban un terreno de 10 x 10 metros de bosque. Era una de las múltiples parcelas esparcidas por puntos estratégicos de la región que diversos grupos de científicos estaban monitoreando constantemente para tener bajo control las fluctuaciones en temperatura, humedad relativa, viento, presión atmosférica, incidencia de luz, tipos de plantas, grosor de árboles, especies de insectos, comunidades de microorganismos, cambios en la fauna. La casualidad hizo que justo a los pocos minutos apareciera un grupo de ecólogos

tomando muestras de árboles y recogiendo hojas a una altura específica para ir completando su registro de la vegetación de la zona.

La idea es conceptualmente poderosa: tener fragmentos de bosque absolutamente caracterizados y monitoreados para conseguir un registro extenso de datos con los que entender mucho mejor qué está ocurriendo en esos ecosistemas. En esos ambientes existen multitud de microclimas en función de cómo incide la luz, la dirección del viento, o pequeñas fluctuaciones de latitud. La posibilidad de monitorear todos esos datos y poder comparar la evolución de parcelas situadas en diferentes zonas del mismo bosque, o incluso con centros de monitoreo ya en funcionamiento en otras áreas tropicales, está proporcionando a los ecólogos una valiosísima herramienta para comprender la magnitud de los cambios provocados por el calentamiento global, la intromisión humana, la llegada de nuevas especies, o las medidas de protección destinadas a preservar esos paraísos de biodiversidad cada vez más endebles. La ciencia, cuanto más rascas, más pica.

2.3. Pérdida de biodiversidad por capricho

Hasta cierto punto, es relativamente sencillo saber si hace cincuenta años había sapos dorados en los bosques de Costa Rica, o si en los alrededores de tu pueblo la fauna era muy diferente a la actual. Puedes preguntarle a tu abuelo, y sanseacabó. Y si quieres una información más metódica, seguro que encontrarás algún

trabajo de los muchos ecólogos que han ido documentando la flora y la fauna que existía en los diferentes parajes terrestres. Incluso puedes extender tu conocimiento recurriendo a libros, restos arqueológicos, o fósiles. Pero ¿qué ocurre con los océanos? Conocer el tipo y la cantidad de peces que habitaban hace sólo cincuenta, cien o mil años bajo la superficie de nuestros mares es tremendamente más complicado.

De eso se encarga una nueva y curiosa disciplina científica llamada ecología marina histórica, que utiliza recortes de periódicos, menús de restaurantes, o cualquier tipo de pista que le dé datos sobre el pasado de los ecosistemas marinos. Uno de los estudios más llamativos lo realizó la bióloga marina Loren McClenachan, comparando las fotos que los turistas se tomaban con sus presas cuando iban a pescar en una región del golfo de México.

Loren visitó los archivos de la biblioteca pública de la población de Cayo Hueso en Florida, y tuvo la suerte de encontrar un registro completísimo de fotografías tomadas desde 1957, todas desde los mismos barcos que utilizaban los turistas para pescar. Cuando las puso en orden, el resultado fue impresionante. En la primera fotografía de 1957 se podía ver un grupo de pescadores posando satisfechos con varias piezas que alcanzaban el metro y medio de longitud. En otra tomada en 1958 aparecía una familia rodeada de peces del mismo tamaño. Pero al llegar a la década de 1970, las piezas ya eran claramente mucho menores. En las fotografías de la de 1980 los turistas sujetaban con sus manos peces de escasos 40

centímetros, y en las de hace unos pocos años ya ni se molestaban en aparecer junto a sus vulgares pescados de 20 centímetros.

La investigación demostró que en los últimos cincuenta años la sobreexplotación pesquera de esa área del golfo de México había eliminado las especies grandes, cuyo valor en la cadena trófica es vital. Ahora, si los turistas dejaran de pescar podrían pasar dos cosas: que con el tiempo el ecosistema se restableciera, o que ya estuviera tan dañado que nunca volviera a recuperar las especies que en él habitaban.

Si pensáis que no es tan alarmante, posiblemente será porque en realidad no tenemos conciencia de cómo eran los fondos marinos hace un siglo. La pesca que estos turistas realizaron es el equivalente a cazar leones o grandes depredadores en la sabana africana. Pero como el interior de los océanos no se ve, parece menos grave.

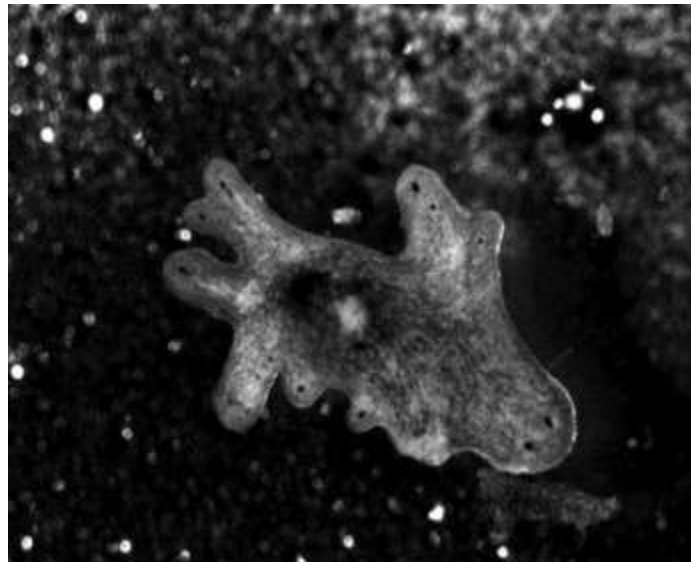
Esta falta de concienciación es el punto en que más insistió el ecólogo marino del CSIC y explorador del National Geographic Enric Sala cuando durante nuestro encuentro en la sede central de esta mítica sociedad me dijo: «Imagínate que vas a la carnicería y te dicen “Hoy tenemos carne de tigre”. ¿No te parecería aberrante? Es lo mismo que pedir atún rojo en un restaurante japonés». La denuncia de Enric es contundente: se pescan grandes depredadores en declive como el atún rojo o el pez espada porque hay gente dispuesta a pagar mucho dinero por ellos. Pero esto no tiene sentido desde el punto de vista medioambiental. Es como comer leones o tigres en lugar de vacas o pollos. Nos gusta alimentarnos de las

especies que están en lo alto de la cadena alimentaria, que además de reproducirse menos y crecer más lentamente, tienen un papel fundamental en el equilibrio de los ecosistemas. En protección de los océanos, estamos muy atrasados respecto a lo que ocurre en los sistemas terrestres. «Lo que estamos haciendo en los mares es como convertir la selva amazónica en un campo de golf», dice Enric, asegurando que en los últimos cien años en el Mediterráneo han desaparecido el 99 por ciento de los tiburones, y a escala mundial se han colapsado el 30 por ciento de las pesquerías en las últimas cinco décadas. En el fondo, la razón es que nos falta esa conciencia y legislación que sí tenemos sobre los animales terrestres. Si actuáramos como un depredador más, comiendo pescado pequeño como sardinas o calamares, no sería un problema grave en absoluto, pero nos obsesionamos con cazar las especies más frágiles y cuya desaparición desequilibra más a los ecosistemas. Es uno de los sinsentidos que todavía tenemos pendiente resolver.

2.4. El gusano de ocho cabezas

Momento memorable. Y cuando digo memorable, me refiero justamente a eso, a que posiblemente no lo olvidaré en mi vida: ver un gusano con ocho cabezas, cada una yendo a su aire, intentando escapar del cuerpo que las mantenía unidas. Cómo. ¿No os lo creéis? Escribid «8 heads regeneration» en YouTube, y os aparecerá el vídeo que colgué el mismo día que me lo cedió en exclusiva el investigador del MIT Peter Reddien.

A ver, tampoco os hagáis grandes expectativas. Es una secuencia corta en la que se ve una masa amorfa moviéndose, más bien con pinta de ameba, y sin que en un primer momento se distingan a la perfección dichas cabezas. Pero si detenéis la imagen en el segundo 7, en ese instante observaréis ocho protuberancias repartidas por el cuerpo. Son cabezas, y los puntos negros que veréis en ellas, ocho pares de ojos. Los dos más grandes y nítidos, a la derecha de la imagen, son los de la cabeza original, la única que tenía el animal antes de que los investigadores le inhibieran un gen, le hicieran diversos cortes en su cuerpo, y contemplaran cómo iban apareciendo cabezas.



¿Qué investigadores se distraen con eso? Biólogos del Whitehead Institute como Danielle Wenemoser, que durante una cena de amigos y tras mi típica pregunta «¿A qué te dedicas?» se le ocurrió decirme que investigaba regeneración celular con unos gusanos llamados planarias, y acababan de grabar uno con ocho cabezas, el caso visualmente más espectacular que se había conseguido hasta

el momento. A los pocos días estaba en su laboratorio, pidiéndole a su jefe que nos cediera el vídeo y explicara qué sacaban en claro cortando cabecitas de gusanos milimétricos. Ahí va la explicación, pero no dejéis de ver el vídeo. No encontraréis nada mejor en YouTube.

¿Qué es una planaria?

Las planarias son gusanos con una capacidad de regeneración espectacular. Si le cortas una pata a una salamandra, le crecerá una nueva. Si te quitan la mitad del hígado, volverá a crecer. Algunos peces regeneran aletas e incluso parte de la espina dorsal. Pero esto no es nada comparado con lo que hacen las sorprendentes planarias, animales cuya capacidad regenerativa extrema lleva estudiándose más de cien años: si las partes por la mitad, en uno de los trozos crecerá una cabeza y en el otro una cola. Si cortas la cabeza entre los ojos, al poco tiempo tendrás un gusano con dos cabezas completas e independientes. Le quitas un fragmento 300 veces más pequeño que el total del cuerpo, y es capaz de regenerar un individuo entero. De verdad, es más espectacular de lo que parece, ese fragmento diminuto que acabas de extraer no tiene ni «bocano» (las planarias comen y excretan residuos por el mismo orificio situado en medio de su cuerpo), ni cerebro, ni casi nada. ¿Cómo crece entonces? ¿Cómo se alimenta mientras todavía no tiene boca, ni sistema digestivo? Resulta que no sólo aparecen nuevas células, sino que algunas de las preexistentes en ese

trocito ínfimo que equivaldría a sacarte un pedazo de la pierna se transformarán en estructuras básicas del organismo. Además, es que no se trata de un simple crecimiento, sino de una verdadera regeneración en sentido inverso al desarrollo normal. No es que te corten un brazo y crezca uno nuevo, es que ¡a partir del brazo sale un individuo completo!

Pero ¿cómo lo consiguen? y ¿cómo sabe el trozo de gusano dónde tiene que crecer una cola o una cabeza? Eso es lo que está estudiando el laboratorio de Peter Reddien. Las planarias son un modelo animal ideal para estudiar las células madre; qué mecanismos hay involucrados en su diferenciación, qué señales están relacionadas en el desarrollo de nuevas estructuras, qué diferencia una célula de planaria y una humana, y cómo podríamos llegar a inducir cierta regeneración. Peter Reddien es de los científicos honestos que no te vende aplicaciones espectaculares en un futuro cercano. Asegura que todavía estamos en la fase de investigación básica para comprender los factores genéticos y moleculares relacionados en estos procesos. Le pregunto si ve viable el siguiente escenario: «Imagínate que dentro de un tiempo entendáis perfectamente los mecanismos involucrados en la regeneración de la pata de una salamandra y, al compararlos con un ratón, comprobéis qué es lo que tiene inhibido. ¿Te imaginas poder activar genes, o inducir señales moleculares que despierten la capacidad de regeneración que un ratón tenía silenciada, y conseguir que le crezca de nuevo una pierna amputada?». Me

mira con cara de «a tanto no llegaremos», pero admite que en el fondo ésa es la idea básica: «Entender qué ocurre a nivel molecular, compararlo con animales que no se regeneran, y ver si podemos inducir algún tipo de regeneración celular».

¿Cómo hacer un gusano con múltiples cabezas?

Peter Reddien es reconocido por aplicar las técnicas de RNAi (ARN de interferencia) al estudio de planarias. Lo que hacen es bloquear con fragmentos de ARN genes específicos de un animal, y ver qué ocurre. Si al animal sólo le aparece un ojo (me lo invento), es que el gen silenciado estaba relacionado con el desarrollo de los ojos. Con esta metodología han dado respuesta a una de las preguntas más antiguas de los investigadores en planarias: cuando cortas la cabeza y la cola de un gusano a la vez, el fragmento que queda, ¿cómo sabe que de un extremo tiene que salir una cabeza y del otro una cola? Un investigador de su laboratorio, Chris Petersen, demostró que el gen *Smed-catenin-1* controlaba la polaridad en esta regeneración. De hecho, cuando silenciaban este gen y cortaban la parte posterior de la planaria, le salía otra cabeza en lugar de una cola. Y cuando sobre expresaban ese mismo gen, generaban un gusano con dos colas y ninguna cabeza.

De esta misma manera consiguieron los ejemplares del vídeo: inhibieron el gen *Smed-catenin-1*, realizaron varios cortes a los gusanos originales, y de las incisiones iban apareciendo cabezas. De nuevo, el objetivo final era encontrar diferencias

entre una célula de planaria y una humana. Y no hay tantas. Se calcula que este «ridículo» gusano tiene 20.000 genes, y nosotros unos 25.000. A nivel celular, compartimos una larga historia biológica en común y no somos tan diferentes como nuestra apariencia externa puede sugerir.

2.5. Del amor al odio en un solo parásito

Paseando con actitud de explorador científico por la sesión de pósters de un congreso de neurociencia, se cerró un ciclo casi tan inverosímil como las vidas de las criaturas que inventaron el control mental: los fascinantes parásitos.

Hay un parásito que cuando invade el cerebro de unas hormigas las induce a subir a lo alto de la hierba para permitir que una vaca se las coma. Este parásito sólo puede madurar en el hígado del rumiante, luego viaja a su intestino para reproducirse, y allí libera huevos por las heces. Estos huevos generan larvas que de alguna manera deben regresar al hígado de la vaca. Lo consiguen infectando hormigas, manipulando su comportamiento, y utilizándolas como vector que les permite completar el ciclo.

Pobres hormigas; cuando otro hongo parásito determinado las infecta, también empiezan a trepar por las hojas de la hierba para que cuando el hongo emerja de su cabeza pueda explotar y expulsar las esporas desde más alto.

Más curioso todavía: cuando el parásito *Sacculina granifera* coloniza el cuerpo de un cangrejo macho, secreta unas hormonas feminizantes que le hacen comportarse como si fuera una hembra.

El cangrejo se dirige hacia la arena, hace un agujero, y adopta la posición de expulsar larvas; pero salen las del parásito, claro.

También hay un crustáceo llamado *Gammarus lacustris* que se alimenta en las orillas de los ríos, y suele escapar rápidamente si aparece un pato. En cambio, cuando está infectado de una larva que sólo se reproduce en el cuerpo de las aves, hace todo lo contrario: sale del agua y se deja devorar por los patos. El parásito se ha adueñado de su mente y llega a dirigir su comportamiento.

Algo parecido ocurre con el parásito por el que se advierte a las embarazadas que no estén en contacto con los gatos: la mayoría de nosotros, y con total seguridad los que hayáis convivido con gatos, tenéis el *Toxoplasma gondii* enquistado en algunas de vuestras células. No os preocupéis, no es peligroso. Sólo causa problemas cuando el sistema inmunológico se deprime por enfermedades como el sida, o no está todavía desarrollado como en los fetos. Por ese motivo a las embarazadas les recomiendan alejarse de los gatos, porque son el único animal en cuyos intestinos se reproduce el *Toxoplasma*.

Eso lo saben los médicos, pero no los ratones. Cuando este parásito infecta a un ratón, viaja a su cerebro, de alguna manera afecta a su comportamiento, y hace que pierda el miedo a los gatos. Por increíble que parezca, esto se demostró con un experimento muy sencillo en la Universidad de Oxford: el científico Manuel Berdoy construyó una especie de gran jaula-jeroglífico con diferentes caminos y estancias, y puso orina de gato en un rincón. Cuando colocó ratones normales en la jaula, éstos evitaban a toda costa

acercarse a ese lugar. En cambio, al poner roedores infectados pasaban por allí sin ningún inconveniente. Habían perdido el miedo a los gatos.

Este experimento, que leí en un artículo de *Scientific American* hace años, fue el que despertó mi profundo interés por los parásitos, e hizo que continuara rascando en esta evidencia de que la belleza está en los ojos del espectador. El artículo era obra del neurocientífico de Stanford Robert Sapolsky, quien explicaba que en 2002 estaba paseando por la sesión de pósters del congreso anual de la Sociedad de Neurociencia estadounidense, se topó con la investigación de Berdoy y le pareció lo más intrigante que había leído en mucho tiempo. Causalidades de la vida, en noviembre de 2008 yo estaba paseando por la sesión de pósters de ese mismo congreso, y me topé con un trabajo que hablaba del mecanismo fisiológico por el cual el *Toxoplasma* modificaba el comportamiento de los ratones. Miré quiénes eran los autores del póster, y leí: «Sapolsky, R.» ¡Uau! Abordé de inmediato al joven investigador que estaba plantado enfrente del póster, preguntándole si existía alguna relación con el artículo que yo había leído cinco años antes. Patrick House respondió sin vacilar: « ¡Claro! Robert llegó impactado. Él trabaja en neurofisiología del estrés, y nos dijo que debíamos entender a toda costa qué hacía el *Toxoplasma* en el cerebro de los ratones». Cinco años después, parece que se cerraba el ciclo. Patrick me explicó que el *Toxoplasma* afecta a la segregación de una hormona relacionada con el estrés llamada corticosterona. Cuando exponían ratones sanos a orín de gato, sus niveles de corticosterona

aumentaban, generando una reacción de estrés y de miedo. Sin embargo, en los ratones parasitados no se apreciaba ningún cambio. Además, habían observado una mayor actividad cerebral en las áreas relacionadas con la atracción, una respuesta equivalente a cuando se les presentaba olor de ratón hembra. Según Patrick House, la atracción y el miedo podrían estar mucho más relacionados fisiológicamente de lo que podemos pensar. Cuando le pregunté si el *Toxoplasma* podía tener algún efecto en los humanos, me respondió que ciertos estudios relacionaban este parásito con la esquizofrenia, las conductas arriesgadas, el incremento de testosterona en los hombres, y la promiscuidad en las mujeres, pero matizó que se trataba de investigaciones con muestras muy pequeñas. Actualmente, su equipo está analizando el genoma del *Toxoplasma*, ya que posee genes que codifican moléculas análogas de neurotransmisores. Este hecho podría explicar su capacidad de manipular la mente de los ratones.

Alucinantes los maravillosos parásitos. En la antigua Grecia los *Parasitos* (*para*:- «al lado de»; *sitos*: «comida») eran las personas encargadas de custodiar las despensas de comida y servirla en los banquetes. Precisamente delgados no estaban y, con el tiempo, el término pasó a aplicarse a cualquier individuo que conseguía alimentarse a costa de otros. Fue bastantes siglos más tarde cuando la biología incorporó esta palabra a su terminología científica para definir a los seres que necesitan vivir dentro o sobre otros animales o plantas para aprovecharse directamente de ellos.

Los parásitos son las criaturas más fascinantes que existen. Hay un crustáceo parásito que cuando invade cierto tipo de peces, primero se come sus lenguas y después se engancha a sus agallas para ir creciendo hasta convertirse en una nueva y más dura lengua. El pez la utilizará igualmente para triturar su comida, pero parte de la presa se la quedará el crustáceo. El sapo *Scaphiopus couchi* pasa once meses al año durmiendo enterrado bajo las arenas del desierto de Arizona, acompañado de un pequeño gusano que le va chupando sangre desde su vejiga y poniendo huevos. Cuando llegan las noches lluviosas de julio y agosto, el sapo despierta para reproducirse y comer termitas, momento que aprovecha el parásito para expulsar las larvas en busca de nuevos hospedadores con los que repetir el ciclo. Si algún día te pica la famosa mosca tsé-tsé, quizá te transmita algún parásito africano del género *Trypanosoma*, que empezaría a robar oxígeno y glucosa de tus células, se multiplicaría, se las apañaría para hacer un quiebro a tu sistema inmunológico y llegaría a tu cerebro, donde descontrolaría tu reloj biológico transformando la noche en día y provocando la peligrosa enfermedad del sueño.

Hay más especies parasitarias que de vida libre, hay parásitos multicelulares que viven dentro de una única célula, hay parásitos que se reproducen solos y otros que viven en cópula permanentemente, e incluso hay parásitos que infectan a otros parásitos. La diversidad de formas y ciclos de vida de los parásitos es espectacular. De acuerdo, ojalá estuviera erradicado el dichoso protozoo microscópico *Plasmodium*, que causa un millón y medio de

muertes al año por malaria. Tampoco hace ninguna gracia que la mayoría de los niños en el Tercer Mundo compartan su comida con gusanos instalados en sus intestinos como el *Ascaris lumbricoides*. Y a nadie le parecen atractivos los piojos o amebas que causan diarreas en viajeros. Pero si nos alienamos de los problemas sanitarios que provocan, los parásitos nos abrirán las puertas a un mundo mucho más aberrante, misterioso y fascinante de lo que podamos llegar a imaginar.

2.6. Origen de la pre-vida

Para encuentros fortuitos, el de los estudiantes que encontraron los viales de uno de los experimentos más famosos de la historia, que llevaban cincuenta años extraviados.

En 1953 el químico Stanley Mür diseñó un sistema de tubos y matraces de vidrio, en los que intentó recrear las condiciones de la Tierra hace 4.000 millones de años, para ver si aparecía «algo» cercano a la vida. Mezcló agua con metano, amoníaco e hidrógeno (los gases que supuestamente contenía la atmósfera primigenia), y aplicó descargas eléctricas para simular la gran cantidad de rayos que caían entonces sobre la superficie del planeta. A las pocas horas el matraz ya contenía diferentes tipos de aminoácidos, las moléculas que constituyen las proteínas. El hallazgo fue impactante, porque reflejaba la tremenda facilidad con que se podían formar moléculas orgánicas complejas a partir de otras mucho más sencillas, y daba una gran esperanza a la comprensión científica del origen de la vida en la Tierra. El experimento reforzaba

la hipótesis de que todo empezó en una sopa prebiótica; una especie de balsas en las laderas de los volcanes donde poco a poco se iban formando moléculas, recombinándose, y aumentando el grado de complejidad hasta generar algo capaz de metabolizar energía del exterior, mantener una estructura estable y hacer copias de sí mismo.

En la actualidad, esa idea de caldo primigenio en pequeños lagos superficiales está siendo reemplazada por lugares como el interior de la Tierra o los fondos oceánicos, más propensos a mantener una actividad química que pudiera dar lugar a las primeras estructuras celulares. Además, los geólogos saben que la composición atmosférica en los albores de la Tierra era muy diferente a la que utilizó Miller en su experimento. El experimento de Miller continúa siendo un referente para todos los investigadores en el campo de la química prebiótica por su enorme valor conceptual, pero como pista válida para perseguir las primeras etapas del verdadero origen de la vida perdió toda su vigencia. De hecho, estaba olvidado, hasta que tras la muerte de Stanley Müer en mayo de 2007 uno de sus últimos colaboradores encontró una caja en su viejo laboratorio llena de botecitos etiquetados como «Experimentos de 1953-1954». Contrastando con las libretas originales de Miller, Jeffrey Bada comprobó que esos viales contenían muestras del famoso experimento, pero también de otras dos versiones desconocidas que Miller había realizado alterando ligeramente las condiciones iniciales. En una de esas versiones, Miller había inyectado vapor de agua directamente en el lugar donde mezclaba gases con descargas

eléctricas. En la década de 1950 eso no tenía demasiada importancia, pero ahora recobraba interés porque sabemos que las erupciones volcánicas de la Tierra primigenia sí podían emitir gases como los que Miller había utilizado y formar nubes a su alrededor, cuya composición sí estaría acorde con las condiciones de su experimento. Miller había analizado dichas muestras, pero no con los espectrómetros tan sensibles que existen actualmente. El verano pasado Jeffrey Bada y otro científico llamado Adam Johnson volvieron a analizar las muestras y descubrieron hasta 22 aminoácidos en la versión ignorada por Miller, el doble de los que él había anunciado anteriormente. Además, 20 de los aminoácidos coincidían con los que constituyen las proteínas de los seres vivos. Es decir, el experimento publicado por Miller había perdido validez porque las condiciones que utilizó no eran fieles a la atmósfera primitiva, pero sin él saberlo había realizado otro que sí reproducía bien cómo podían ser las nubes cercanas a los volcanes, y además contenía muchos más aminoácidos de los que él había podido detectar.

Más allá de la anécdota, resulta curioso que estas investigaciones se enmarquen en el campo del origen de la vida, pues si algo ponen de manifiesto es lo tremendamente fácil que resulta la aparición de aminoácidos y otras moléculas orgánicas en casi cualquier condición. La Tierra debía de estar llena de ellas. El origen de la pre-vida no parece muy misterioso. El gran reto a solucionar en la comprensión científica del origen de la vida es saber cómo los primeros aminoácidos, lípidos o ácidos nucleicos llegaron a

constituir proteínas que tuvieran capacidad catalítica, o material genético que codificara información, en qué orden, y cómo pudieron llegar a ensamblarse en algo tan complejo como es una célula. Aquí es donde se encuentran las investigaciones más apasionantes.

¿Qué fue antes?, ¿el gen o la proteína?, ¿o quizá lo más fundamental fue la aparición de una membrana lipídica que facilitara una estructura, un espacio cerrado donde se combinaban tales moléculas? ¿Es más importante el metabolismo (un ciclo químico que permita el intercambio de energía) o la información (genes)? Mucho antes de la llegada del ADN, ¿hubo un mundo previo de ARN, molécula que también puede codificar información y al mismo tiempo tiene capacidad catalítica? Éstas son las grandes preguntas que se han de resolver si queremos comprender el misterio del origen de la vida. El experimento que se llevaría el gran premio sería aquél que, en lugar de meter metano, hidrógeno y amoníaco en un matraz, y comprobar que se forman aminoácidos o nucleótidos, pusiera nucleótidos, lípidos, aminoácidos, y saliera una proteína catalizando reacciones orgánicas dentro de una protocélula. Eso sí que sería espectacular. ¡Pero no tan descabellado!, porque por sorprendente que parezca, la vida en la Tierra se originó muy pronto tras la formación del planeta. Incluso, según algunos científicos, la generación de vida no es un proceso tan complicado. Todavía recuerdo un seminario en nuestro Fellowship del MIT del biólogo evolutivo Charles Marshall, cuando nos dijo algo parecido a «la formación de las primeras bacterias no es el paso más insólito de la evolución. A los pocos millones de años

ya había seres unicelulares sobre la Tierra, probablemente la vida apareció y desapareció varias veces hasta que cierto tipo prosperó. Y seguro que hay formas de vida simples en otros planetas. En cambio, costó 2.000 millones de años que esos microorganismos se agruparan formando seres pluricelulares. Ése es el paso verdaderamente más relevante, inesperado, y quizá único». Es decir, el origen de la primera célula viva continuará siendo un misterio, porque es algo tan relativamente fácil que nunca sabremos cuál de las múltiples opciones fue la real. Ampliemos nuestra curiosidad; hay saltos en la evolución mucho más peliagudos que el propio origen de la vida.

2.7. Los extremos de la vida en Yellowstone

Otra manera que tienen los científicos de investigar el origen y posibles características de las primeras células bacterianas es ir a los lugares de la Tierra cuyos ambientes extremos podrían coincidir con algunas etapas de la formación del planeta. Hay microbiólogos cazando organismos extremófilos (seres que viven en ambientes con condiciones físicas o geoquímicas verdaderamente extremas) por todo el mundo. En Huelva se estudian los adaptados a las aguas ácidas y cargadas de metales pesados del río Tinto, mientras que en otros rincones del planeta se investigan microorganismos que no crecen si no es a un pH tremendamente básico, o resistiendo radiaciones ionizantes que a nosotros nos destruirían, o a 80 °C bajo cero, o en fuentes hidrotermales superando los 110 °C. Si

viajas con tiempo a Estados Unidos, no debes perderte los extremófilos del maravilloso parque de Yellowstone.

De verdad, si tienes la oportunidad de recorrer las montañas y lagos de Yellowstone, te quedarás prendado de su belleza paisajística, su diversidad orográfica, sus colores, y su vida salvaje. En un solo día afortunado puedes ver osos, zorros, coyotes, ciervos, castores, marmotas, alces, y quizá encontrarte de golpe una manada de bisontes paseando al lado de la carretera. Pero no te quedes sólo con esta belleza visual y macroscópica; la puedes multiplicar si le añades un mínimo interés científico por la microbiología y la geología.

Yellowstone es un volcán. Todo lo que verás en ese parque nacional fundado en 1872 (el primero de la historia) es fruto de la erupción de un volcán cuya caldera mide 65 kilómetros de diámetro. De hecho, se trata de un volcán atípico, pues no se encuentra entre placas tectónicas sino encima de una enorme bolsa de magma (*hotspot*) que todavía lo mantiene activo. Prueba de ello es que cuenta con la mayor concentración del mundo de géiseres, fuentes termales y unas calderas de barro burbujeante llamadas *mudpots*. Para los centenares de científicos que realizan estudios en el parque, éste es uno de los lugares geológicamente más dinámicos de la Tierra.

En medio de la entrevista, la vulcanóloga Cheryl Jaworowski cogió una roca y me pidió que saliéramos del edificio. Se situó en un punto determinado y me dijo: «Esta banda grisácea más intensa en la piedra son restos de la tercera gran erupción en Yellowstone.

Ocurrió hace 640.000 años y fue la responsable de la forma actual del parque. La línea de rocas que ves en la cima del monte a mi espalda son restos de la erupción de hace 2,1 millones de años. Fue la primera en Yellowstone y una de las más grandes que nunca ha ocurrido en la Tierra. Si te giras 90 grados, puedes observar rocas de hace 100 millones de años, del Cretáceo. Las tenemos a la vista gracias a que la actividad volcánica las trajo a la superficie. Giras 90 grados más y ves el pico Bunsen. Esa montaña está formada con las entrañas de un volcán diferente, hace 50 millones de años. Enfrente del pico, esa colina se originó por el deshielo de un glaciar hace 40.000 años. Y si vuelves a girar 90 grados, ahí puedes distinguir las fuentes termales causadas por la actividad actual del volcán. Si quieres podemos discutir nuestras investigaciones y detalles más abstractos sobre la historia geológica de Yellowstone y las teorías acerca del *hotspot*. Pero, a veces, simplemente poder apreciar lo que tenemos a nuestro alrededor ya resulta fascinante». No podía estar más de acuerdo.

Subes una colina y descubres una descomunal balsa humeante de colores intensos que te deja boquiabierto. Es precioso, pero entender su formación y el origen de sus colores añade una nueva capa de esplendor al espectáculo visual: el agua del deshielo o la lluvia se filtra por el subsuelo del parque, si bien a cierta profundidad se encuentra con el magma subterráneo del volcán y empieza a calentarse. Entonces busca caminos por los que regresar a la superficie. Si encuentra una grieta relativamente despejada, forma unas fuentes termales llamadas *hot-springs*, por las que el

agua cargada de minerales emana a temperaturas superiores a 70 °C. Esas condiciones resultan ideales para ciertos microorganismos termófilos encantados de vivir en un entorno tan extremo. Los tonos amarillos, anaranjados y marrones que rodean la fuente termal son colonias de bacterias de gran interés científico. Algunas como las cianobacterias son parecidas a los primeros organismos fotosintéticos que oxigenaron la Tierra hace más de 2.000 millones de años, y otras como el *Termophilus aquaticus* descubierto en Yellowstone revolucionó la biología molecular cuando se empezó a utilizar para amplificar fragmentos de ADN con una técnica llamada PCR.

Pero otro tipo de formación que te puedes encontrar son los *mudpots*, emanaciones formadas por un barro espeso tan ácido que derretiría tu carne si lo tocaras. Para los científicos fue una inverosímil sorpresa descubrir que un pH de 1,5 podía albergar alguna forma de vida. Pero, sobre todo, constatar que bacterias y arqueas (los organismos más extremófilos que existen) eran las responsables de dicha acidez: el volcán emite sulfuro de hidrógeno por los *mudpots*. Allí, ciertos microorganismos utilizan este gas como fuente de energía y lo transforman en ácido sulfúrico, que derrite la roca y crea ese aspecto fangoso. Lástima que ni por escrito ni por internet se pueda transmitir el intenso olor que se respiraba en la zona.

Sí que se podría haber grabado el rugido de los géiseres antes de explotar. En algunas ocasiones el agua caliente se acumula en balsas subterráneas. Si además la vía de escape es muy estrecha,

cuando la presión pasa de cierto valor se libera de golpe, creando un géiser. Es espectacular. En Yellowstone está el géiser más alto del mundo, que explota cada hora y que puede alcanzar los 50 metros de altura. Pero si os soy sincero, me impresionó más las capas de microorganismos a su alrededor. Para algunos científicos son una ventana al pasado más remoto de la Tierra. Además, forman unas comunidades llamadas tapetes microbianos, que constituyen un verdadero micro ecosistema. Una capa de bacterias superficial utiliza la luz para hacer fotosíntesis, por debajo otra capa vive sin oxígeno y se alimenta de los subproductos que los primeros generan Y así a diferentes niveles de profundidad. Viajar y conocer mundo es fabuloso; si además vas equipado con las gafas de la curiosidad científica, la satisfacción resulta ya desbordante.

§3. Reflexiones inesperadas

3.1. ¿Tienes espíritu de perro o de lobo?

La política del Parque Nacional de Yellowstone respecto a los lobos a principios del siglo XX era clara: matarlos a todos. Eran un incordio para los ganaderos y una supuesta amenaza para la población. Fueron definitivamente exterminados a mediados de la década de 1930, tal cual. Más tarde, cuando el lobo fue catalogado como especie amenazada de extinción, surgió entre las autoridades estadounidenses la idea de repoblar Yellowstone. Bajo la supervisión de Douglas Smith, uno de los principales biólogos de lobos que existen, en 1995 se reintrodujeron en el parque 31

ejemplares originales de Canadá. Ahora constituyen una población estable y completamente recuperada de casi 200 individuos.

Douglas Smith ha estado siguiéndolos y estudiándolos durante todo este tiempo. «Lo mío no es un trabajo, sino un estilo de vida. Estudiar lobos es una fascinación científica y personal», me dijo durante nuestro encuentro en el parque. A pesar del aspecto feroz y encarnizado de los lobos, Dough aseguró que lo más sorprendente es cómo cuidan y educan a las crías. «Son los mejores padres que existen, mejores que yo mismo. Y tienen un sistema de enseñanza muy sofisticado». Cuando le pregunté por los motivos últimos tras la preservación de los lobos en Yellowstone habló de ética: «No tenemos ningún derecho a ser la especie dominante y eliminar lo que nos moleste», y de su valor en el ecosistema: «Yellowstone ahora tiene una fauna más equilibrada. Los alces eran la especie dominante con diferencia. Con la introducción de los lobos, su número se ha reducido, y esto ha permitido la proliferación de otros animales. Ahora el entorno es más rico y diverso».

Pasar la mañana con Douglas Smith hablando de lobos fue un rascar donde no pica interesantísimo, pero verlos por la tarde acompañando al ranger Rick McIntyre durante su exploración diaria, una experiencia memorable. Rick llevaba treinta y cinco años siguiendo lobos, primero en Alaska y luego en Yellowstone. Lo que más le impacta es también la combinación entre extrema amistad dentro del grupo, y la ferocidad con los invasores. «Son como un equipo de fútbol —dice—. Forman grupos muy bien cohesionados. Se cuidan muchísimo entre ellos, cooperan con fines comunes... y

defienden su territorio con una agresividad brutal contra otros grupos. Su mayor causa de mortalidad es por ataques propios». Rick todavía se siente perplejo con la conducta social tan elaborada que tienen «Esta misma mañana una manada aceptó a un individuo que venía de un clan diferente. Pero ese mismo grupo había matado a un intruso dos meses antes. Queremos entender por qué aceptan a algunos foráneos y matan a otros». Rick observa muchas similitudes entre el comportamiento de los lobos y los humanos. Pero, sobre todo, cuenta historias.

Historia N° 1: La ternura de Wolf-21

«El lobo más famoso que tuvimos en Yellowstone se llamaba Wolf-21. Era un macho alfa enorme, el lobo más fuerte del parque. Era un cazador excelente, y podía luchar contra varios lobos a la vez. Un día, él solo derrotó a cinco lobos que intentaban invadir su territorio. Pero cuando estaba con su familia y luchaba con sus hijos u otros machos del grupo, fingía que lo derrotaban. Se dejaba ganar como forma de aprendizaje y cohesión social. Era tan poderoso que no necesitaba imponer su respeto».

Historia N° 2: Rebelión en la granja

«Por otra parte, varios años atrás teníamos a una hembra alfa muy agresiva con el resto de las hembras del grupo. Era extremada e innecesariamente agresiva, incluso con su madre y sus hermanas. Pensamos que era porque llegó a ser una

hembra alfa muy joven, y sentía cierta inseguridad en su posición, pero quién sabe. El hecho es que al ser una hembra alfa las otras se mantenían sumisas y no se rebelaban contra sus injustificados ataques. Hasta un día en que su hermana se atrevió a enfrentarse a ella. Entonces sucedió algo inusitado. De repente, todas las otras hembras, que nunca habían mostrado ningún rechazo, se unieron al ataque y la mataron. Fue una reacción contra el poder injusto, una verdadera revolución».

Historia N° 3: ¿Eres perro o lobo?

Un lobo estaba pasando por malos momentos. Era invierno y hacía frío, humedad, y no había comido en bastante tiempo. Un día especialmente duro se cruzó con un perro gordito, satisfecho, y la mar de feliz, y empezaron a hablar. El lobo le preguntó cómo era que le iba tan bien, y el perro le explicó que su amo le alimentaba cada día, le llevaba al veterinario, le daba cobijo... era una vida muy confortable, «¡Deberías encontrar un amo que te cuide!», recomendó el perro al lobo. «Oye, pues sí parece buena idea. Lo voy a hacer», contestó el deteriorado lobo. Pero entonces vio algo alrededor del cuello del perro y le preguntó: « ¿Qué es eso?». «Es mi collar, donde mi amo engancha la cadena y me dirige por donde quiere. Forma parte del trato». El lobo no dudó ni un instante: «Quédate con tu amo. ¡Mi espíritu es libre! No quiero saber nada más». Y se marchó.

¿Os sentís más perros o lobos? Un apunte antes de contestar: Dough Smith explicaba orgulloso que la esperanza de vida de un lobo en Yellowstone es considerablemente alta: cuatro años. Uno de cada cinco lobos no supera el durísimo invierno en Montana, o las encarnizadas luchas entre grupos. Pero sí son libres.

3.2. No hay momento malo para hacer algo bueno

La historia que a continuación os cuento concluye con una de las reflexiones que más me ha impactado en los últimos años, y que revivo cada vez que oigo la palabra crisis, contención de gastos, y estancamiento de proyectos «no prioritarios».

El radiólogo argelino Elias Zerhouni llegó a Estados Unidos a los veinticuatro años para incorporarse a la Facultad de Medicina de la Universidad Johns Hopkins. Su carrera ascendente le llevó a ser vicerrector de dicha universidad y miembro de diversos comités científicos estadounidenses, hasta que en 2002 George W. Bush le nombró director de los Institutos Nacionales de la Salud (NIH), la institución del gobierno de Estados Unidos encargada de gestionar los más de 30.000 millones de dólares que se dedican a la investigación científica en biomedicina.

Uno de los primeros proyectos que planteó Elias Zerhouni al poco tiempo de llegar a los NIH fue el Roadmap, una ambiciosa e innovadora iniciativa que pretendía crear herramientas para modernizar el sistema de investigación básica, acelerar su transición hacia terapias para pacientes, financiar proyectos pioneros, y estimular la creación de nuevos modelos de grupos de

trabajo y formas de investigación. En definitiva, se trataba de rediseñar ciertos aspectos de la investigación clínica y adaptarlos a los recientes cambios de la biomedicina. Parecía un gran plan, pero encontró cierta resistencia.

Los temores llegaban por el desequilibrio que podían provocar los altibajos presupuestarios de los NIH: durante la época de Bill Clinton se aprobó un plan para doblar el presupuesto de los NIH entre 1997 y 2003. Este empuje económico hizo que se crearan nuevos grupos de investigación, se contratara más personal, se empezaran a financiar nuevos proyectos, una estructura que con la llegada del presidente Bush, la guerra de Irak y los recortes presupuestarios, iba a ser difícil de mantener. En esos momentos todo indicaba (y así ocurrió) que a partir de 2003 el presupuesto de los NIH iba a ser plano: tras haberse duplicado durante un período de seis años, no se esperaba crecimiento en los siguientes. Por eso cuando Elias Zerhouni planteó su ambicioso Roadmap, a pesar de que todo el mundo lo consideró una excelente iniciativa, algunos le dijeron que no era el momento adecuado. No hizo caso y se salió con la suya, convirtiendo la implantación del Roadmap en el mayor logro conseguido durante su mandato.

En septiembre de 2008 el doctor Zerhouni anunció que iba a dejar la dirección de los NIH, en la típica renuncia previa a las elecciones de los cargos nombrados directamente por el presidente. Como trabajador de los NIH que era en esos momentos, tuve la oportunidad de asistir a la fiesta de despedida en su honor que se celebró el 30 de octubre de ese año. En ella, un conferenciante

rememoró el planteamiento simple pero incontestable con el que Elias Zerhouni había convencido a todos los que albergaban dudas sobre el Roadmap. Se ve que en medio de una de las reuniones más importantes espetó la frase: «There is no wrong time to do the right thing» («No hay momento malo para hacer algo bueno»).

«No hay momento malo para hacer algo bueno». «No hay momento malo para hacer algo bueno», una máxima solemne y aplicable en un sentido tan amplio, incluso en el ámbito personal, que merece la pena transmitirla intacta para la libre reflexión.

3.3. ¿Cómo vamos a parar? ¡Es excitante!

Estábamos David y yo un domingo de enero de 2009 en la terraza del bar Marvin's, intercambiamos miradas con un grupo de tres chicas, y decidimos no tardar en acercarnos más de esos dos minutos superados los cuales ya has perdido el efecto sorpresa y no tienes nada que hacer. En Estados Unidos, tras los saludos de rigor, y como si esto fuera lo que te define como persona, la segunda pregunta después de cuál es tu nombre siempre suele ser a qué te dedicas. Y yo, convencido de la capacidad de la ciencia para despertar todo tipo de interés, respondí que me dedicaba a escribir historias con trasfondo científico. Entonces una de las tres chicas dijo: «Pues deberías conocer a mi abuelo». « ¿Quién es tu abuelo?». «Dicen que es la persona que más merece el Nobel de los que no lo tienen». La frase sonaba prometedora, pero la que me hizo olvidar de repente la motivación inicial del encuentro fue: «Tiene noventa y seis años, y todavía acude a diario a su laboratorio de Harvard. La

investigación y la biología son la pasión de su vida». Lo primero es lo primero. Luego haría caso a su amiga Erin, que me miraba de reojo, pero libretita y boli en mano empecé a preguntar y tomar datos sobre qué hacía y cómo contactar con ese personaje que, en palabras de su nieta, había descubierto «algo» muy importante sobre el ADN.



Aprovechando un viaje a Boston, a las dos semanas estaba sentado frente a Paul Zamecnik en su despacho del Massachusetts General Hospital, y ya había averiguado que era uno de los biólogos moleculares más reconocidos del siglo XX por haber sido el codescubridor del ARN de transferencia a finales de la década de 1950 y haber propuesto en la de 1970 algo llamado terapia anti sentido: si sabes que hay un gen defectuoso, puedes inactivarlo diseñando una molécula de ARN que se enganche específicamente al ARN mensajero producido por dicho gen, y bloquearlo.

Inicialmente su idea fue acogida con escepticismo, pero en la actualidad ya hay varios fármacos inspirados en este concepto.

Pero al tener frente a mí a un investigador que ya había cumplido los cuarenta cuando Watson y Crick descubrieron la estructura del ADN, mi interés inicial se dirigía a preguntarle cómo vivió él esa revolución. Entonces se levantó, cogió el clásico libro *The Eighth Day of Creation* sobre la historia de la biología molecular en las trepidantes décadas de 1960 y 1970, y me hizo leer un párrafo en el que él mismo relataba su encuentro con James Watson en verano de 1954: «Miré la joven cara del doctor Watson por encima de su jersey blanco irlandés, después a su modelo de ADN de doble cadena, y le pregunté cómo las instrucciones del ADN se transformaban en una secuencia de proteínas. ¿Se copiaban directamente como si fuera una plantilla?, ¿o servía para generar un ARN? Lo segundo parecía probable, pero no teníamos ninguna respuesta. ¿Cómo se desenrollaba esta complicada doble hélice? Watson sonrió mostrando inseguridad. Existía un abismo entre el ADN y la síntesis de proteínas».

Recalcó que justo ése era el gran misterio de la época, y fue su propia obsesión científica, que pocos años después contribuiría a cerrar con el descubrimiento de una molécula llamada ARN de transferencia (ARNt), cuya misión es transportar los aminoácidos a los ribosomas, los orgánulos celulares donde se fabrican las proteínas.

Estábamos hablando de ello cuando alguien llamó a la puerta y entregó a Zamecnik una caja de unos 20 x 30 centímetros. Paul

Zamecnik leyó la etiqueta, y de repente exclamó: « ¡Ya han llegado!». Se giró hacia mí sonriente e ilusionado y me dijo: «Estas células son muy especiales, son células humanas de un paciente con fibrosis quística y cáncer de páncreas. ¿Sabes? De los 3.000 millones de pares de bases que tiene el genoma humano, a estas células les falta un fragmento de TTT en un gen específico. Esa mutación es la que causa el 75 por ciento de los casos de fibrosis quística. Estamos viendo si podemos repararla utilizando un ARN mensajero que inserte UUU en la cadena complementaria, y luego las sustituya por CCC con unas enzimas especiales. ¡Es un trabajo precioso!».

Me dejó impresionado. Con el tono más respetuoso que pude expresar, le pregunté qué le motivaba a seguir investigando con tal pasión a su avanzada edad. Me miró como si hubiera preguntado algo muy extraño, como si la respuesta fuera del todo obvia, y contestó entrecortado: «Bueno, es muy estimulante. Nosotros creemos que puede haber una relación entre la fibrosis quística y el cáncer de páncreas, y que quizá haya un virus implicado, nadie más está haciendo esto. Es como un misterio, y solucionarlo podría ayudar a mucha gente. Además, este campo de la biología molecular avanza a un ritmo tan frenético que siempre te mantiene expectante. Todavía recuerdo, hace ya muchos años, cuando conseguimos insertar un pedacito de gen humano en una bacteria, y más tarde en el núcleo de una célula animal. En esos momentos se acercaba la fecha de mi teórica jubilación, pero ¿¿cómo vas a parar entonces?? ¡Las posibilidades que se abrían eran excitantes!».

Qué tremendo mensaje. Paul Zamecnik falleció ocho meses después a causa de un cáncer que no logró apartarle del laboratorio hasta pocos días antes de su muerte. Escuché de nuevo la grabación de nuestra entrevista, y recogí el espíritu de sus palabras como despedida del texto que le dediqué en el blog: «Pocas cosas avanzan tan rápido a lo largo de una vida como el conocimiento científico, ¿cómo vamos a parar? ¡Es excitante!».

3.4. Algo falla...

Me entusiasman los experimentos que te hacen pensar, aquéllos que en el momento más inesperado se apoderan de tu mente y te dejan inquieto, dándole vueltas y vueltas al significado profundo de la resolución que estás tratando de asimilar. Me ocurrió en pleno segundo capítulo del libro *Caos*, cuando James Gleick utiliza un estudio sencillísimo realizado en la década de 1940 para ilustrar la tendencia que tenemos a mantener una visión «coherente» del mundo, y lo difícil que es advertir las excepciones que deberían forzar a replanteárnosla. Para mí fue revelador.

Unos psicólogos seleccionaron un grupo de voluntarios poco familiarizados con el juego del póquer y les encomendaron una tarea nada complicada: se les irían mostrando las cartas una a una, y ellos tendrían que nombrarlas en voz alta. Parecía simple, pero había un pequeño truco: algunas habían sido retocadas. Por ejemplo, la jota de diamantes era negra en lugar de roja, y un cuatro de picas tenía las picas rojas en lugar de negras. ¿Se darían cuenta los voluntarios de los errores, de que algo fallaba? Los

investigadores observaron que cuando las cartas se pasaban muy rápido, la inmensa mayoría de los participantes no apreciaban el cambio de color: ¡As de corazones! ¡Siete de tréboles! ¡Cuatro de picas! ¡Ocho de diamantes!, todo parecía normal; una tarea bastante sencilla. Si las cartas se pasaban un poco más lento, algunos voluntarios decían percibir algo extraño, pero no tenían tiempo suficiente para reflexionar e identificar dónde estaba el «error». Simplemente se quedaban un poco mosqueados. Pero cuando las cartas se mostraban muy despacio, casi todos reconocían perfectamente lo que estaba ocurriendo, y decían: « ¡Oye!, este cuatro de picas debería ser negro». Se ve que alguno perdía la orientación y confesaba no estar ya seguro de si las picas eran rojas, negras o se trataba de diamantes, pero con tiempo suficiente para reflexionar, la mayoría distinguían la trampa que nadie había visto cuando las cartas se mostraban a toda velocidad.

Tras leer este experimento, pensé en lo rápido que en ocasiones pasan las cartas en nuestra vida, y me pregunté qué estaba chirriando sin que yo le prestara suficiente atención. Qué cuatro de picas rojas me estaban colando entre tanta sociedad ajetreada.

Enseguida relacioné esta reflexión con el ensayo *Desobediencia civil* del filósofo Henry David Thoreau, cuyo pueblo natal en Nueva Inglaterra había visitado pocas semanas antes. Thoreau escribió *Desobediencia civil* tras pasar una noche en la cárcel por negarse a pagar los impuestos. No lo hizo por mezquindad, sino como un acto de rebeldía frente a la guerra de Estados Unidos contra México, y plenamente convencido de que su libertad individual de no

participar de ninguna manera en ella debía estar por encima de cualquier imposición del gobierno. El texto de Thoreau es un alegato al inconformismo social, a la desobediencia, a la crítica, a la reivindicación de unos principios propios y, en definitiva, a manifestarse activamente contra aquello que no encaja al observar con detenimiento el paso de las cartas en nuestra vida.

Cualquiera que tenga una mentalidad verdaderamente científica, debe sentirse inspirado por esta actitud irreverente y beligerante de Thoreau, ya que el cuestionamiento constante del conocimiento establecido es lo que ha propiciado las grandes revoluciones intelectuales de la historia.

El gran filósofo de la ciencia Thomas Kuhn utilizó el ejemplo de las cartas para analizar cómo reaccionan los científicos al encontrar excepciones e incongruencias en sus experimentos. Kuhn escribió: «En condiciones normales el investigador no es un innovador, sino una persona que soluciona *puzzles*, y los *puzzles* en los que se concentra son sólo aquéllos que puede plantear y resolver dentro de la tradición científica existente». Kuhn se refiere a que el científico suele hacer experimentos para intentar demostrar una hipótesis que ya tiene en mente, y si cierto resultado no termina de cuadrar, resulta más habitual presumir un pequeño error metodológico en lugar de cuestionar todo el consenso que lo envuelve. Un cuatro de picas rojo puede pasar inadvertido, o ser visto como un error desconocido irrelevante; pero también como la valiente prueba de que algo falla y que quizá la asunción universal «las picas son negras» es completamente errónea. De esta rebelión ante el

paradigma establecido es de donde emanan las verdaderas revoluciones científicas. Sin ella, Einstein nunca hubiera demostrado que el tiempo no siempre pasaba igual de rápido.

Desde finales del siglo XIX algunos aspectos de la física de Newton no encajaban con la electrodinámica de Maxwell. Algo fallaba, pero, sin embargo, ambas se asumían como correctas; terminirlas de encajar era sólo cuestión de tiempo y mejores experimentos. El problema se prolongó hasta que alguien tomó la descarada actitud de pensar que si no concordaban, una de las dos debía estar por fuerza equivocada. «Newton, perdóname», dijo Einstein cuando demostró que el hasta entonces mejor físico de toda la historia estaba equivocado. Einstein transformó nuestra visión del mundo con su teoría de la relatividad gracias a no desmerecer los cuatro de picas rojos.

Como en el primer caso del experimento de las picas rojas, hay situaciones en las que las cartas de la vida nos pasan volando y ni siquiera percibimos que algo en ellas no termina de encajar. Otras veces nos ocurre como en la segunda prueba, cuando las cartas pasan ligeramente menos rápido: vamos siguiendo la inercia y comportándonos como se supone que debemos hacerlo, sin tiempo de meditar, pero alguna vocecita interior nos advierte de que algo chirría; ya sea en nuestra propia vida, en nuestros conocidos, en la sociedad, en las costumbres arraigadas, o en la concepción que tenemos del mundo. En esos momentos puede ser un sano ejercicio intentar ralentizar las cartas de la vida y darnos cuenta de qué nos desorienta cuando contamos con tiempo suficiente de reflexionar.

Pero en ocasiones lo más costoso no es descubrir el cuatro de picas rojos, sino esforzarnos en corregir todo lo que chirría aunque nos toque ir a contracorriente y ser civilmente desobedientes. La ciencia de verdad, la revolucionaria, la valiente, no pretende confirmar experimentalmente lo que ya suponemos, sino mostrar en qué andamos equivocados. Larga vida a Thoreau, Walden, la teoría del caos y la rebeldía frente a los cuatro de picas rojos.

3.5. Enamorado por el efecto mariposa

Reconozco mi promiscuidad con los libros de ciencia. Soy muy enamorado, pero tras el delirio inicial raramente consigo establecer una relación estable y serena con ellos. No los leo como si fueran una novela. Me salto páginas, a veces capítulos enteros, los maltrato con lápiz e incluso bolígrafo, y tengo varios empezados al mismo tiempo. Releo la introducción y el índice varias veces para intentar asimilar la idea básica que el autor quiere transmitir; pero luego, si los capítulos se van haciendo cada vez más repetitivos y no logran mantener un alto grado de placer, los abandono sin escrúpulos.

Una vez me enamoré locamente de uno que conocí en un encuentro fortuito. Estaba ojeando la sección «libros que cualquier periodista científico debería leer» en la mini biblioteca que teníamos en la oficina del Knight Fellowship, cuando mi ex compañero Ivan Semeniuk se acercó y dijo: « ¡Caos! Qué gran libro... ¿no lo has leído? Deberías hacerlo. Es una obra de referencia». ¿Un libro sobre física del caos escrito hace más de veinte años? Lo empecé a leer

con cierta reticencia, pero inmediatamente quedé prendado por el excelente contexto histórico y filosófico que le dio al renombrado efecto mariposa, y el nacimiento abrupto de toda una nueva ciencia destinada a romper de manera definitiva con las barreras entre disciplinas, la ilusión determinista de Laplace, y el reduccionismo como forma de comprender la naturaleza.

«El aleteo de una mariposa en Pekín puede generar un tornado en Nueva York».

Cuando en los años cincuenta el matemático John von Neumann diseñó los primeros ordenadores, el grupo de científicos más entusiasmado en empezar a utilizarlos fueron los meteorólogos. Estaban convencidos de que, con las leyes de la física en la mano, lo único que les faltaba para predecir con exactitud el movimiento de las nubes y saber si a la semana siguiente haría sol o estaría lluvioso era muchísimo más poder de cálculo. Este optimismo surgía de dos asunciones básicas. Una era la visión determinista de los fenómenos físicos: conociendo al detalle las posiciones y los movimientos de todos los elementos que forman parte de un sistema, y las leyes que los afectan, podemos predecir con exactitud su evolución futura. Todos los físicos sabían que en un sistema tan abierto como el clima esto era materialmente imposible. Pero tenían una segunda asunción: los detalles minúsculos tienen relevancia minúscula; un error pequeño en el cálculo inicial sólo implicaba un error pequeño en el resultado final. Al fin y al cabo, eran capaces de predecir con gran precisión el regreso del

cometa Halley sin necesidad de afinar a la décima de milímetro su posición actual. Dicho de otra manera, si un día invitas a tomar un café a un amigo tu economía global futura no se verá muy afectada; simplemente a final de mes tendrás un euro menos. Se sentían eufóricos; utilizando lápiz y papel, los astrónomos habían estado previendo la aparición de eclipses o tránsitos de Venus con meses de antelación, y ahora ellos, gracias a los ordenadores, iban a hacer lo mismo con las nubes. Su frustración al descubrir que esa tarea iba a convertirse en imposible dio origen a una nueva ciencia llamada teoría del caos.

Edward Lorenz fue uno de los científicos que a principios de la década de 1960 empezó a utilizar ordenadores para intentar desentrañar los misterios de la meteorología. En su despacho del MIT construía modelos matemáticos con ecuaciones en las que relacionaba temperatura, presión, velocidad del viento, humedad, y luego los probaba para ver su precisión e ir ajustando las ecuaciones. Pero un día ocurrió algo totalmente inesperado. Decidió repetir una misma predicción, y por descuido introdujo en un parámetro el valor 0,506 en lugar del 0,506127 que había escrito la primera vez. Parecía un detalle insignificante, pero cuando Lorenz regresó de tomar un café y contrastó ambos gráficos que mostraban la evolución del sistema, quedó desconcertado. Las predicciones meteorológicas empezaban idénticas, pero poco a poco se iban diferenciando más y más, hasta ser completamente distintas a las pocas

semanas. La alteración de unos insignificantes decimales en los valores iniciales de un sistema atmosférico alteraba de manera drástica las predicciones futuras. Edward Lorenz acababa de destrozar el sueño de sus colegas meteorólogos, al demostrar que el ligerísimo cambio provocado por el aleteo de una mariposa en Pekín podía desembocar en un evento radicalmente imprevisible como un tornado en Nueva York.

Significó un duro golpe inicial a la visión más determinista de la física. Pero la gran contribución de Lorenz no fue establecer que la naturaleza estaba rodeada de caos y desorden, sino continuar investigando hasta descubrir algo muchísimo más sorprendente: en lo más profundo de los sistemas caóticos en realidad se ocultaba cierto tipo de organización. De lo más profundo del caos emergía un misterioso orden. Éste fue el gran hallazgo, y el verdadero inicio de la teoría del caos, una nueva ciencia dispuesta a descubrir las leyes internas de los sistemas complejos. Lorenz y muchos otros científicos construyeron ecuaciones y herramientas matemáticas inexistentes hasta el momento, con las que se empezaron a encontrar patrones que se repetían en sistemas tan diferentes como la meteorología, la población de las especies, el funcionamiento de las células cardíacas, los mercados bursátiles, todos ellos eran sistemas en apariencia gobernados por el caos y el descontrol, pero al analizarlos detenidamente se podía comprobar que poseían cierta lógica interna y que de ellos emergían una serie de propiedades comunes. Pero emergiendo, ¿de dónde? La

aparición espontánea de patrones fue otra de las grandes revoluciones conceptuales del siglo XX. Ponía de manifiesto que la interacción entre todos los constituyentes de un sistema complejo era capaz de generar novedades inexistentes de manera aislada. El todo era mucho más que la suma de las partes, y resurgió el holismo como forma de intentar comprender la naturaleza.

En la actualidad, la apasionante física de la complejidad busca el orden oculto en el caos de sistemas como internet, las interacciones entre genes, el crecimiento de las ciudades, la gestión del tráfico, el desarrollo del lenguaje, la aparición de novedades en el proceso evolutivo, el funcionamiento del cerebro, todo gracias a una ciencia que rompió las barreras entre disciplinas, la fantasía determinista de tantos físicos clásicos, y la visión reduccionista de que un sistema se puede comprender sólo analizando las partes que lo constituyen.

Todavía amo *Caos*, y recurro a él cuando busco revivir encuentros transgresores.

3.6. Sinfonía de la ciencia: intuición *versus* racionalización

Es un domingo a media tarde cualquiera, recibes el típico *mail* de un amigo enviándote un link, lo abres sin grandes expectativas gracias a que tu sabio amigo no te ha explicado su contenido, y descubres un vídeo colgado en YouTube que te deja maravillado: un montaje musical titulado «Sinfonía de la ciencia», que enlaza preciosas frases de grandes divulgadores como Sagan, Dawkins,

Feynman, Greene, Hawking. A los *nerds* eso nos encanta; reconozco que casi me emocioné al escuchar algunas expresiones.

Reacción inmediata: compartirlo enseguida en el blog. Pero entonces pensé: «Ya ves, quizá no hay para tanto. Seguro que muchos ya lo habrán visto, éste no es el estilo del blog, no tengo ningún mensaje propio que añadir, rompe un poco la línea de las últimas semanas, siempre que se me va un poco la pinza alguien protesta, tenía pensado otros temas. Casi mejor lo twitteo, lo cuelgo en Facebook, y suficiente».

Eso hice. Pero camino del cine no dejaba de darle vueltas. Era un ejemplo clarísimo de dilema frente a la toma de decisiones; ¿debería haber hecho caso de mi primera intuición, o del posterior análisis más «racional»?

Dos autores y posiciones diferentes se cruzaban en mis pensamientos. Primero recordé a Malcolm Gladwell y su libro *Inteligencia intuitiva: por qué sabemos la verdad en dos segundos*. Gladwell es quien mejor ha popularizado el concepto de que debemos atender mucho más a las instrucciones dictadas automáticamente por nuestro cerebro. El subconsciente no emite juicios rápidos al tuntún, sino basados en todas las experiencias y conocimientos que ha ido acumulando durante su aprendizaje, y percepciones subliminales que a tu consciente le pueden pasar por alto. No dejes que razonamientos posteriores te liden y bloqueen. Son menos importantes. Si tienes una intuición clara sobre un campo que dominas, ¡síguela!

Pero luego recordé los estudios en economía conductual del psicólogo Dan Ariely, autor de *Las trampas del deseo*. En él explica los engaños sistemáticos que sufre nuestro cerebro a la hora de tomar decisiones. La tesis principal es que somos seres irracionales con tendencia a repetir una serie de errores cuando actuamos «sin pensar», guiados por engaños de nuestra percepción. Si somos capaces de reconocer esas artimañas de un cerebro no diseñado para pensar en el futuro y corregirlas, nos equivocaremos menos veces.

Ariely explica muchos efectos perniciosos, pero justo uno de esos efectos es la valoración desmesurada de algo que te ha gustado. En un estudio realizado con gente que iba en busca de pareja a un encuentro de citas rápidas, cuando luego pasaban un test para valorar las personas que les acababan de presentar, solían predecir muy positivamente los aspectos desconocidos de los candidatos que les habían gustado. Aparte de reforzar la idea de que no deberías casarte enamorado/a, quizá este mismo efecto estaba detrás de mi enamoramiento del vídeo.

De alguna forma, ambas posiciones parecían contradecirse. ¿Debería haber seguido el consejo de Gladwell y hacer caso de toda la sabiduría acumulada en mi inconsciente y que se manifestaba en forma de intuiciones?, ¿o confiar en Ariely y contemplar que mi percepción podría estar engañándome?

Hay un término medio, y menos discordancia de la imaginada. La clave es tener en cuenta si eres un experto o no en el campo de la decisión que vas a tomar. Si pudiéramos extraer una regla sería: «Si

tienes mucha experiencia, sigue tu instinto. Si no, dale algunas vueltas antes de precipitarte».

Conclusión: llegué a casa por la noche —tras darle la paliza a mi acompañante, que espero no se asustara— decidido a poner a prueba si yo tenía mucho o poco conocimiento sobre mi propio blog. Sigo sin tener respuesta a ninguna de mis inquietudes. Quizá por lo que dice Richard Feynman en la canción: que resulta más interesante tener interrogantes abiertos. Pero sobre todo porque Dan Ariely también habla de errores de precipitación en expertos con acceso a excelente información, que se dejan llevar por el pánico en los mercados bursátiles, rumores, todo ello estudiado en detalle desde la perspectiva de las finanzas conductuales.

Diría que en el caso concreto del vídeo debería haber seguido a Gladwell y colgarlo sin tanta divagación. Pero como norma general, salvo en situaciones de supervivencia y reproducción, casi me inclino más a dejar reposar los juicios rápidos. Será que, por suerte, todavía falta mucho que aprender de —como expresaba Richard Dawkins— la poesía de la realidad.

3.7. El cromosoma y de Jesucristo

Estaba buscando una forma original de felicitar la Navidad de 2009 y recordé una historia rocambolesca que había leído en el libro *The Physics of Christianity* de Frank Tipler, autor también del punto omega y un físico con gran prestigio académico.

Dejando de lado a los creacionistas que leen la Biblia de manera textual, la mayoría de los creyentes moderados interpretan algunos

«milagros» como algo metafórico, una «manera de hablar». La separación de las aguas del Jordán pudo resultar de algún evento geológico, y la multiplicación de los panes y los peces, por ejemplo, no hace falta tomársela al pie de la letra; posiblemente no sucedió nada sobrenatural. Lo importante de verdad son las enseñanzas que contienen.

Pero algo delicado ocurre cuando pones en cuestión la virginidad de María. Ahí muchos creyentes —incluso los moderados— se resisten a admitir que se trata de una metáfora y que en realidad María no fue virgen. El gran problema desde el punto de vista científico es que no cuentan con una teoría alternativa que pudiera explicar este hecho de manera natural. Si Jesucristo hubiera sido mujer, podrías pensar que se produjo una partenogénesis (un óvulo de María duplicó su material genético y luego empezó a dividirse como si hubiera estado fecundado). Esto no es tan extraño. Ocurre en muchas especies de invertebrados, incluso en algunas lagartijas, se puede inducir en el laboratorio con óvulos de primates, y bueno, quién sabe, quizá podría haber ocurrido sin enterarnos en algún humano de manera natural, pero, en todo caso, las hijas siempre serían hembras con dos cromosomas X. No hay manera alguna de que ahí aparezca un cromosoma Y que induzca la masculinidad del feto. ¿No? ¿Seguro? Frank Tipler cree que sí.

Reproduzco un fragmento que en su momento copié de su libro: «Yo propongo que Jesús era un tipo especial de macho XX. Es muy extraño en humanos, pero ha sido ampliamente estudiado. Aproximadamente, uno de cada 20.000 hombres tiene cromosomas

XX. Un macho XX resulta cuando un gen clave del cromosoma Y (el SRY, que marca la masculinidad) se inserta en un cromosoma X.

»Una posibilidad es que todos los genes importantes del cromosoma Y se hubieran insertado en uno de los cromosomas X de María, pero estuvieran silenciados (existe un proceso por el cual el ARN puede silenciar un cromosoma X entero, y el otro seguir funcionando)».

Ésta es la explicación de cómo María sería mujer, pero llevaría en su carga genética los genes clave —silenciados— del cromosoma Y. Ahora llega la partenogénesis. «Jesús se engendraría cuando un óvulo de María empezara a multiplicarse antes de convertirse en haploide (dividir su material genético), y contuviera esos genes Y activados».

Increíble, ¿no? Suponiendo que la posibilidad de que un gen Y pase al X sea una de cada 20.000 ocasiones, la posibilidad de que pasen todos los importantes de golpe es ínfima. Y que encima estén silenciados y se produzca una partenogénesis que nunca ha sido observada en humanos, efectivamente se acerca más al milagro que cualquier otra cosa. Pero, según Tipler, no es imposible, y permitiría el nacimiento de un hijo varón de una mujer virgen sin recurrir a ningún proceso sobrenatural.

No me estaba mofando de un físico de prestigio como Tipler, qué va, ni insinuando que situaba su ideología por delante de su ciencia, que nadie se lo tome como una ofensa; simplemente era una propuesta inocente para ser debatida en ciertas mesas durante Nochebuena.

3.8. En el museo del creacionismo de Kentucky

Lo que ya no me hizo tanta gracia fue la visita al Museo del Creacionismo en el estado de Kentucky, muy cerca de la frontera con Indiana.

Este centro educativo visitado cada año por miles de estadounidenses te recibe con el lema «Prepárate para creer». Sabes que es lo opuesto al «Prepárate para dudar» que funciona como motor del progreso científico e ideológico, pero de todas maneras te sumerges en ese referente neurálgico de la crítica a la teoría de la evolución, abierto a —como mínimo— escuchar sin menosprecio anticipado sus argumentos.

Entras en el vestíbulo principal y lo primero que encuentras es una instalación que muestra la coexistencia de humanos con dinosaurios. Te sorprende, pero la explicación de tal aparente paradoja llega enseguida en la primera sala de exposiciones, donde al lado de un gran fósil de dinosaurio un vídeo te explica dos puntos de vista igualmente válidos:

El primero es el de un paleontólogo convencional narrándote cómo —según su interpretación— quedó enterrado este fósil hace millones de años. A continuación otro científico ofrece su irrevocable versión: «Donde Km ve millones de años, yo veo evidencias de una historia diferente. Yo también creo que este animal murió durante una inundación. Pero no fue una inundación local, sino una masiva que cubrió toda la Tierra: el Diluvio de Noé cuando Dios juzgó al mundo. Su cadáver fue sepultado de golpe, antes de poder ser descompuesto o devorado, en una capa de sedimentos que se

extiende por todo el continente. Como según la Biblia dicho diluvio ocurrió hace 4.300 años, por lo tanto creo que ésta es la edad de ese fósil. Llegamos a diferentes conclusiones debido a nuestros diferentes puntos de partida. Yo empiezo con la Biblia, mi colega no. Todos tenemos los mismos hechos, simplemente los interpretamos de manera diferente».

Terminas de grabar el vídeo con tu iPhone, y un señor con cara amable te sonríe y pregunta: «Interesante, ¿no?». No intentes convencerle de que los dinosaurios se extinguieron hace 65 millones de años.

«Eso es imposible porque contradice el Génesis; algún error contendrán los datos científicos», te responde con tono muy calmado. «Claro, claro.», añade alguna de las miradas que te contemplan como si fueras un bicho raro.

Aturdido, avanzas hacia la siguiente sala, cuyo panel de entrada da en el clavo de por qué andas equivocado: «La “razón humana” pretende que nuestra mente pueda alcanzar la verdad de manera autónoma e independiente de la verdad revelada de Dios. Las filosofías y las religiones que utilizan las suposiciones humanas en lugar de la palabra de Dios como punto de partida son propensas a malinterpretar los hechos que les rodean, porque parten de arbitrariedades».

Después de tal lección de humildad, empieza el ataque contra la «razón humana» (no a la ciencia): «Según la razón humana, hay un único árbol evolutivo cuya primera forma de vida apareció hace 4.000 millones de años. Sin embargo, la palabra de Dios plantea un

campo de la creación con diferentes árboles cuyo inicio fue aproximadamente 6.000 años atrás. Según la razón, los humanos y los primates tenemos un antepasado común, pero la palabra de Dios deja claro que su origen fue separado».

Y lo mismo con el universo: olvídate de sus 13.700 millones de años de historia. Sólo tiene escasos miles. Y que Descartes no te confunda con su peligroso «Pienso, luego existo». Tú eres lo que eres. Porque, además, la palabra de Dios es verdad: la arqueología ha confirmado repetidamente que los detalles históricos de la Biblia son ciertos, y cientos de profecías se han cumplido, mientras que ni una sola ha fallado.

Te quedas estupefacto. Pero consciente de que los creacionistas argumentan que la suya es una teoría con base científica, y como tal piden que sea enseñada junto a la evolución en las clases de biología de los institutos estadounidenses, continué la visita esperando encontrar argumentos científicos que avalaran sus afirmaciones.

No hubo éxito. Las salas posteriores se dedicaban a explicar el Génesis y cómo era el mundo en el que vivieron los primeros hombres. A título de ejemplo, todos los animales eran herbívoros antes del pecado original de Adán (la muerte no existía; podían comer plantas porque no son seres vivos según la Biblia). Curioso fue también ver cómo subían dinosaurios al arca de Noé, o a geólogos explicando la formación del cañón del Colorado hace 4.000 años tras el Diluvio Universal. Toda una explicación del funcionamiento del mundo que contrasta con la ciencia que se

explica en las escuelas. Por eso, en la tienda del museo puedes encontrar materiales didácticos para educar tú mismo a tus hijos desde tu propia casa, y que sus mentes no sean corrompidas por la razón humana.

No sé qué imaginaba encontrarme en el Museo del Creacionismo. Supongo que argumentos más articulados criticando la evolución, alguna teoría alternativa que no partiera de la Biblia, y una buena exposición de los datos científicos que los creacionistas siempre aseguran que respaldan sus ideas.

A punto de desistir en dicha búsqueda y ya de regreso al vestíbulo principal, distinguí un pequeño pasillo justo al lado de la cafetería que conducía a un salón de actos. Me acerqué. Estaba cerrado, pero pude leer los carteles que colgaban en las paredes del pasillo. En uno de ellos había un listado de personas en posesión de títulos científicos que acreditaban todas las visiones expuestas en el museo. El mensaje era claro: no se trata sólo de fe, hay ciencia y *científicos* que avalan esa información.

Otro cartel era del Institute for Creation Research, cuya misión es utilizar la investigación científica para demostrar las evidencias de la veracidad y la precisión de los relatos bíblicos sobre la Creación y el Diluvio Universal, así como preparar programas educativos para transmitirlos en diferentes centros y medios de comunicación.

Luego había varios carteles en los que se describían algunas de esas investigaciones que supuestamente contradicen los datos de la ciencia convencional. Por ejemplo (traduzco textualmente): «En el granito puedes encontrar cristales de zirconio radiactivo que

producen helio. Ese helio debería haber escapado de los cristales rápidamente, pero todavía está allí. Eso sólo se explica si la edad de los cristales y el granito es inferior a 6.000 años de antigüedad. Es cierto que esas mismas rocas muestran signos de tener 1.500 millones de años, medidos con los actuales índices de decaimiento radiactivo, pero si esos índices hubieran sido más altos en el pasado, explicaría por qué estas rocas son jóvenes».

Otro: «El carbono-14 es una forma de carbono inestable que decae rápidamente, y debería ser inexistente en rocas anteriores a 60.000 años. Sin embargo, encontramos C-14 en carbón y restos fósiles. Por lo tanto, concluimos que todo el registro fósil es joven (miles de años en lugar de millones), y todos los fósiles son de la misma edad (hecho que sería explicado por el Diluvio Universal).»

El último me pareció incluso gracioso: «Diferentes métodos de datación radiactiva difieren cuando se aplican sobre la misma roca. Por ejemplo, rocas del Gran Cañón del Colorado datadas con potasio-argón muestran una edad de 841,5 millones de años, mientras que con rubidio-estroncio, 1.060 millones. Con plomo-plomo, 1.250 millones, y según el samario-neodimio tienen 1.379 millones de años de antigüedad». El cartel no dice nada más. No hace falta; es obvio que tal incertidumbre demuestra que el método es erróneo, y el cañón del Colorado tiene una edad de unos escasos 4.350 años, como sin incertidumbres afirma la Biblia.

La trampa es de escándalo. Una persona con pocos conocimientos científicos es incapaz de juzgar si esas dudas tienen sentido o no.

No lo tienen en absoluto; son una verdadera calamidad. Pero la sensación de incertidumbre ya ha cuajado.

Eso es lo que vi en el Museo del Creacionismo de Kentucky junto a centenares de otros visitantes. Muchísimo más extremo de lo que me había imaginado. Y, sin duda, algo que se escapa por completo a la razón humana.

3.9. Aquiles, la tortuga, el *C. Elegans* y las neuronas de colores

Ideas. Provocaciones. Conceptos que te hacen reflexionar, dudar, replantearte asunciones. Pensar. Estímulos. Éste es uno de los regalos que te ofrece la ciencia. Haces un viaje relámpago a Boston por temas laborales, visitas las oficinas del programa de periodismo científico del MIT que te acogió durante diez meses, y te comentan que por la tarde pasarán dos horas en el laboratorio del neurocientífico Jeff Lichtman. Imposible rechazar tal invitación. Aprietas todavía más tu agenda, y acudes escopetado. Tu mente no está todo lo centrada que desearías, pero se despierta de golpe cuando al final de su exposición, un neurocientífico de la talla de Lichtman espeta: «No estoy tan seguro de que el cerebro del gusano *C. elegans* sea más simple que el nuestro». Suspense.

Jeff Lichtman es el padre de la novedosa metodología *brainbow*, que en noviembre de 2007 invadió todas las portadas de las revistas científicas por la nueva forma que ofrecía de observar el cerebro. Creando ratones transgénicos cuyas neuronas expresaban de manera estocástica diferentes combinaciones de la proteína fluorescente verde, la roja y la azul, consiguieron imágenes

microscópicas de cerebros con neuronas individuales coloreadas al azar en una gama de 90 tonalidades diferentes. Las imágenes obtenidas con el método *brainbow* no sólo eran preciosas; olían a revolución. Santiago Ramón y Cajal transformó la neurobiología gracias a su intuición y obcecación, pero posibilitado sobre todo por la tinción de Golgi, que le permitió ver neuronas individuales en un grado de detalle que nunca antes nadie había observado. La técnica desarrollada por el equipo de Lichtman podría suponer algo parecido en el estudio anatómico del cerebro. Permite diferenciar neuronas vecinas con gran precisión y, además, perseguirlas de manera individual por todo el entramado cerebral distinguiendo cómo se conectan unas con otras. Uno de los campos más activos en la neurociencia actual es esta «conectómica», el estudio de cómo se forman los circuitos neuronales, cómo fluye la información a través de ellos, cómo enlazan diferentes áreas del cerebro, y cómo se ven alteradas en caso de enfermedad. El *brainbow* es una herramienta que promete mapear el cerebro y desentrañar el cableado que forman todas sus conexiones sinápticas.

Es poderosísima, sin duda, pero también tiene sus críticos. Los neurocientíficos más rigurosos apuntan que esta metodología no permite hacer experimentos, sólo «observa» cómo se conectan fragmentos de cerebro y saca conclusiones que no pueden ser probadas experimentalmente. Cuando uno de los asistentes al seminario se lo recordó, Lichtman contestó con cierta sorna: «Quizá tampoco el Hubble o la arqueología son de gran utilidad, porque sólo observan e interpretan sin hacer hipótesis testables». Otro

compañero insistió: «Mi cerebro debe de estar conectado de manera diferente al suyo. ¿No es esto una gran limitación?». «Puede ser, pero no lo sabemos todavía. Lo que aquí tenemos es una nueva manera de ver el cerebro. Quién sabe qué nos mostrará».

Luego llegó la pregunta «¿Por qué utilizáis un cerebro tan complejo como el del ratón y no empezáis por uno simple como el del gusano *C. elegans*?» Lichtman explicó que el mapa neuronal del *C. elegans* ya está realizado, y que a él le interesa estudiar cerebros parecidos al humano. Pero enseguida frunció el ceño y añadió con tono reflexivo: «Además, sin duda es más pequeño, pero no estoy tan seguro de que el cerebro de este nematodo sea más simple». Caras de escepticismo generalizadas entre la decena de asistentes. Las ideas que mayor rechazo inicial generan suelen ser las malas, y las muy buenas.

El argumento que dejó entrever Lichtman para justificar su frase fue de lo más llamativo: las 302 neuronas del *C. elegans* llevan millones de años haciendo su función; por lo tanto, este sistema podría ser más robusto y esconder un mayor grado de especialización y solidez evolutiva. Sólo 302 neuronas conectadas entre sí son capaces de gestionar toda la gama de complejísimos procesos que permiten sobrevivir a este organismo. Esto no es algo simple, para nada. Quizá podríamos considerarlo más eficiente que nuestro enorme pero tan desbaratado cerebro.

Aquiles y la tortuga

También pensé, como me imagino que muchos de vosotros, «demasiado rebuscado». Resulta obvio que el cerebro humano es más complejo que el de un gusano, ¿a qué viene ahora esa disquisición que no aporta ningún progreso tangible? ¡Qué tontería!, ¿no? Puede. Pero te deja pensativo, y eso es maravilloso, un regalo intelectual.

Dos días antes había ido al cine a ver la última película de Takeshi Kitano *Aquiles y la tortuga*. ¿Habéis oído hablar de la paradoja de *Aquiles y la tortuga*? El filósofo griego Zenón imaginó una hipotética carrera entre un veloz Aquiles y una lenta tortuga. Consciente de su superioridad, Aquiles ofrecía una distancia de ventaja a la tortuga. Al darse la salida salía raudo hacia ella, pero cuando llegaba al punto donde estaba la tortuga, ésta ya se había desplazado cierta distancia. Aquiles continuaba persiguiéndola, pero siempre que llegaba donde estaba la tortuga, ésta ya había avanzado un poco más. Al final, Aquiles no era capaz de alcanzar a la tortuga. Lo sé, no tiene ningún sentido. Es evidente que este planteamiento es engañoso y en una situación real Aquiles alcanza sin ningún esfuerzo a la tortuga. No intento despistaros. Efectivamente, la historia elucubrada por Zenón no es ninguna paradoja, y cualquiera que corra más rápido tras un objeto más lento terminará alcanzándolo. Sin embargo, esta «absurda» paradoja y otras formulaciones más modernas en las que Aquiles siempre recorre la mitad de la distancia que le separa de la tortuga y, aunque se acerca, nunca consigue atraparla porque siempre le

falta la diminuta mitad, ha inspirado a matemáticos y físicos para desarrollar teorías de series infinitas, sumatorios de fracciones, y otras herramientas matemáticas, que además de demostrar que las paradojas de Zenón son falsas, estimulan su imaginación para plantear nuevas reflexiones y preguntas que abordar científicamente. Como la especulación sobre la simplicidad o no del cerebro del *C. elegans*. Pero ¿y si, como hace la película Aquiles y la tortuga de Kitano, dejamos la realidad a un lado y permitimos que estas cavilaciones nos estimulen otras maneras de pensar? Me imaginé a la tortuga como si fuera uno de esos sueños que persigues, y cuando crees que los has alcanzado, ves que se han desplazado ligeramente. Vuelves a correr hacia él, a perseguir la meta que cumplirá tus expectativas, pero cuando llegas a tu objetivo, el sueño se ha vuelto a alejar. Quizá es en esa búsqueda inquieta y constante donde radica el sueño en sí, y permite que no se desvanezca inmediatamente tras conseguirlo. Ideas sueltas. Asociaciones libres. Al final bien podría ser que las 302 neuronas del *C. elegans* formaran una red más robusta que las nuestras, o que la realidad sí contuviera algún subterfugio en el que ubicar la paradoja de Aquiles y la tortuga. Como me había dicho la dulce F. P. días antes conversando sobre las triquiñuelas de nuestra existencia: «La vida es una película».

3.10. Piensa como un científico, no como un abogado

M L. es una abogada española especializada en derecho corporativo que ejerce en un bufete de Washington D. C. No le gusta su trabajo, pero a sus veintisiete años y recién salida del máster gana el doble que un investigador posdoctoral con cinco años más de experiencia. ¿Por qué cobra M. L. tanto dinero? Porque hace ahorrar todavía más a los clientes que la contratan. ¿Quiénes son sus clientes? «Empresas que han sido demandadas», me cuenta en la terraza del restaurante Jack's de la calle Diecisiete con la calle P. ¿Un ejemplo? «Ahora estoy trabajando en un caso para Microsoft».

Entonces se me ocurre una pregunta absurda, insustancial, y totalmente fuera de lugar: «Pero ¿lleva razón la empresa?, es decir, ¿merece ser defendida?». «¡Hombre! todo el mundo tiene derecho a una defensa. Pero en la mayoría de las ocasiones razón no tienen, claro. Por eso vienen a nosotros; para que logremos que terminen pagando lo menos posible». Y de este ahorro sale el copioso salario de mi amiga. Lógico, ¿no? Sí, pero perverso a la vez.

El trasfondo de esa respuesta me dejó pensativo durante días. No exagero. Había algo que chirriaba en un planteamiento tan común y asimilado como el de M. L. Dicho en palabras mordaces, su trabajo como abogada era buscar la manera más eficaz de presentar la realidad decantada lo máximo posible a los intereses de su cliente; encontrar como fuera argumentos favorables y desatender o revocar los contrarios, independientemente de cuáles se acercaran más a una «verdad» que siempre era relativa. Para alguien con alma científica, esto era una aberración. Lejos de insinuar una pureza inexistente en el mundo de la ciencia, entre muchos investigadores

sí se manifiesta un deseo de descubrir y comunicar «la realidad» de la manera más objetiva posible. Y para ello, una parte del método seguido era completamente antagónico al que había entrevisto en la profesión de mi amiga. Como abogada, ella partía de una posición predeterminada, la que más beneficiaba a su cliente, buscaba sólo pruebas que lo defendieran, y si averiguaba algo que le perjudicaba no dudaba en ocultarlo. «Lo que no está en los autos, no está en el mundo», aprendían en la Facultad de Derecho. Porque claro, «hay dos verdades, la real y la del caso», decía otra de sus frases míticas. En su profesión la objetividad no es una de sus obligaciones, todo lo contrario; su misión es ser parcial y defender a su cliente.

No quiero pecar de simplista. La frase «Lo que no está en el artículo científico, no está en el mundo» podría aplicarse asimismo ante muchos investigadores defendiendo a capa y espada sus resultados, pero sí es cierto que la metodología científica deja menos margen a la interpretación subjetiva. El investigador también empieza con una hipótesis en la que confía e intentará defender, pero luego hace experimentos para comprobar si es acertada o no. Y, en teoría, si encuentra pruebas que la contradicen, la descarta muy a su pesar. Evidentemente, le cuesta aceptarlo, y es capaz de repetir experimentos hasta la desesperación para ver si encuentra algún resquicio o condiciones específicas en que se cumpla. Pero si nada funciona, deja de defenderla. Los científicos pueden ser muy tozudos, pero sus conversaciones suelen ser cortas si existen datos de por medio.

Estoy caricaturizando las categorías de «científico» y «abogado» como si fueran estancas. Por supuesto que no lo son y, más allá de las respectivas profesiones, las utilizo como un ejercicio mental para ilustrar dos esferas de razonamiento diferentes en nuestra vida cotidiana.

Todos tenemos parte de científicos y de abogados, pero si argumento que a alguien con mayor mentalidad científica le cuesta menos escuchar, cambiar de opinión, llegar a acuerdos, o emitir juicios más objetivos que a otro con mentalidad de abogado. Estarás pensando: «No se puede generalizar». Bueno, generalizar sí se puede, es lo que hace la epidemiología para encontrar relaciones entre factores ambientales y enfermedades. Lo que no se puede es particularizar a partir de la norma. Pero si lo piensas bien, la carrera libremente elegida, los años de estudio, el rodearte de cierto tipo de personas, y las tareas a que decides dedicar toda tu vida profesional, terminan definiendo más tu personalidad y la manera de relacionarte con la sociedad que haber nacido en un pueblo o una ciudad, o con padres más adinerados o menos. Y lo reconozco; a sabiendas de que las manías son algo acientífico, tras vivir una temporada en Washington D. C. rodeado de *lobbies* y grandes bufetes he generado cierta manía a ese pequeño subgrupo de abogados ricos que gana cantidades desorbitadas defendiendo al mejor postor. Hay algo que chirría, y mucho.

Recuerdo haber conocido en una cena a un tipo que trabajaba para el *lobby* farmacéutico y preguntarle en qué consistía su día a día. Respondió sin rodeos: «Mi trabajo es ir a comer o acompañar a

congresistas y gente lo más influyente posible para convencerles de que tomen decisiones que nos favorezcan». Mi interpelación «Pero ¿tú en realidad qué piensas?, ¿estás siempre de acuerdo en lo que defiendes?» se saldó con un simple: «Mi trabajo y mi opinión personal son diferentes». Lo que más asusta es que percibimos dicha respuesta como algo de lo más normal.

En otra ocasión un lobbista defendía hasta tal punto las bondades de la energía nuclear que terminé diciéndole: «Oye, es imposible que todo sea positivo y no exista un único resquicio problemático». Y él —físico de alma impura— insistía e insistía con datos y más datos. Terminamos intimando, y al final le pregunté: «En caso de que el que te pagara fuera el *lobby* antinuclear, ¿argumentarías lo contrario?». Podéis imaginar la respuesta: «Muy a mi pesar, pero claro que sí».

Y no olvido la llamada telefónica recibida de una de las pocas personas que sabía que durante casi dos años oscuros de mi vida trabajé como técnico superior de prevención de riesgos laborales: «Pere, ¿conoces algún estudio que aporte pruebas contra el reciclaje industrial de aceites?». Recuerdo que algo me sonó muy extraño en la construcción de esa pregunta. Mi amiga economista estaba evaluando un proyecto para valorar si su institución lo financiaba o no. En su mente ya había decidido que no convenía apoyar el proyecto, porque afectaba negativamente a la salud de los trabajadores. Y buscaba evidencias para reforzarlo. Eso era lo que desconcertaba a mis neuronas: antes llegaba la conclusión, y luego la búsqueda de pruebas «a favor» o «en contra». Todo lo contrario de

un razonamiento científico, en el que primero están las evidencias objetivas, y con ellas se llega posteriormente a la conclusión. Qué pocas veces actuamos así.

De nuevo, no nos parece una actitud extraña. En nuestro día a día somos mucho más abogados que científicos. La mentalidad de abogado que parte de una posición inamovible y luego busca datos para defenderla de manera intransigente es la que más se encuentra extendida entre la sociedad. Cómo vamos a intentar convencer a nuestra abuela de que su nieto no es el más bondadoso del mundo, o esperar que ante un pequeño accidente de tráfico los implicados sopesen de igual manera su percepción individual y la del otro. El pretender tener siempre la razón es algo instintivo. Al cerebro le cuesta cambiar de manera de pensar, y escuchar las razones del adversario es un signo de debilidad. Hacer de la duda una aliada no favorece el éxito inmediato.

Quizá podamos excusarnos en la selección natural y nuestro pasado evolutivo como primates sociales, pero hay un sector social al que sí podríamos exigir una incorporación progresiva de cierta mentalidad cada vez más científica: la clase política. Podría significar una revolución sin precedentes. Cuando vemos esos debates interminables de políticos entrenados para mantenerse firmes en sus ideas y desatender sistemáticamente los argumentos de su adversario, nos damos cuenta de que algo no encaja. El cerebro de los políticos abogados no está entrenado para ello, pero si se desprendieran de cierta carga ideológica y se aproximaran a la resolución de problemas desde una perspectiva más científica,

argumentaran con detalles técnicos, tuvieran mayor respeto por la verdad, y en busca del bien común intentaran ponerse de acuerdo aunque tocara dar la razón a su oponente, quizá muchos conflictos se solucionarían más rápido y de manera más justa.

Pero para hacerlo posible, antes debemos empezar por nosotros mismos impregnándonos de ciertos valores y metodología científica en nuestra manera de razonar. Y por mucho que siempre haya sido así, dejar de asumir como tan normal que primero lleguen las conclusiones y luego las pruebas, en lugar de a la inversa.

§4. Nunca lo hubiera dicho...

4.1. Voluntarios por Obama: el dinero reduce la satisfacción

Sin duda, una de las noches más especiales que he vivido en Estados Unidos fue la del 4 de noviembre de 2008, celebrando la victoria de Barack Obama frente a McCain en un lugar tan representativo históricamente como el cruce de la calle U y la Catorce en Washington D. C., el epicentro de los violentos disturbios tras el asesinato de Martin Luther King en 1968. Además, tuve la enorme suerte de poder seguir esa emocionante experiencia acompañado de un grupo de voluntarios de DC for Obama, muchos de los cuales habían invertido gran cantidad de tiempo y esfuerzo sin ningún tipo de recompensa económica a cambio.

La pregunta provocadora que planteo es: si la tarea de esos voluntarios hubiera sido remunerada, ¿su dedicación habría sido más intensa o se habría alistado un número mayor de personas?

Si reflexionamos utilizando parámetros exclusivamente «racionales», la respuesta debería ser sí todo aquel convencidísimo de querer luchar de manera activa por Obama lo hará igualmente, tanto si cobra como si no. Pero, además, quizá añadiendo un pequeño incentivo económico se les sumarán algunos indecisos. En cualquier caso, cobrar podría ser también una justificación añadida para trabajar con más dedicación.

Éste sería el razonamiento utilizado si los responsables de decidir pagar o no a los voluntarios hubieran sido economistas de la corriente más neoclásica, la que asume que los humanos somos *Homo economicus* que calculamos «racionalmente» y de manera egoísta los beneficios y costes que derivan de nuestras decisiones. Probablemente porque ellos sí utilizarían un planteamiento analítico a la hora de valorar «objetivamente» cuántos voluntarios necesitarían, cuál sería el gasto de pagarles a todos, si valdría la pena o no.

En cambio, si le preguntamos a un psicólogo experto en el campo de la *behavioral economics*, «economía conductual», nos advertirá que a veces las emociones juegan un papel mucho más importante que la razón en la toma de decisiones, y que la idea del *Homo economicus* construida por los economistas neoclásicos es una falacia. No somos maximizadores racionales de beneficios. Introducir un premio económico puede reducir la satisfacción que sientes por tu entrega, ya que «inconscientemente» compite con los motivos intrínsecos por los que participas como voluntario. De hecho, durante un estudio realizado en Suiza observaron que los

voluntarios que colaboraban sin cobrar en un proyecto determinado dedicaron más horas por semana que aquéllos a los que se les daba una pequeña cantidad de dinero.

El efecto contrario también existe: en una guardería de Israel estaban preocupados porque varios padres solían llegar tarde a recoger a sus hijos, y decidieron poner pequeñas multas simbólicas pensando que eso disminuiría los retrasos. Sorprendentemente, no sólo más padres empezaron a llegar tarde, sino que además se demoraban más tiempo. El dinero compensaba su sentimiento de culpa por tener a sus hijos esperándolos.

Porque, señores, volviendo al asunto del voluntariado, aunque algunos modelos económicos anticuados no lo predigan, la satisfacción por el altruismo sincero existe de verdad. Y si alguno todavía no se lo cree, que piense en la siguiente situación: llamas a un buen amigo para invitarle a él y a su pareja a cenar en vuestra casa, simplemente porque hace tiempo que no les ves y te apetece charlar con ellos. Acepta encantado, pero dice que te pagará 15 euros por la comida. ¿Los cogerías? ¡Claro que no!, a pesar de que «racionalmente» sí tenga sentido. Y en caso de que insistiera hasta el extremo de no poder rechazarlo porque «él se sentiría mejor así.», ¿pondrías más esmero en la elaboración de la cena? No, incluso quizá aumentaría la desidia. Podéis pensar que no es lo mismo, pero os aseguro que para los voluntarios por Obama con los que compartí la victoria demócrata no era tan diferente.

4.2. Vacunas contra la adicción

Eso sí que nunca me lo hubiera imaginado. ¿Una vacuna para la adicción al tabaco o la cocaína? ¿Cómo se entiende eso? Las vacunas actúan contra agentes infecciosos, ¿no? Como el virus del sarampión o la gripe, las bacterias que provocan la meningitis. La verdad es que cuando oí a Nora Volkow, directora del Instituto Nacional de Drogas de Estados Unidos, hablar de sus investigaciones encaminadas a conseguir vacunas contra la adicción, no me encajaba de ninguna manera. No lograba imaginarme, ni de cerca, un posible mecanismo que explicara el funcionamiento de una vacuna contra el tabaco. El primer escollo que tuve que superar para comprenderlo fue asumir que el tipo de vacunas contra agentes infecciosos que yo tenía en mente eran las convencionales, las que pones unos virus inactivos de gripe para que estimulen tu sistema inmunológico y cuando lleguen virus activos ya tengas anticuerpos específicos contra ellos esperándoles. Estas vacunas son las profilácticas, las que actúan *antes* de tener la enfermedad. Pero hace tiempo que se está investigando en un nuevo tipo de vacunas terapéuticas que se administrarían *durante* la enfermedad. La idea básica es reforzar el sistema inmunológico, estimularlo para que actúe de manera más eficiente y dirigida contra algo que en principio no actuaría. Se habla de vacunas terapéuticas para el cáncer, frente a la diabetes, o incluso contra drogas como la cocaína.

En el fondo, el concepto es sencillo: inyectas en el torrente sanguíneo moléculas de cocaína unidas a proteínas bacterianas. Esto provocará una respuesta inmune en tu cuerpo, que generará

anticuerpos específicos contra ese nuevo invasor. Tú habrás diseñado el complejo de manera que las proteínas bacterianas sean el compuesto antigénico que estimule la respuesta inmune, pero los anticuerpos que se formen reconozcan a la molécula de cocaína como el lugar donde engancharse.

Entonces, si algún día consumes cocaína, los anticuerpos se acoplarán a ella impidiendo que supere la barrera hematoencefálica y llegue al cerebro. Consecuencia: no notarás los efectos de la cocaína y perderá su poder adictivo.

Maticemos: de ninguna manera se trata de vacunar a todo el mundo, sino sólo a adictos que estén en fase de rehabilitación y convencidos de intentar dejarlo. Uno de los grandes problemas durante la recuperación de los drogodependientes es que tarde o temprano llega ese día fatídico, ese momento de debilidad, o persona que les tienta, y recaen. Pero ¿qué ocurriría si en ese momento transitorio de debilidad no notaran los efectos de la droga? Pues que en principio no volverían a engancharse y podrían continuar con su terapia psicológica. Eso es lo que persigue la vacunación contra la cocaína: inmunizar contra la droga a adictos, de manera que no recaigan debido a un consumo accidental ante unas circunstancias desafortunadas.

La vacuna no quita las ganas de consumir drogas en un primer momento; eso se trata con otras terapias conductuales o farmacológicas. Lo que hace es simplemente reducir los efectos placenteros de su consumo, para quitar la motivación física de volver a tomarla.

Debo reconocer que en el fondo, cuando oí a Nora Volkow hablar de estas investigaciones, más allá del valor futuro que podían tener las vacunas contra la adicción, lo que me dejó impactado fue el propio concepto. No ocurre cada día que algo inquiete tu mente y, cuando esto pasa, quieres profundizar un poco más. Por eso, trabajando en los Institutos Nacionales de la Salud (NIH), visité a uno de los expertos en este campo: Frank Vocci.

Segunda sorpresa: cuando tras pedirle que me explicara bien los mecanismos le pregunté si estaban haciendo estudios con ratitas, me respondió: «No, no, el tema está muy avanzado. Ya estamos haciendo pruebas con humanos. La primera vacuna contra la adicción al tabaco estará disponible en un plazo de tres o cuatro años. Y para la cocaína, quizá incluso antes». No terminé de creérmelo, pero sí vi que no era una vaga idea en fase de exploración. Ya llevaban años haciendo experimentos de laboratorio con ratas y monos, en los que la vacuna reducía significativamente su dependencia a las drogas. Pero en esos momentos los ensayos clínicos con humanos ya habían empezado. Un estudio del investigador Thomas Kosten con 114 adictos a la cocaína demostró que quienes recibían la vacuna en lugar del placebo tenían el doble de posibilidades de desengancharse, y al cabo de unos meses iba a comenzar otro ensayo clínico con más de 300 adictos. «Si los resultados son positivos, puede significar la aprobación de la vacuna por la Administración de Alimentos y Fármacos», me dijo Frank Vocci.

Esto era frente a la cocaína, pero había otras en desarrollo contra la nicotina, como la llamada NicVax, que estaba preparando una empresa en colaboración con los NIH. Frank Vocci aseguró que ya estaba demostrado que era segura y funcionaba. El reto científico era mejorarla, conseguir que la vacuna generara el mayor número de anticuerpos posible. Estaban calibrando el calendario de dosis, las cantidades, las características moleculares de las proteínas utilizadas, para estimular una mayor respuesta inmune y reducir al máximo la cantidad de nicotina que llegue al cerebro. La cosa iba en serio, y más cuando a finales de 2009 tuve de nuevo la oportunidad de hablar con Nora Volkow en los NIH y preguntarle cómo avanzaba este tema. «Acabamos de publicar los resultados de un nuevo ensayo clínico, y de los pacientes que producían anticuerpos al nivel necesario para tener una respuesta terapéutica, el 30 por ciento dejaban de tomar cocaína, a diferencia del 10 por ciento de aquéllos que no fueron vacunados», contestó. Quién lo iba a decir, vacunas como un tratamiento complementario contra la adicción. Aunque suscitan todo tipo de claroscuros, quizá algún día serán una herramienta inesperada para prevenir recaídas de ex adictos, ayudar a dejar las drogas, o incluso suministrarlas a poblaciones de riesgo antes de un posible consumo inicial. Posiblemente sea sólo cuestión de tiempo.

4.3. Beneficios de las pruebas de armamento nuclear

Las centenares de bombas atómicas que explotaron durante las pruebas de armamento nuclear en la década de 1950 dejaron «algo»

en la atmósfera que los científicos están aprovechando para identificar cadáveres, estudiar la regeneración celular, detectar falsificaciones, o solucionar crímenes al más puro estilo CSI.

¿Os suena la técnica del carbono-14 utilizada para la datación de restos fósiles? El principio básico es el siguiente: la interacción de los rayos cósmicos con la atmósfera genera isótopos de carbono-14 (átomos de C con dos neutrones de más en el núcleo). Éstos se combinan con el oxígeno para formar CO₂, que se incorpora a las plantas mediante la fotosíntesis y a los animales cuando se las comen. Al final, la proporción de isótopos de C-14 respecto al carbono «normal» (C-12) en animales y plantas es la misma que existe en la atmósfera, una cantidad que se ha mantenido relativamente constante en los últimos miles de años. Pero al morir, el tejido orgánico deja de incorporar nuevos átomos de C-14. De hecho, empieza a perderlos porque el C-14 es un isótopo inestable y se va desintegrando poco a poco, a un ritmo que los científicos conocen perfectamente. Por lo tanto, si analizas la cantidad de C-14 restante en un determinado fósil, serás capaz de averiguar su edad aproximada. La sensibilidad de esta técnica sólo permite analizar muestras con una antigüedad máxima de 60.000 años, y que tengan como mínimo varios miles de años. Pero, como consecuencia de las más de 500 bombas atómicas que Estados Unidos y la Unión Soviética hicieron explotar en tierra firme durante sus pruebas nucleares en la década de 1950, los niveles de C-14 en la atmósfera se multiplicaron notablemente. Cuando en 1963 se prohibieron las pruebas nucleares en la atmósfera (continuaron haciéndose bajo

tierra), los índices de C-14 empezaron a bajar de manera progresiva, encontrándose todavía ahora más altos de lo que estaban antes de las explosiones.

Hace un tiempo, unos científicos ingeniosos pensaron: si los animales y las plantas han incorporado diferentes cantidades de C-14 atmosférico durante los últimos sesenta años... ¿podríamos aprovechar esta variabilidad para algo? Vaya si lo están aprovechando.

¿Quién murió antes?

En 1992 la policía austríaca descubrió los cadáveres de dos hermanas que llevaban años fallecidas en su casa sin que nadie se hubiera enterado. Por motivos económicos y cuantiosos seguros de vida, había mucho interés en saber quién de ellas había muerto antes. Los investigadores Walter Kutschera y Eva Maria Wild tuvieron una idea: si pudieran medir la cantidad de C-14 presente en algún material orgánico de los que se renuevan constantemente y compararlo con los niveles históricos de C-14 en la atmósfera, quizá podrían averiguar el momento de su defunción. Funcionó. Kutschera y Wild concluyeron que una hermana había fallecido en 1988, y la otra en 1989.

¿Se renuevan las neuronas?

En 2001 la joven neurocientífica australiana Kirsty Spalding viajó a Suecia para investigar acerca de la formación de nuevas

neuronas. Al poco tiempo su jefe se enteró del caso de las hermanas austríacas y le propuso la siguiente línea de investigación: para saber si en una determinada zona del cerebro nacen nuevas neuronas o no, podemos medir la cantidad de C-14 que tienen. Si no se regeneran, habrá la misma proporción que en el momento del nacimiento, y si se forman nuevas neuronas deberíamos encontrar niveles fuertes. Kirsty pasó una temporada visitando mataderos hasta poner a punto la técnica con cerebros de caballo (necesitaba animales que vivieran bastante tiempo y tuvieran cerebros grandes). Cuando tuvo el procedimiento controlado, lo aplicó en humanos y demostró que en determinadas zonas del neocórtex y del área visual no nacían nuevas neuronas en edad adulta, algo que resultaba muy difícil de averiguar con otras metodologías. Actualmente, Kirsty Spalding es una de las principales expertas en esta metodología que se sirve del C-14 originado durante las explosiones atómicas.

Identificación tras la tragedia del tsunami

El devastador tsunami de 2004 en el océano Índico mató a más de 200.000 personas, entre ellas unos 500 turistas suecos. Según el médico forense Henrik Druid, algunos de los cadáveres estaban en tal estado que no podía distinguirse siquiera si se trataba de un adolescente o de una persona mayor. La edad es un dato importantísimo en la identificación de los cuerpos, y para intentar averiguarla Henrik Druid recurrió a las técnicas

de C-14 que Spalding había desarrollado en el Instituto Karolinska de Estocolmo. La tarea parecía sencilla: el esmalte de los dientes es permanente, por lo tanto averiguando la cantidad de C-14 que contenían y comparándola con los datos históricos de C-14 en la atmósfera se podía averiguar el momento en que había salido cada pieza. Se aplicó la técnica a los cuerpos todavía no identificados de seis víctimas del tsunami y se predijo su edad con un margen de error de un año. Las policías sueca y canadiense están interesadas en esta técnica como herramienta de investigación criminal. Henrik Druid asegura que muy pronto oiremos hablar de casos resueltos con esta metodología. Pero el rango de aplicaciones va mucho más lejos. Un grupo australiano realizó un estudio en el que logró identificar la añada de unos vinos muy preciados embotellados entre 1958 y 1997, y científicos de los NIH la utilizan para estudiar la regeneración de las células beta pancreáticas. En California hay un grupo de investigadores que pueden saber si el marfil confiscado por la policía a vendedores ilegales proviene de elefantes cazados antes o después de la prohibición de su caza, y si un cuadro supuestamente anterior a 1940 se trata en realidad de una falsificación moderna. Si el lienzo tiene niveles elevados de C-14, algo falla.

En la vertiente más científica, Spalding y su jefe Jonas Frin han desarrollado un ambicioso programa para investigar a fondo la regeneración celular en frentes tejidos humanos. Pero en ciertos experimentos les tocará apresurarse un poco. Se calcula que en

2020 los niveles atmosféricos de C-14 volverán a ser los mismos que había antes de las pruebas con armamento nuclear.

4.4 Electricidad sin cables

El investigador del MIT Marin Sojagic cuenta que una noche, cuando por enésima vez le despertó el pitido del móvil anunciando «batería baja», pensó: «¿No podría encontrar algún principio físico para lograr que el móvil se cargara solo en cuanto llegue a casa, sin necesidad de estar pendiente de enchufarlo?». Así empezó su cruzada particular hacia la electricidad sin cables.

Wireless electricity

¿Os imagináis que vuestro portátil funcionara ininterrumpidamente a través de una red eléctrica *wireless*? ¿O que algún mecanismo transmitiera electricidad a distancia a tu televisor, y lo pudieras poner donde quisieras sin necesidad de estar físicamente conectado a la corriente? Sí, sí que os lo imagináis. No es una idea tan extraña. De hecho, cuesta pensar que ningún ingeniero haya conseguido todavía algo que sería tan práctico. Las bases teóricas de cómo conseguirlo se conocen desde hace muchísimo tiempo, y el inventor Nikola Tesla ya lo intentó a finales del siglo XIX. Pero superada la primera década del siglo XXI, continuamos dependiendo de los cables para transmitir electricidad. Por el momento.

Algunas empresas ya han construido pequeños aparatos que utilizan ondas de radio o láser para transmitir electricidad a

muy corta distancia, pero el grupo de Sojagic ha utilizado un nuevo método para conseguir algo más espectacular: encender una bombilla de 60 vatios con un dispositivo situado a dos metros de distancia. Un logro muy considerable que ya ha generado algunas patentes y llamado la atención de varias compañías. El aparato que me mostró André Kurs —el autor del trabajo publicado en *Science* junto con Sojagic— parecía francamente rudimentario: dos espirales de medio metro transmitiéndose campos magnéticos entre ellas.

Pero, al observar cómo terminaba encendiéndose una bombilla, me dio la sensación de estar percibiendo los estadios preliminares de una nueva tecnología que sin duda será cotidiana en el futuro. Muchas veces, cuando los científicos te presentan sus investigaciones aparece en tu mente un «quién sabe.». Pero este caso me incita a creer que dentro de unos años tendremos a nuestro alcance dispositivos que transmitan electricidad por el aire en industrias, espacios públicos, o incluso hogares.

El mecanismo: resonancia magnética

La clave del trabajo de André Kurs y Marin Sojagic es combinar el hecho de que los campos magnéticos inducen electricidad con un fenómeno físico llamado resonancia: todos los objetos tienen una frecuencia de resonancia determinada y, si consigues hacerlos vibrar a esa frecuencia específica, la energía de la vibración se amplifica considerablemente. Es lo que ocurre

cuando un grito muy agudo consigue romper una copa, o en las famosas imágenes de puentes oscilando de manera inverosímil. Éstos eran dos ejemplos de resonancia mecánica, pero los mismos principios se pueden aplicar al magnetismo. Se trata de construir un dispositivo que genere un campo magnético, enviarlo por el aire, y hacer que sólo resuene en el aparato receptor.

Un esquema: a un enchufe convencional le conectas un circuito (A), que transforma la corriente estándar de 60 hertzios a 10 megahertzios. Entonces la transmite a una bobina (B) que emite un campo magnético de esta misma frecuencia. A dos metros, otra bobina (C) de exactamente las mismas dimensiones recibe el campo magnético, resuena a la misma frecuencia, y por un proceso llamado inducción magnética atrapa la energía del campo e induce una corriente eléctrica que hace iluminar la bombilla (D).

André Kurs me dijo que todavía falta recorrer mucha investigación básica hasta que tenga sentido implantar esto en casas y espacios públicos, pero se mostraba absolutamente convencido de su viabilidad futura. Las primeras aplicaciones serán industriales, médicas, en sitios o circunstancias en las que resultaría muy beneficioso prescindir de cables, o incluso de baterías. Aspectos a mejorar son la distancia de alcance y la eficiencia. Es un logro que este mecanismo sólo pierda el 50 por ciento de la energía que invierte, pero con la situación energética actual únicamente puede ser coherente implantarlo a

gran escala si resulta muchísimo más eficiente. Algunas voces también han mostrado cierta preocupación acerca de posibles efectos sobre la salud, y la sensación de estar dentro de un microondas. Aunque *a priori* no hay motivos para preocuparse, sin duda deben ser investigados.

Nos sorprendimos hace algunos años con la llegada masiva de unos teléfonos que no requerían cables. Y hace menos, cuando incluso la información por internet viajaba de manera inalámbrica. *Quién sabe* si algún día la electricidad emulará al mundo *wireless*, y dejaremos de tener esos líos de cables por debajo de los escritorios, no buscaremos desesperadamente enchufes en conferencias o lugares públicos para conectar el portátil, en nuestra casa pondremos lámparas y aparatos eléctricos donde queramos, nos olvidaremos definitivamente de los dichosos alargadores, o nunca se terminará la batería del móvil.

4.5. Encender y apagar neuronas con la luz

Es muy arriesgado preguntarle a un científico que asiste a un congreso de neurociencia: « ¿Qué es lo último?», porque te puede responder: « ¡Los canales de rodopsina! Pueden significar una revolución en el estudio de la neurociencia. ¡Debes hablar de ellos en el blog!». ¡Uff! Con qué narices me atrevo yo a pedir a los lectores que presten atención a algo llamado canales de rodopsina, sobre todo cuando me confesaron que Vicky decía que era *muy nuevo* y sería noticia *en el futuro*.

Pero bueno, decidí investigar, y enseguida encontré la excusa ideal para presentarlos en sociedad sin reparo alguno: un vídeo espectacular que colgué en YouTube con el nombre «Mouse chr2». Si entráis en la página, veréis desde arriba un ratón oscuro tranquilito dentro de una caja blanca. Su única peculiaridad es que tiene un agujero en el cráneo y de él sobresale una bombillita. No parece molestarle, pero a los pocos segundos la bombilla se enciende con un tono azul y el ratón empieza a correr en círculos como un loco. Luego la bombilla se apaga, y él vuelve a quedarse quieto. Si miras otro vídeo llamado «Mouse chr2 control», observarás un nuevo ratón con la misma bombilla insertada en su cabeza, pero que no reacciona cuando ésta ilumina su corteza cerebral.

La diferencia entre ambos es que a la primera, además de la bombilla, los científicos han insertado algo más en las neuronas del córtex motor derecho del ratón

Permitidme que explique la historia desde el principio, porque es acoj... sorprendente:



En los años ochenta unos investigadores descubrieron que en la membrana celular de ciertas algas verdes había unos canales iónicos que, cuando recibían luz azul, se activaban y permitían la entrada de iones cargados positivamente a la célula. Bueno, pues muy bien Qué alegría, ¿no?

Pues resulta que hace muy poco otros científicos pensaron que si las neuronas tuvieran estos canales ChR2 de las algas verdes, como las señales eléctricas que recorren las neuronas se forman precisamente por la entrada y salida de iones positivos, quizá podrían activar células neuronales a voluntad utilizando sólo luz azul. Dicho y hecho. En 2005 Ed Boyden logró trasplantar el canal ChR2 a cultivos celulares de neuronas, y estimularlas a distancia con luz a la frecuencia específica del color azul. Dos años después, Kart Deisseroth, de la Universidad de Stanford, creó el ratón transgénico del vídeo que os describía. Deisseroth le introdujo el gen que codificaba la proteína ChR2, y ahora es el único mamífero que tiene canales de rodopsina en las membranas de sus neuronas motoras. Cuando estas neuronas del córtex derecho reciben luz azul, los canales se abren, dejan entrar iones positivos, se activan de repente y el ratón empieza a girar atolondrado hacia la izquierda. Si se apaga la luz, sus neuronas vuelven al reposo y el animal se detiene.

Esperad, que todavía hay más. Y merece la pena, os lo aseguro. A principios de la década de 1990 otros científicos habían descubierto un microorganismo (la arquea *Natronomonas pharaonis*) con un canal iónico que hacía justo lo contrario: al recibir luz amarilla,

permitía la entrada de iones negativos de cloro y detenía el potencial eléctrico de la membrana. Ed Boyden pensó de vuelta que este canal NpHR podía ser utilizado para desactivar neuronas y, a principios de 2007, en su laboratorio del MIT, esta vez creó unas neuronas que silenciaban cuando recibían luz amarilla. Poco después Kart Deisseroth y Feng Zhang anunciaron que habían inyectado genes en el cerebro de un gusano *C. elegans* para que expresara el canal NpHR en sus neuronas motoras. Resultado: cuando iluminaban al gusano con luz amarilla, los canales dejaban entrar iones negativos en las neuronas, disminuía el voltaje, las neuronas se desactivaban y el gusano detenía su movimiento. En el vídeo «*C. elegans NpHR yellow light*» podréis ver un gusano alternando movimientos intensos con paradas bruscas al aparecer una luz amarilla. Nuevo éxito y anuncio de revolución en la neurociencia. ¿Por qué? Por las radicales posibilidades que esto implica.

Si os estáis preguntando para qué sirven estos canales de rodopsina y NpHR, hay dos respuestas. Una es para investigar. La posibilidad de activar y desactivar grupos específicos de neuronas a voluntad es una nueva y poderosísima herramienta para entender el funcionamiento de los circuitos cerebrales implicados en una tarea, y cómo su actividad se relaciona con conductas o capacidades determinadas. Es decir, puedes activar o desactivar un conjunto de neuronas específicas, y ver qué ocurre. En un artículo de *Nature* estos avances se definieron como «lo mejor que le ha pasado a la neurociencia en mucho tiempo». La segunda respuesta, y es en lo que el grupo de neuroingeniería de Ed Boyden está trabajando,

recae en las aplicaciones clínicas de esta metodología: silenciar neuronas que están hiperactivadas como ocurre en el Parkinson y la epilepsia. Actualmente, para tratar estas enfermedades se utilizan electrodos cuya acción es poco específica. Sería ideal sustituirlos por implantes ópticos que hicieran lo mismo con luz amarilla de manera más localizada.

Debo confesar que en el congreso de neurociencia me explicaron que la verdadera exaltación colectiva se había producido el año anterior, ya que los resultados más espectaculares se realizaron durante 2007. Pero, con la perspectiva que ofrece el paso del tiempo, también me dijeron que las expectativas no habían disminuido, sino todo lo contrario. De repente, muchísimos grupos se han puesto a trabajar con esta novedosa tecnología. Sin duda, la posibilidad de activar y desactivar células nerviosas concretas permitirá grandes avances más allá incluso de la neurociencia, y todo apunta a que algún Nobel recaerá en el futuro en las personas que han abierto este campo de investigación.

El embarazoso « ¿Y esto para qué sirve? »

El « ¿para qué? » es una pregunta que suele incomodar a los científicos que hacen investigación básica. Unas veces porque su trabajo es tan complejo que se sienten incapaces de explicarlo, otras porque saben que sólo un pequeño porcentaje de las hipótesis que barajan fructificarán y no quieren lanzar falsas expectativas, y hay ocasiones en que ni ellos mismos saben qué aplicaciones prácticas pueden dar de sí sus

experimentos. Investigan para conocer y comprender; ése es el primer paso, y ya les parece suficiente. Que a ti también te lo parezca. A partir de ahora, cuando alguien me diga que está investigando sobre los canales iónicos de un microorganismo de nombre irrepetible, o estudiando cómo reaccionan ciertas algas verdes a la luz azul, nunca más me atreveré a poner en duda para qué sirve la ciencia básica.

§5. El mono que llevamos dentro

5.1. El bueno de Ardi y mi encuentro con la paleontología

«Si consultas a alguien por la calle cuál es el homínido más antiguo te dirá que Lucy, y si le preguntas qué había antes contestará que algo parecido a los chimpancés. El descubrimiento de Ardi contradice ambas respuestas», dijo Tim White durante la rueda de prensa a la que asistí en la sede de la Asociación Americana para el Avance de la Ciencia (AAAS) en Washington D. C.

Me había llegado la invitación un par de días antes, y reconozco que mi primera reacción fue de indiferencia. No me apasiona el estudio de los fósiles, siempre he pensado que los hallazgos y las conclusiones suelen exagerarse y, en comparación con otras disciplinas, ya tiene más que suficiente presencia en los medios. Además, pocas semanas antes se había producido el caso de Ida, anunciado por todo lo alto con una gran campaña de publicidad incluida, y que luego resultó no ser tan relevante como se prometía. Por cierto, no acuséis por enésima vez a los periodistas, pues como en muchas otras ocasiones, en el caso de Ida fueron los científicos

quienes incitaron a tal exageración. En cambio, la información que iban a presentar en la AAAS sobre el *Ardipithecus* parecía ser mucho más trascendente. Ardi sí podía sobrevivir más allá de un par de semanas en los periódicos y ser uno de los pocos fósiles que terminan cambiando los libros de texto. Decidí ir, y valió la pena. A las dos asunciones populares rotas por Tim White con su frase, se le sumó otra cuando una periodista le preguntó sobre la capacidad de caminar erguido de Ardi a pesar de no vivir en la sabana. White contestó: «La ciencia avanza formulando hipótesis y buscando evidencias que la refuten o confirmen. Ardi también demuestra que la teoría según la cual el bipedismo se originó como adaptación a las caminatas por la sabana es falsa».

Ardi es un millón de años anterior a Lucy, empezó a caminar a dos patas a pesar de vivir en un entorno arborícola, y siendo tan diferente a los monos actuales demuestra que, al contrario de lo que se pensaba, nuestro ancestro común no se parecía en absoluto a los chimpancés o los gorilas. Éstos son los tres hallazgos principales del fósil descubierto hace quince años, y de la avalancha de datos acumulados por los investigadores que fueron publicados esa semana en un especial de la revista *Science*, con once artículos científicos sobre Ardi. Uno de los más interesantes habla de los dientes de Ardi, y las pistas que nos dan sobre su conducta social. Todos los machos de primates menos nosotros tienen caninos grandes y afilados. Los utilizan para pelearse y solucionar conflictos, especialmente a la hora de competir por el apareamiento. Nosotros hacemos lo mismo, pero de manera muy diferente. ¿Desde

cuándo? Durante mucho tiempo se pensó que el desarrollo de herramientas y armas hacía innecesarios los caninos, pero cuando se vio que *Australopithecus* como Lucy ya tenían caninos pequeños se empezaron a explorar otras explicaciones.

Ardi y el resto de los fósiles encontrados de *Ardipithecus*, tanto machos como hembras, también tenían los caninos pequeños y no afilados. La explicación de Owen Lovejoy es que los primeros homínidos enseguida empezaron a formar grupos sociales más pacíficos, con relaciones monógamas para favorecer el cuidado de las crías, y los caninos poderosos dejaron de ser necesarios para competir por el apareamiento. Es más, las hembras empezaron a seleccionar machos menos agresivos y promiscuos para asegurarse un cuidado parental, con lo que el rasgo «dientes masculinos pequeños» quedó favorecido por la selección sexual. Lovejoy enlaza esta hipótesis con el bipedismo, y dice que dicho cuidado paterno podía implicar ir a recoger comida en el bosque y llevarla en sus brazos a la familia. Ésta es la interpretación de Lovejoy al inesperado descubrimiento de que un homínido tan antiguo ya tuviera caninos diferentes a todo el resto de los primates.

Cuando terminó la rueda de prensa, me acerqué a Lovejoy para preguntarle si estaba muy convencido de ello, y si creía que —como era tan habitual en el especulativo mundo de la paleontología— sus colegas estarían de acuerdo con él o defenderían la teoría que sustentase el fósil encontrado por ellos. Lovejoy contestó: «Oooh... en antropología siempre hay controversia. Pero hemos acumulado muchos datos y de manera tremendamente meticulosa. Intentamos

ponerlo difícil a los que quieran contradecirnos. Respecto a los caninos, lo que su ausencia nos muestra claramente es que esos homínidos no luchaban tanto entre ellos, y por consiguiente su organización social debía de basarse en la cooperación. Esto podría haber sentado la base evolutiva del crecimiento del cerebro. Los machos invertían menos energías combatiendo y más cuidando a las crías». Vaya con los caninos del bueno de Ardi.

Lovejoy: *Por cierto, tu acento... ¿de dónde eres?*

Pere: Spain.

L: *¡¡¡España!!! ¡Me encanta España! Y en Sabadell tenéis unos yacimientos importantísimos, que han dado dos esqueletos fósiles vitales para entender la evolución humana.*

P: Y también Atapuerca.

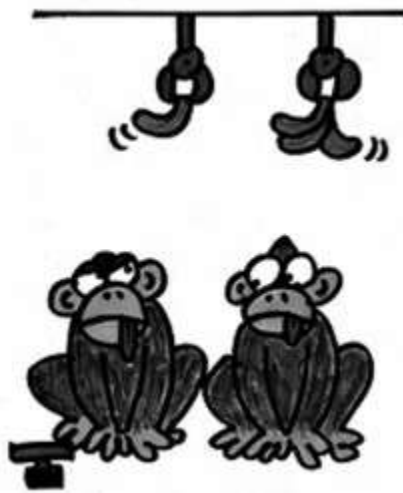
L: *¡Ah, sí! Claro... Un período de tiempo diferente... pero sí, fabuloso también.*

5.2. El valor biológico de la justicia y el origen evolutivo de la paciencia

El experimento empieza con dos monos en sendas jaulas contiguas. Uno de ellos tiene acceso a una palanca con la que acerca a la vez una galleta para él y otra para su compañero. Hasta aquí todo normal; siempre que el investigador coloca en el dispositivo una galleta para cada mono, el que tiene la palanca la utiliza y ambos consiguen el mismo premio.



(Ya sé, veis plátanos en la foto porque el dibujante Mikel Urmeneta hizo caso de su buen juicio estético para evitar dibujar algo tan aséptico como una galleta, pero el redactor del texto quiso mantener su rigor científico y no modificar la metodología del experimento. ¡Viva el entendimiento ciencia-artel!).



A lo que íbamos, y atentos, que ahora llega lo más curioso: si el investigador pone una galleta frente al mono con la palanca, pero tres frente al individuo pasivo, el que tiene el control se enfada y no realiza ninguna acción. Sacrifica su galleta. La situación le parece tan sumamente injusta que prefiere no obtener su premio si eso

implica que gracias a su trabajo un aprovechado se quede con el triple sin hacer ningún esfuerzo a cambio.

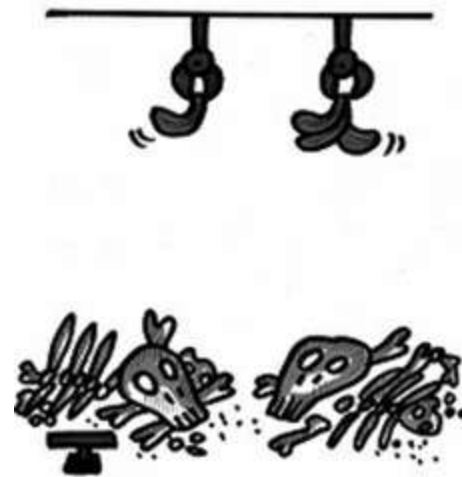
Es uno de mis experimentos favoritos, y cada vez que lo cuento en una cena o reunión de amigos se inician succulentas conversaciones. En una de ellas me preguntaron: « ¿Por qué no lo publicas en el blog?». Expliqué que lo había oído durante una charla de Marc Hauser en Harvard, pero todavía no estaba publicado en una revista que le otorgara la supuesta «veracidad científica». Los comensales me convencieron para publicarlo al día siguiente con un simple « ¿Y qué?».

Y es que tenían toda la razón del mundo. El estudio se las trae. Recuerdo haber leído acerca de chimpancés enfureciéndose si por una misma acción a un compañero le daban un premio superior al suyo, pero llegar a sacrificar de tal manera su propio beneficio es algo relativamente inesperado. Sobre todo porque esto en principio no debería estar favorecido por la selección natural.

El altruismo y el rencor son aspectos peliagudos en el estudio de la naturaleza humana. En la década de 1960 Robert Trivers estableció que el altruismo podría haber evolucionado para favorecer la reciprocidad dentro de los grupos de primates sociales, pero algunos interpretan esta colaboración como un egoísmo encubierto en el que la ayuda está condicionada a un beneficio futuro. Sea como sea, sí tiene sentido evolutivo.

Sin embargo, realizar una acción que suponga un coste para nosotros sin que eso implique ninguna recompensa es algo que no encaja en los esquemas de la selección natural. Entre dos monos,

uno rencoroso que no come la galleta y otro más cándido que sí se la come sin importarle que un desconocido obtenga tres a cambio, el que tiene más posibilidades de sobrevivir en la selva es el que vaya mejor alimentado.



Una explicación a este aparentemente ilógico comportamiento sería que para el buen funcionamiento del grupo es muy importante penalizar las injusticias y asegurarse de que nadie se beneficia en exceso del trabajo de los demás, pero tal «razonamiento» parecía demasiado sofisticado para los primates.

El estudio de las galletas induce a pensar que la mala sangre que sentimos cuando alguien sale beneficiado en demasía de una situación que consideramos injusta, aunque no nos afecte directamente, puede estar bien arraigada en nuestra herencia evolutiva.

Evidentemente, da para mucho más. Menos mal que tras darle vueltas y vueltas a las implicaciones de este experimento, Mikel insistió en que el no saber si eran macacos, chimpancés, tamarinos o bonobos, ni el porcentaje exacto de monos que no accionaban la

palanca, ni tener una triste fotografía para ilustrarlo, era una excusa para no publicarlo. « ¡Nada de eso debería ser un inconveniente!», replicó sabiamente Mikel mientras cogía papel, rotuladores, y compartía su arte con la ciencia.

Origen evolutivo de la paciencia

Al final sí busqué la referencia al artículo de Marc Hauser sobre los macacos resentidos⁴¹. Y mientras lo hacía, encontré otro que también daba juego para divagar acerca del mono que todos llevamos dentro⁴².



La pregunta « ¿Hay algo fundamental que diferencia a los humanos del resto de los animales?» siempre me ha recordado a « ¿Qué diferencia a un sevillano de un andaluz?»; pero es cierto que reflexionar sobre ella suele suscitar interesantes intercambios de ideas. En apariencia, nuestro cerebro se ha desarrollado hasta tal

⁴¹ Marc Hauser, Katherine McAuliffe y Peter Blake, «Evolving the ingredients for reciprocity and spite», *Phil Trans. R Soc. B* 64 (2009), pp. 3.255-3.266.

⁴² A. G. Rosati, J. R. Stevens, B. Hare y M. D. Hauser, «The evolutionary origins of human patience: temporal preferences in chimpanzees, bonobos, and human adults», *Current Biology* 17, 19 (2007), pp. 1.663-1.668.

punto que permite capacidades únicas, pero si te empeñas en defender que todo es cuestión de grado, resulta realmente difícil encontrar alguna habilidad que nos distinga de manera esencial. Los clásicos usos de herramientas y lenguaje ya hace tiempo que quedaron desterrados, al constatar que gran número de animales poseían sistemas de comunicación verbal y utilizaban palos o rocas para realizar trabajos. Es obvio que nosotros le añadimos varios niveles de complejidad, debido a la capacidad de abstracción y planificación a largo plazo de nuestra tan desarrollada corteza prefrontal. Alrededor de esta capacidad de abstracción es por donde anda la respuesta a qué nos diferencia del resto de los animales. Pero, al mismo tiempo, es difícil negar que un chimpancé metiendo un palo en un hormiguero no posea un mínimo de abstracción para prever que las hormigas subirán por él y podrá comérselas. Siempre que encontramos alguna característica que parece hacernos especiales, alguien aparece con un matiz que nos fuerza a reconocer que no somos tan exclusivos.

Tras mucho tiempo divagando sobre el mono que todos llevamos dentro, yo tenía una respuesta que me parecía original: «¡¡La paciencia!! Los homínidos somos los únicos seres que no sucumbimos a la recompensa inmediata si intuimos que la espera o el sacrificio nos reportará un beneficio mayor en el futuro. El resto de los impulsivos animales no tienen esta capacidad de extrapolación y autocontrol; sin embargo, nosotros mantenemos esta actitud hasta el sinsentido».

De hecho, esta hipótesis ya venía avalada por varios experimentos. En el artículo «La ecología y la evolución de la paciencia en dos especies de monos modernos», publicado en 2004 por Marc Hauser, se explicaba cómo cuando a monos tamarinos y marmosetes les daban a escoger entre un poco de comida inmediata o una cantidad mayor en el futuro, casi siempre se quedaban con la opción rápida. En cambio, si a los miembros de esa especie que se autosituaba en la cima de la evolución les ofrecías una cantidad económica ahora, o el doble dentro de un tiempo, la mayoría *piensan* y *deciden* esperar. Conclusión: la paciencia es una propiedad básicamente humana.

¿Seguro? Al grupo de Hauser no le encajaban un par de aspectos: 1) ¿qué ocurriría si en lugar de tamarindos y marmosetes los experimentos se hicieran con primates más cercanos evolutivamente a nuestra especie?, 2) ¿y si a esos sofisticados humanos les dieran a escoger comida en lugar del moderno dinero? Podéis imaginar la respuesta: continuamos siendo muy monos.

En un primer estudio diseñaron un sistema que permitía a bonobos y chimpancés entender que podían escoger entre dos uvas de inmediato o seis con un retraso de un par de minutos. Era la misma metodología que se había utilizado con los tamarindos, pero los resultados fueron muy diferentes. Bonobos y chimpancés exhibían un grado de paciencia nunca vista hasta el momento en el reino animal.

Luego realizaron un segundo estudio en el que comparaban la disposición de chimpancés y humanos a esperar por una cantidad de comida mayor. Sorprendentemente, los estudiantes

universitarios que participaron en la investigación eran más impacientes que los chimpancés, y soportaban peor la tentación de comer lo antes posible.

En un tercer experimento quisieron comprobar si los humanos respondíamos de manera muy diferente ante los premios basados en comida o en dinero. Y, como cabía esperar, los resultados indicaron que estamos dispuestos a contenernos mucho más ante recompensas monetarias futuras: somos muy humanos para el dinero, pero muy monos para la comida.

Está claro que el dinero es intercambiable por otros productos, no ofrece la misma satisfacción inmediata, y se puede guardar más tiempo que los alimentos. Quizá eso es lo que condiciona la diferencia de actitud. De hecho, también se observó un efecto curioso en marmosetes y tamarinos: dentro de lo poco que ambos esperaban, los marmosetes —que se alimentan de vegetales— tenían más paciencia que los tamarinos, cuya dieta incluye insectos que requieren cazarse con acciones rápidas. Seguro que podemos encontrar diversas interpretaciones. La objetividad en los estudios de conducta humana también es cuestión de grado. Pero los resultados sí inducen a concluir que la capacidad de tomar decisiones pensando en el futuro es un rasgo evolutivo que apareció antes de la llegada de los homínidos, y que en ciertos contextos nuestros parientes más cercanos son incluso más pacientes que nosotros y reciben mayor recompensa. Somos muy racionales con algo como el dinero, que nuestra mente más primitiva no entiende,

pero cuando nos ponen delante unos estímulos más primarios, parece que no hayamos evolucionado tanto como creíamos.

5.3. El gen altruista: la evolución nos hizo bondadosos

Recuerdo estar tomando una copa en el bar The Miracle of Science en Boston, acercarse una ex amiga y decirme algo parecido a «Te vi la semana pasada en ese evento del museo del MIT sobre ciencia para el Tercer Mundo». « ¡Ah, sí! —respondí—. Estuvo bien, ¿verdad?». Ella contestó algo parecido a: «Fue interesante, pero a mí no me gustó, porque no creo que estemos obligados a ayudar a los países pobres. Cada uno que se cuide de los suyos».

No estoy exagerando, más bien todo lo contrario. De hecho, evito por decoro las justificaciones posteriores al racismo, xenofobia y sexismo espetadas por esa loca ante mi incrédula mirada justo antes de decir: «Yo creo en el darwinismo social. La naturaleza nos ha hecho seres competitivos, que nos preocupamos por nuestro propio interés y el de la comunidad directa que nos acoge. En el fondo, todos tenemos instinto egoísta. Defender lo contrario es una hipocresía. Mis nietos van a competir con los nietos de los países africanos». Cuando oí «darwinismo social» me sulfuré. Dejé que terminara su frase, la miré directamente a los ojos, y le dije: «No quiero hablar contigo nunca más». Lo cumplí.

El darwinismo social es una teoría pseudocientífica que pretende aplicar la lógica de la selección natural al funcionamiento de la sociedad. Asume que la «supervivencia del más apto» es algo positivo y que hay que fomentar. El bien colectivo es una noción romántica;

la evolución nos ha programado como seres competitivos preocupados por maximizar el beneficio propio, y todas las acciones altruistas que podemos observar dentro de una comunidad animal son en realidad un egoísmo encubierto, una estrategia para cohesionar el grupo cuando de esa manera resulte más exitoso sobrevivir. Ya sé, algo de sentido parece tener...

Mi indignación con esa persona no era por pensar que no nacíamos con cierta programación genética maquiavélica, sino por utilizar el darwinismo social para justificar ciertas lacras sociales, en lugar de fomentar que el progreso cultural corrija la codicia innata que pueda arrastrar nuestra especie. Pero reconozco que, de alguna manera, yo también asumía que nacíamos «malos»; que el altruismo verdadero era un bien adquirido, no genético.

Sin embargo, cambié de parecer gracias a que a los periodistas radiofónicos no les interesa la ciencia. Me explicaré más tarde. El hecho es que un día cayó en mis manos el libro *The Age of Empathy* del primatólogo Frans de Waal cuya tesis es: «Basta ya de creer que somos egoístas por naturaleza. ¡No lo somos! Las investigaciones en conducta animal llevan años sugiriendo que debemos cambiar este paradigma, y asumir que la evolución ha insertado la empatía y la solidaridad en nuestro comportamiento básico».

Empatía es la palabra clave. Frans de Waal reconoce que la empatía surgió para que las madres cuidaran de sus hijos, y posteriormente se extendió a la cohesión de grupos sociales. Pero una vez instaurada en nuestros cerebros, pasó a ser un instinto que se manifiesta más allá del grado de parentesco. No vamos por ahí

haciendo cálculos matemáticos de cercanía genética para saber con quién debemos aplicarla. Simplemente, durante nuestro pasado evolutivo nos transformamos en seres bondadosos.

Resulta obvio que tenemos un lado competitivo y otro social. De Waal explica que sus chimpancés se preocupan primero por el beneficio propio, luego por el de sus parientes, y finalmente por los componentes del grupo que le rodean. Pero esto no termina ahí de ninguna manera. En sus experimentos ha demostrado que la cooperación, el sentido de la justicia, la aflicción, la empatía, se extienden mucho más lejos de la lógica egoísta-competitiva, y se pueden observar incluso entre especies diferentes.

No es un razonamiento nuevo. Lynn Margulis lleva tiempo defendiendo la cooperación como un mecanismo más poderoso que la competencia incluso a escalas bacterianas, y libros como *La mente moral* de Marc Hauser sugieren que los valores morales forman parte intrínseca de nuestra naturaleza. Pero el cambio cultural es lento, y venimos de un siglo donde la cultura occidental ha estado promoviendo sistemas basados en la competencia. La asunción neo darwinista de que la selección natural nos hizo unos egoístas encubiertos está fuertemente instaurada, en parte gracias a obras muy influyentes como *El gen egoísta*, de Richard Dawkins. Frans de Waal argumenta que no es así en absoluto, y debemos empezar a cambiar de paradigma.

Conscientes de que en el debate sobre la naturaleza humana hay más interpretación que pruebas irrefutables, la posición de De Waal parece acarrear una reflexión importante: no nacemos con un

instinto codicioso y cruel que la sociedad deba corregir, sino con una profunda predisposición a la empatía y la solidaridad desinteresada que nuestras estructuras sociales no deben corromper.

Sobre el desatino de la radio: una amiga locutora me ofreció un tour por los estudios centrales de la NPR (la emisora pública de Estados Unidos). Allí, en las diferentes redacciones había estanterías de libros descartados que les llegaban para preparar entrevistas, pero luego nadie quería llevárselos a casa. Encontré un montón de libros buenísimos de ciencia. Entre ellos, el de Frans de Waal. Tenía ya seis en mi mochila y no cabía ninguno más, pero entonces encontré otro fantástico: *The World in Six songs*, de Daniel Levitin, sobre neurociencia y música. Lo tenía en mis manos pensando qué libro iba a descartar de mi repleta mochila para alojar el de Levitin, cuando apareció otra acompañante de las visitas y dijo « ¡Uau! Leí el otro día una reseña de este libro. Me encantaría leerlo, ¿te lo vas a quedar? ». Me salió un instintivo: «No, no.», « ¿Seguro? ». «Sí, sí, seguro. Mira, tengo ya la mochila llena». No sé de dónde apareció ese acto «altruista». Realmente, no tenía ningún sentido. No iba a ver de nuevo a esa chica, ni tenía ningún interés en ello. Me sentí un poco tontín, pero no arrepentido de perder el libro. Creo que instintivamente empaticé con su felicidad momentánea. No sé si es genético o cultural, ni si volvería a repetirlo, ni si hubiera hecho lo mismo estando hambriento ante un trozo de carne; pero recordé ese suceso días después leyendo el libro de De Waal, y creo que —sin

pretender dármelas de nada— esa reacción inmediata se podría clasificar de bondad instintiva.

5.4. Estresados por demasiado/poco inteligentes: tu jefe es un babuino

Un comentario habitual entre los turistas que visitan Nueva York por pocos días es: «Me encanta, es muy estimulante, pero no podría vivir aquí, ¡me estresaría!». Tú les cuentas que la ciudad cambia de cara cuando la disfrutas con tiempo, pero sabes que no hay nada que hacer. Están experimentando algo parecido a subir una montaña rusa: tres minutos es excitante, te vigoriza, disfrutas, te sienta bien, pero nadie soportaría tres horas seguidas de subidas y bajadas atolondradas. Como dice el gran Robert Sapolsky, un poco de estrés es bueno, nos pone alerta y nos permite salir airoso de situaciones conflictivas. Pero el estrés continuado es devastador. Y no se refiere sólo a ir corriendo a todos sitios, sino también a la capacidad que nos brinda nuestro evolucionado cerebro de estar preocupados constantemente.

Un cuerpo desequilibrado

Vivir sin nada de estrés es utópico. Todos los animales necesitamos que en algún momento nuestro cuerpo segregue de golpe adrenalina y glucocorticoides para acelerar el ritmo cardíaco, dirigir energía hacia los músculos, incrementar nuestra atención y rapidez mental, e inhibir las funciones metabólicas que en momentos de riesgo no son imprescindibles,

como la digestión, el crecimiento o la reproducción. El mecanismo por el que actúa el estrés es uno de los vestigios evolutivos más ancestrales que compartimos con el resto de los animales. La diferencia es que mientras un león y una cebrá sólo se estresan unos minutos al día mientras uno persigue al otro, nuestra especie es la única que puede generar la misma reacción fisiológica y extenderla indefinidamente con sólo pensar en la hipoteca, la presión laboral, proyectar preocupaciones futuras, sueños frustrados, y muchísimos otros factores psicosociales. Sapolsky y otros científicos han demostrado que los episodios de estrés prolongado afectan a tu memoria porque destruye neuronas de tu hipocampo, deprime el sistema inmunológico, aumenta la presión arterial, cambia la distribución de grasas en tu cuerpo, afecta a los telómeros de tu ADN causando envejecimiento prematuro, altera tu ciclo menstrual, causa disfunción eréctil, e incrementa el riesgo de enfermedad cardíaca. No sólo en los humanos, sino también en otros primates sociales como los babuinos.

Babuinos perversos como modelo para estudiar humanos

Robert Sapolsky es uno de los mejores comunicadores científicos que conozco. Lo descubrí gracias a la videoconferencia que hicimos en Redes desde su laboratorio de Stanford. La claridad de su mensaje, pero también su desparpajo casi irreverente, nos entusiasmó tanto que programamos una nueva entrevista en persona pocos meses

después. Fue maravillosa de nuevo. Desde entonces le sigo la pista. Sus libros y artículos son un referente en comunicación científica, un ejemplo de que los científicos pueden utilizar un lenguaje natural y desenfadado para comunicar sus resultados al gran público. Por eso, cuando supe que visitaba Washington D. C. para dar una charla en el National Geographic como presentación del documental inspirado en su trabajo «Estrés asesino», no dejé pasar la oportunidad de conocerlo persona.

Robert Sapolsky lleva treinta años combinando sus investigaciones neurocientíficas en Stanford con el estudio de babuinos en Kenia. Para él, estos primates se han convertido en un excelente modelo para investigar los efectos del estrés social y prolongado. Sus babuinos no tienen depredadores naturales. Sólo invierten tres horas al día buscando comida, y el resto del tiempo se dedican a fastidiarse entre ellos. Como en algunos trabajos. Sus grupos sociales son muy jerarquizados, con al menos cinco rangos diferentes, y siguen pautas de comportamiento parecidas a las de los humanos

Cuando un macho increpa a otro de una categoría inferior, éste se enfada, y ¿cuál es su reacción? Ir a descargarse con otro babuino que esté por debajo de su rango. Como tantos mediocres cargos intermedios en empresas. En el documental Sapolsky dice: «Llevo treinta años estudiándolos, pero confieso que no me caen bien. Son extremadamente crueles entre ellos, y se infligen una cantidad de estrés psicológico enorme». Sapolsky ha estado tomando muestras de sangre de los babuinos para

analizar su estado de salud y las hormonas relacionadas con el estrés en función de la jerarquía social que ocupan. Las conclusiones que publicó en *Science* son claras: cuanto más bajo estás en el rango, más estresado te encuentras y peor es tu salud⁴³. Estos resultados son consistentes con un estudio parecido que Michael Marmot realizó con funcionarios británicos. Contrariamente a lo que se suele pensar, el más estresado no es el jefe, sino los cargos inferiores. La falta de control es un factor directamente relacionado con el aumento de estrés. La peor situación que puedes vivir en tu empresa es tener mucha responsabilidad y poca autonomía. Es decir, si algo falla sabes que la culpa será tuya a pesar de que tus superiores no te otorgan libertad alguna para tomar decisiones. ¿Os suena?

Atajar el estrés de raíz

Sapolsky apunta asimismo que esta mente tan desarrollada que permite estresarnos por motivos psicológicos también puede ser utilizada a nuestro favor. Podemos reflexionar: «A ver, este trabajo infravalorado no es lo más trascendente, lo que realmente me importa es ser el capitán de mi equipo de béisbol, o formar parte de un grupo en mi parroquia». Nuestra capacidad de abstracción mental puede conducirnos a más estrés, pero también jugar a nuestro favor si sabemos utilizarla correctamente. Sapolsky es muy crítico con las «presiones

⁴³ Robert M. Sapolsky, «The influence of social hierarchy on primate health»; *Science* 308, n.º 5.722 (2005), pp. 648-652.

absurdas» que genera el estilo de vida estadounidense. Y cuando le cuestionan diciendo que esas presiones son necesarias para ir avanzando contesta: «No compensa». Las maneras de reducir tal presión psicológica ya las sabemos: ni dejes que te estresen, ni estreses tú a nadie. Mantén unas relaciones sociales satisfactorias, y cambia de perspectiva y prioridades. Al final de la charla alguien le preguntó por la meditación. Contestó con cierta ironía que no lo había investigado porque los babuinos son malos meditadores, pero que no tiene sentido almorzar a toda prisa para poder ir veinte minutos a meditar, y luego regresar cinco horas a tu trabajo angustioso.

Me hizo pensar. Parece que el desarrollo del cerebro esté aún a medio camino. Nuestra especie es tan inteligente que puede estresarse por causas psicosociales, pero todavía no es lo suficientemente lista como para saber cómo evitarlo.

5.5. Matrimonio con robots: botones darwinianos y tecnoentusiasmo desmesurado

En el libro *Amor y sexo con robots*, David Levy afirma que en 2050 empezaremos a casarnos legalmente con robots. Habrán avanzado tanto que nos resultarán romántica y sexualmente atractivos, e incluso tendrán la capacidad de enamorarse de humanos. Para Levy, el amor y el sexo con robots es inevitable. En un artículo de *Scientific American* se puede leer la siguiente cita suya: «Si la

alternativa es sentirte solo, triste y miserable, ¿no es mejor estar con un robot que actúa como si te quisiera?, ¿realmente importa, si en el fondo te hace ser más feliz?». En la entrevista que acompaña al artículo, asegura que las generaciones nacidas en un mundo ciberelectrónico no verán anormal considerar a androides como amigos, compañeros, o amantes. Además, hay muchas personas con un vacío emocional y afectivo enorme que podrían beneficiarse de las relaciones con robots. Para él sólo hay un pequeño paso entre enamorarse en internet de un «desconocido» o de un robot. Recuerda a una especie de test de Turing, en el que haces preguntas «a ciegas» a una persona y una máquina, y por sus respuestas no puedes deducir quién es quién. Claro que podríamos encontrar cierto sentido en los planteamientos de Levy, pero no voy a darle más coba. Sus especulaciones propagandistas no me interesan en absoluto. En cambio, sí es tremendamente relevante el análisis serio y meticuloso que algunos científicos y sociólogos están haciendo sobre la relación que tendremos con los nuevos robots sociales, cuando éstos logren escapar de los laboratorios.

Robots de compañía: ¿mejores que una mascota?

Estando en el MIT asistí a una interesantísima discusión con Cynthia Breazeal, directora del grupo de robots personales en el Media Lab y creadora del famoso robot Kismet capaz de expresar emociones, y Sherry Turkle, socióloga directora del MIT Initiative on Technology and Self y autora de libros como *The Second Self* y *La vida en la pantalla*, donde analiza nuestra

interacción con la tecnología desde el punto de vista psicológico y social. Es un sacrilegio, pero por principios de economía lingüística resumo las explicaciones de Breazeal y me centro en el análisis crítico de Turkle, cuyas reflexiones me parecen imprescindibles.

El objetivo del grupo de Cynthia Breazeal es construir robots que manifiesten conductas sociales, expresen emociones, muestren empatía, y se relacionen con nosotros en términos más humanos. Más allá de ser tratados como juguetes, en un futuro muy cercano los robots personales podrían ser utilizados con fines educativos en niños, como compañía de personas mayores, o en hospitales donde no se pueden tener mascotas. Kismet fue el primer robot emocional que se construyó, Leonardo es el más logrado en cuanto a expresividad, y su última perla, el MDS, era uno de los robots sociales humanoides más avanzados que existían. Suficiente publicidad gratuita por hoy. Vayamos a la parte seria del asunto: Sherry Turkle ha realizado estudios en los que reparte robots personales entre niños y personas mayores. El objetivo es investigar la naturaleza de la relación que se establece con ellos, analizar los sentimientos que evocan estos «artefactos relacionales», y ver qué nos pueden mostrar sobre nosotros mismos.

¡Turtle explica que estas máquinas programadas para mostrar sensibilidad consiguen presionar los «botones darwinianos» que la evolución ha cableado en nuestro cerebro: sus grandes ojos

se fijan en tu mirada, persiguen tus movimientos, reaccionan ante el tono de voz, cambian las expresiones faciales cuando se les acaricia! Estamos programados para reaccionar emocionalmente ante algo que interactúe con nosotros. Cuando la gente pasa tiempo con estos robots, llega un momento en que realmente los considera criaturas con intenciones, emociones y autonomía. Entonces empiezan a tratarlos como si estuvieran vivos, se proyectan sentimientos, aparece la sensación de reciprocidad (cuidarse mutuamente), e incluso el vínculo emocional. Algunos no quieren desprenderse de ellos. El siguiente comentario extraído de una participante en sus estudios refleja una reacción bastante corriente: «Es mejor que un gato, no hará nada peligroso, ni exigirá tantos cuidados, ni te traicionará, y no se morirá de golpe haciendo que te sientas triste».

La tecnología no es sólo una herramienta

Sherry Turkle se define como una crítica cultural. No toméis este término como la definición de una persona rebuscada que sistemáticamente busca el aspecto negativo de cualquier avance tecnológico. Todo lo contrario. Su perspectiva desde la disciplina académica de ciencia, tecnología y sociedad (STS) es objetiva; simplemente, plantea unas preguntas sobre el mundo de la ciencia que no suelen realizarse los investigadores.

De hecho, en sus obras siempre se ha mostrado muy positiva acerca de nuestra relación con la tecnología, pero reconoce que

desde hace un par de años ha detectado cierto tecno entusiasmo pragmático que le preocupa. Y cita como ejemplo extremo el libro de Levy y la posibilidad de ser amigos o amantes de un robot. Lo que más le conmueve no son las elucubraciones futuristas, sino la velocidad a la que tales ideas se están aceptando como una opción viable contra la soledad. Turkle asegura que hace años la gente negaba tajantemente que el sentimiento «simulado» de un robot pudiera tener un efecto equivalente a un sentimiento «real». Pero cada vez encuentra más reacciones del tipo «los humanos también fingimos y nos creemos sentimientos falsos entre nosotros». Entre sus encuestas ha encontrado casos de personas con varios fracasos amorosos y un profundo temor a la soledad, que se mostrarían abiertas a forzar la ilusión de un robot como alguien vivo que les ofrece compañía. O niños que en una exposición se mostraban decepcionados con la inactividad de las tortugas reales, y aseguraban que ellos las sustituirían por animales artificiales. Lo que importaba era el comportamiento, no si un objeto está vivo o no. Según Sherry Turkle, el concepto de «realidad» está cambiando muy rápido entre las nuevas generaciones. Se está gestando una crisis de la autenticidad en la que se difuminará la diferencia entre un gato y un robot. La combinación entre aislamiento físico e intimidad cibernética nos podría conducir a unos niveles de superficialidad y promiscuidad tecnológica impensables hace unos pocos años. A mí los robots sociales del Media Lab no me merecen admiración

ninguna y más bien los veo como un capricho del enfermo mundo desarrollado, pero ¿beneficiarán a las personas mayores? Seguro que sí. ¿Harán sentirse mejor a los individuos con déficit de afecto? ¿Serán útiles en la educación de los niños? Muy probablemente. ¿Perjudicarán nuestra integridad moral? La respuesta no depende de lo que las máquinas sean capaces de hacer hoy en día, o en el futuro, sino en qué nos convirtamos nosotros.

§6. Ciencia contra la pobreza

6.1. El laboratorio más rudimentario del MIT

Hay un punto concreto de la calle Ames en el campus del MIT que defino como «el rincón más interesante del mundo». A tu derecha tienes el Media Lab donde se diseñan los proyectos tecnológicos más futuristas del MIT. Frente a ti el Departamento de Biología Sintética, y escasos 100 metros más adelante el Broad Institute, posiblemente el centro más avanzado en genética del mundo. Si giras a la izquierda, verás el Stata Center con sus reconocidísimos centros de robótica e inteligencia artificial, un edificio con laboratorios químicos, nanotecnológicos y de ingeniería espacial, la torre con algunos de los climatólogos más prestigiosos de Estados Unidos, y la construcción del Koch Institute, que con un presupuesto millonario aplicará principios de ingeniería a la investigación en cáncer. Y si alzas la mirada, podrás distinguir una parte de los Institutos Picower y McGovern dedicados exclusivamente a la neurociencia. Detrás de ti encontrarás la reconocida Sloan School of

Management, a su lado la Facultad de Economía del MIT que ha generado tantos premios Nobel, y las aulas del Departamento de Ciencia, Tecnología y Sociedad a cuyos seminarios yo acudía cada lunes por la tarde.

Paseando por el MIT respiras futuro, y no te queda ninguna duda de que en lugares como éste es donde se inventa parte del mundo en el que viviremos. Puedes cruzarte con el robocar y darte cuenta de que es un todoterreno autónomo que se desplaza sin conductor ni control remoto; sólo con sensores y un sistema de posicionamiento que le permite dirigirse a sí mismo. O que Rodney Brooks te presente a su robot con sensores táctiles deformables llamado Obrero, y el Departamento de Ingeniería Mecánica al robosnail, que imita a un caracol y sube por las paredes llegando a cualquier rincón que se proponga. Dava Newman tiene colgado en su pared el traje espacial que puede sustituir a los engorrosos que actualmente llevan los astronautas. En el Institute for Soldier Nanotechnologies descubres la abrumadora cantidad de dinero que el ejército de Estados Unidos está invirtiendo en sensores, implantes biónicos y protectores a base de nanotubos con el objetivo de proteger mejor a sus soldados. Puedes ver una bombilla encendiéndose sin ningún cable que le transmita electricidad, un catalizador químico que descompone agua en oxígeno e hidrógeno con prometedora eficiencia, o presenciar las espectaculares explosiones en el interior del impactante reactor Alcator C-Mod del centro para el estudio de la fusión nuclear. Tobillos electrónicos, robots expresando emociones, todo tipo de interfaces con el ordenador, nanopartículas

que viajarán por tu torrente sanguíneo, bacterias programadas genéticamente, o un ingeniero investigando cómo puede dirigir un sonido para ser oído sólo en un lugar concreto. He estado físicamente en todos estos laboratorios y muchos más. Pero si tuviera que escoger uno como mi preferido, quizá me quedaría con el más rudimentario de todos: el D-Lab dirigido por la carismática Amy Smith.

El objetivo del D-Lab (laboratorio del desarrollo) es al tiempo menos y más pretencioso que todo este *high-tech* dirigido a inventar el futuro. Sólo pretende aprovechar las ingeniosas mentes de los estudiantes del MIT para solucionar problemas concretos en países en vías de desarrollo, que no es poco. Hay una única condición: hacerlo de manera sencilla y barata para que pueda ser implantada fácilmente por la comunidad que la reciba. La transferencia de tecnología que ellos impulsan no consiste en regalarles molinos eléctricos para triturar el grano y producir harina, sino ayudarles a diseñar un aparato que ellos mismos puedan construir, difundir, y consiga reducir la enorme cantidad de mujeres que pasan largas horas haciendo este proceso de forma manual. Es un verdadero intercambio de conocimiento entre uno de los centros pioneros en la actual revolución tecnológica y algunos rincones del planeta que están todavía lejos de la revolución industrial.

Es tan seductor que la asignatura organizada por el D-Lab es de las más solicitadas por los estudiantes del MIT. Cada año hacen sorteos para seleccionar a los afortunados, cuyo proyecto será analizar las necesidades identificadas por ONG o miembros del D-Lab, buscar

soluciones, viajar tres semanas sobre el terreno, trabajar con la gente local para resolver la problemática en cuestión, y recibir la recompensa emocional que supone ayudar de forma noble a personas que lo puedan necesitar. Muchos definen esta asignatura como la más influyente de sus estudios, y algunos han decidido reorientar su carrera profesional hacia el mundo de la cooperación al desarrollo. Y no es un tema baladí, si hablamos de estudiantes brillantes destinados a causar un fuerte impacto en cualquier tarea que desarrollen. El D-Lab ya ha implantado los molinos antes citados en comunidades de Senegal, prótesis más baratas y fáciles de ajustar en la India, un sistema de cloración del agua que se está extendiendo por Honduras, generadores para cocinar con energía solar en Lesotho (África), una desgranadora manual de cacahuetes, incubadoras que no requieren electricidad para realizar análisis bacteriológicos del agua, y muchos otros proyectos que en países pobres no saben cómo abordar, ni hay empresas con interés comercial suficiente para desarrollarlos.

Quien primero me mostró el casi rústico taller del D-Lab fue el ingeniero español Víctor Grau, cuyo proyecto favorito tras varios años como profesor en el D-Lab era la producción de carbón para cocinar a partir de desechos agrícolas. Puede que no te parezca tan impactante; ésa también fue mi primera reacción. Pero cuando Víctor te explica que en Haití las familias gastan casi el 25 por ciento de sus recursos en comprar madera para cocinar, que esa madera proviene de una preocupante deforestación, y que a escala global los humos que se respiran en el interior de las casas

representan uno de los principales problemas de salud en niños menores de cinco años, te das cuenta de que transformar restos inservibles de mazorcas de maíz en carbón sí puede tener un fuerte impacto. La simple e ingeniosa técnica de carbonización desarrollada por el D-Lab ya ha sido exportada a diferentes rincones del planeta.

Es una tarea encomiable posibilitada por el compromiso y el liderazgo de Amy Smith, una brillante ingeniera que decidió alejarse de ideas futuristas extravagantes y trabajar directamente en solucionar problemas concretos en los países que más lo necesitan. Conocí por primera vez a Amy durante un seminario, y volví a coincidir con ella en diversas ocasiones. Aparece frecuentemente en los medios de comunicación, la solicitan en numerosas conferencias, ha recibido varios premios, y está considerada una de las personas más carismáticas del MIT; pero cuando conversas con ella sólo transmite humildad, honestidad, una profunda vocación por su labor, y percibes esa calma y satisfacción que produce hacer un trabajo bien hecho, del que se siente orgullosa, y que contribuye a avanzar hacia un mundo mejor. Inspiradora. Porque, como dijo en una ocasión, en este reto global *the difference between nothing and something is everything*, «la diferencia entre algo y nada lo es todo».

6.2 Benedicto XVI: Las evidencias científicas contradicen sus palabras

— ¿Es positivo dar libros a los niños de países en vías de desarrollo para mejorar su educación?

— ¡Sí, claro!

— ¿Cómo lo sabes?

— Hombre, me imagino que.

— No imagines nada. ¿Es más efectivo que proporcionarles un profesor adicional, o darles un desayuno gratuito?

— No lo sé. Una cosa no quita la otra.

— Si tienes un presupuesto ajustado, sí.

— Pero es mejor tener libros que no tenerlos. Yo creo que...

— No creas nada. Es un tema demasiado serio para abordarlo según lo que «creas». Si tu objetivo es mejorar la educación en un país como Kenia, y dispones de unos recursos limitados, deberías tener muy, pero muy claro, cuál es la forma más eficiente de gastarlos.

— ¿Y cómo puedo averiguarlo?

— Selecciona un buen número de escuelas con características similares en una misma región. A unas les das libros, a otras les proporcionas profesores, a otras das comida gratis a los alumnos que acudan a clase, en otras regalas uniformes, en otras desparasitas a los niños regularmente, y en otras no haces nada de momento. Intenta controlar todos los factores que puedas, sigue el desarrollo de los alumnos durante uno o dos años, y al final analiza qué impacto real ha tenido cada medida, y cuánto te ha costado.

— Esto me recuerda a los estudios sobre salud. Para ver si el aceite de oliva es bueno para el corazón, y todo eso, ¿no?

— ¡Exacto! Se llama un *randomized trial*, «estudio randomizado», o ensayo aleatorio controlado, y es una metodología propia de los estudios epidemiológicos.

—Me parece un poco exagerado, ¿eso se debe hacer en cada caso?

—No. Si quieres solucionar problemas concretos que ya tienes bien identificados, o cuentas con mucha experiencia sobre el terreno, quizá no es necesario. Pero si pretendes abordar una situación nueva, o tienes dudas sobre si ciertos programas ya implantados son efectivos o no, esos estudios pueden resultar de gran ayuda.

—De todas formas, ¿no es un proceso un poco lento?

—Piensa a medio plazo.

—Entonces... ¿cuál es la mejor forma de mejorar la educación en Kenia?

Éste es el tipo de preguntas que intentan resolver en el Poverty Action Lab del Departamento de Economía del MIT. Ellos mismos definen su objetivo global como: «luchar contra la pobreza asegurando que las decisiones políticas se basan en evidencias científicas». Para ello trabajan en colaboración con ONG y gobiernos, evaluando mediante estudios randomizados el impacto de sus programas sociales contra la pobreza. El ejemplo citado en el diálogo anterior es real. Una serie de estudios realizados en Kenia y la India concluyeron que los libros que estaba suministrando una ONG causaban un ligero impacto sólo en el 5 por ciento de los niños. El profesor adicional era una medida un poco más efectiva, pero con diferencia la más cara. Regalar uniformes al inicio del curso aumentaba la escolarización en un 15 por ciento. Las escuelas que servían desayunos gratuitos reducían el absentismo en un 30 por ciento. Pero los resultados más notorios los obtuvo el programa de desparasitamiento. Además de ser la acción más

barata, los niños sin gusanos intestinales perdían menos días de clase y tenían un rendimiento escolar muchísimo mejor. Claramente, desparasitar a los niños era la medida con mejor relación «coste-efecto», y según el Poverty Action Lab debería convertirse en una de las acciones prioritarias a implementarse a gran escala en las escuelas de los países pobres.

Conocí este estudio y al Poverty Action Lab (J-PAL) durante un seminario impartido por su directora, la economista Esther Duflo, en el Departamento de Ciencia, Tecnología y Sociedad del MIT. Me impactó. Una de mis obsesiones es que la ciencia impregne cada vez más la toma de decisiones políticas, y ver que la metodología científica podía ser aplicada en la lucha contra la pobreza me resultó tan interesante que posteriormente me reuní con otros miembros del JPAL para pedirles más información sobre sus evaluaciones. Una de ellas me vino al pelo quince meses después.

Sida en África: ideología versus ciencia

Cuando en marzo de 2009 oí al papa Benedicto XVI decir durante su visita a África que «la distribución de preservativos no soluciona el problema del sida, incluso lo agrava», mi primera reacción fue de estupor y enfurecimiento visceral. ¿Cómo podía alguien tan influyente espetar semejante sandez? ¿Hasta tal punto estaba su ideología por encima de la vida de tantos miles de personas?

Te calmas pensando que podría haber sido un lapsus sacado de contexto. Pero cuando al día siguiente el Vaticano reitera

oficialmente dichas palabras, te enervas todavía más al comprobar lo desfasada y peligrosa que puede llegar a ser la Iglesia católica como institución. ¡Que se aparten de una vez por todas!, piensas sofocado.

Entonces te relajas de nuevo, y dudas. A ver si resulta que tendrán algo de razón... ¿Qué sé yo lo que le conviene a África? Recuerdas el estudio que demostraba que repartir libros en escuelas africanas no mejoraba el rendimiento escolar de los alumnos, y constatas que las recetas que funcionan en los países ricos no tienen por qué hacerlo en el complejo mundo en vías de desarrollo. Te asaltan ciertos interrogantes, ¿a ver si me estaré dejando llevar yo también por ideas preconcebidas?

Justo tres semanas atrás había visitado Boston y charlado de nuevo con Esther Duflo, una de las directoras del J-PAL. Recordé su mensaje principal: para atajar los problemas de los países en vías de desarrollo debemos utilizar menos ideología y más ciencia. Empecemos por no asumir tan alegremente que conocemos bien las soluciones y sólo se trata de implantarlas, ya que muchos años y millones de dólares invertidos por instituciones como el Banco Mundial, el FMI o infinidad de ONG... demuestran lo contrario. En África se llevan gastadas cantidades ingentes de dinero en proyectos que no funcionan. De nuevo, la propuesta del J-PAL: ante un problema determinado, utilizar la metodología científica para evaluar cuál es la mejor intervención para solventarlo.

¿Habrán realizado algún estudio randomizado para comparar diferentes políticas de prevención del sida? ¿Habrán evaluado científicamente si potenciar el uso del preservativo disminuye el número de contagios? Búsqueda en su web y... ¡bingo! En 2006 Esther Duflo publicó los resultados de un estudio financiado por el Banco Mundial para analizar la conducta sexual de los adolescentes de Kenia, y justo en enero de 2009 Pascaline Dupas había presentado una ampliación

Información insuficiente en Kenia

En las sesiones sobre prevención del sida que se imparten en las escuelas de Kenia se habla de cómo se transmite el virus, de cómo lidiar con personas infectadas, de abstinencia hasta el matrimonio... pero no se mencionan los preservativos. Sí, es inaudito; según el estudio del J-PAL, el programa educativo diseñado por el gobierno keniano sólo se concentra en la abstinencia. El foco principal no es «reducir el riesgo», sino «evitarlo». ¿Es la mejor estrategia? Eso es lo que pretendían averiguar.

Para ello seleccionaron 328 escuelas con un total de 70.000 adolescentes, las dividieron en grupos de condiciones similares, y a cada uno de ellos aplicaron diferentes intervenciones. Al cabo de dos años contabilizaron el número de embarazos, que en tales edades es un buen indicador del sexo inseguro. En un grupo de escuelas se entrenó a los maestros para enseñar sólo el programa oficial del gobierno, en otras se

debatía abiertamente sobre el uso de los condones, y en otro tomaban medidas para que las adolescentes permanecieran más tiempo en la escuela. En la ampliación del estudio hecha por Dupas también se informaba a las estudiantes de que los hombres de edad avanzada tenían índices de sida mucho mayores (en Kenia es muy habitual que las adolescentes tengan sexo inseguro con personas adultas). También se hicieron tests antes y después del estudio para conocer cómo se había modificado la conducta sexual de los adolescentes. De los estudios de Duflo y Dupas surgieron una serie de conclusiones: seguir el programa oficial centrado en la abstinencia no disminuía el número de embarazos. Informar sobre el riesgo de mantener relaciones con personas mayores hacía que las niñas modificaran la edad de sus parejas. Informar sobre el uso de preservativos fomentaba su uso sin aumentar el número de relaciones sexuales. Y mantener a las niñas en la escuela también lograba disminuir el número de embarazos.

En concreto, en el estudio de Dupas se observó que la estrategia del gobierno de «eliminar el riesgo» no era efectiva, mientras que la campaña ampliada que proponía «reducir el riesgo» (informar sobre el uso de los preservativos y la distribución del sida por edades) logró aumentar el uso de preservativos sin incrementar el número total de relaciones sexuales. Y como consecuencia, redujo en un 28 por ciento el número de embarazos entre las

adolescentes, el parámetro utilizado como referencia al sexo inseguro.

Por lo tanto, estos estudios científicos (y otros que vienen citados en la bibliografía científica) contradicen claramente las palabras de Benedicto XVI. Fomentar el uso del preservativo sí tiene resultados positivos en la lucha contra el sida.

No es un dato nuevo para los que ya saben que no deben hacer mucho caso a lo que diga el Papa, pero por desgracia no todo el mundo es consciente de ello, y resulta que el gobierno de Kenia todavía mantenía un programa de prevención en escuelas centrado en la abstinencia, cuando podrían estar reduciendo en un 28 por ciento el riesgo de contagio entre sus adolescentes.

El J-PAL no es el único ni el primero en hacer evaluaciones de impacto sobre programas sociales, pero sí es el pionero en aplicar un planteamiento tan científico como los estudios randomizados. Con ellos, está obteniendo información muy útil para los gobiernos, las ONG, o el propio Banco Mundial, organizaciones conscientes de que en algunas ocasiones están invirtiendo muchos esfuerzos y recursos sin obtener los resultados que desearían. Desde luego que estos estudios no dan respuestas definitivas, y tienen detractores que se quejan de sus altos costes, de si resultan éticos, y de si sus resultados son realmente extrapolables. Pero están en pleno auge y prometen ser una herramienta tremendamente útil para conocer mejor las problemáticas del mundo en vías de desarrollo, y conseguir intervenciones más efectivas para quizá

lograr que ésta sea realmente la primera generación que erradique la pobreza extrema. Imposible no es.

6.3. Somos la generación que puede erradicar la pobreza extrema

«Erradicar la pobreza extrema es el reto moral más importante de este siglo», dijo el ex candidato presidencial John Edwards durante una fabulosa serie de conferencias organizadas en abril de 2008 en el MIT para contrastar perspectivas en la lucha contra esta lacra de nuestra sociedad. «Hombre, mal andaríamos si no fuera así.», pensé al oír su frase. Sí, ya sé que siempre ha existido la pobreza y es un problema endémico cuya solución puede parecer utópica. Pero no lo es. Si superada la crisis actual el mundo desarrollado sigue el ritmo de progreso de las últimas décadas, no se produce ninguna hecatombe o colapso económico, y a finales de este siglo continúan muriendo 20.000 personas al día por no tener lo mínimo para sobrevivir, habremos fracasado estrepitosamente. Sinceramente, no puedo contemplar este escenario, y estoy convencido de que en algún momento de la primera mitad de este siglo se habrá alcanzado el fin de la pobreza extrema.

Antes de que me taches de idealista, déjame que insista en la palabra «extrema». Definida por los organismos internacionales como tener menos de un dólar al día, la pobreza extrema es «la pobreza que mata». Significa no cumplir las necesidades más elementales: hambre crónica, no tener acceso a agua potable, ni a una mínima medicación, ni a una simple mosquitera que redujera

drásticamente las posibilidades de padecer malaria. Es inaceptable que 20.000 personas —la mayoría niños— mueran cada día por estos motivos, cuya solución es factible. No se trata sólo de pasividad de los países ricos; y seguro que en el futuro quedarán reductos de pobreza o gobiernos corruptos en los que la ayuda humanitaria será ineficiente. Quizá «erradicar» es una palabra demasiado contundente; pero si dentro de cuarenta años la cifra de 20.000 muertes por pobreza extrema no se ha reducido drásticamente, sí deberemos exigir responsabilidades a nuestros propios gobiernos, organismos multilaterales, y al creciente número de expertos cuya misión directa es gestionar la ayuda al desarrollo y hacer que llegue a quienes más la necesitan.

Una de estas personas que puede convertirse en héroe o villano es Jeffrey Sachs, el director del Proyecto Milenio de las Naciones Unidas cuyo objetivo repitió en una multitudinaria conferencia en el MIT: reducir la pobreza extrema a la mitad en 2015, y erradicarla en 2025.

Sachs fue el invitado estrella del acontecimiento. Su intervención se tuvo que celebrar en un polideportivo porque en el auditorio no había espacio para todos los estudiantes que querían vitorear a la persona que representaba el lema de la conferencia: «Queremos ser la generación que termine con la pobreza».

Todos los participantes habían expuesto sus diferentes perspectivas. Tras denunciar lo poco que estaba haciendo su propio país tanto a escala global como local, el senador John Edwards habló de generar voluntad política, incitó a los jóvenes a involucrarse activamente en

movimientos, y pidió a los asistentes: «Vota a quien se comprometa a luchar contra la pobreza». Paul Farmer, fundador de la exitosa organización Partners in Health, pronunció una provocativa charla titulada «Esto no es un *hobby*: tomarse la pobreza global en serio», en la que se quejó de algunas ONG que «se esparcían como setas» y realizaban tareas minúsculas que no aportaban ningún beneficio real. Para romper el ciclo de la pobreza, argumentó, hace falta ciencia, innovación, liderazgo, gran profesionalidad, gobiernos estables, políticas públicas a gran escala, y cambiar aspectos de nuestra propia cultura; no la de los países pobres. Paul Farmer se centró en temas médicos, Amy Smith del D-Lab en intercambio tecnológico, John Wood en educación, Henrietta Fore en cómo lograr el crecimiento económico a escala local, Ira Magaziner en política pública y en el respeto que debemos tener a los gobiernos locales para no caer en un nuevo neocolonialismo... Pero el colofón vino de la persona cuya misión era dirigir un grupo con 300 de los mejores expertos del mundo para coordinar todos los esfuerzos en lograr que los Objetivos del Milenio se convirtieran en realidad.

El fin de la pobreza

Jeffrey Sachs es una de las personas más poderosas en el campo del desarrollo, y no se anduvo con rodeos: sus esfuerzos se concentran en *the poorest of the poor*, «los más pobres entre los pobres». Estas personas están atrapadas en una poverty trap, «trampa de pobreza», que les impide plantear cualquier tipo de progreso. «Viven» en unas condiciones tan lamentables

que no está en sus manos escapar. Lo que necesitan de nosotros es que les demos un *big push*, «gran empujón», para sacarles de esa dinámica y que puedan empezar su desarrollo.

«Está en nuestras manos», dice en su libro *El fin de la pobreza*. «Y sabemos qué debemos hacer», aseguró en su charla: mejorar las técnicas agrícolas y fertilizar suelos, proveer agua potable, dar redes contra la malaria a todos los que estén expuestos, antirretrovirales contra el VIH, escuelas con comida gratuita a los niños, desparasitamiento anual, proveer de electricidad a hospitales y escuelas... Suena tan básico y obvio que parece ridículo. Nadie dice que estas medidas sean fáciles de implementar, pero, según Sachs, eso de que «en realidad no sabemos cómo afrontar el problema» es un mito, y «la corrupción impide actuar de forma eficiente» o «los países ricos ya dedican mucho dinero sin conseguir resultados», excusas. Sachs asegura que los científicos de su equipo saben muy bien cómo mejorar los nutrientes del suelo, los médicos cómo detener la mortalidad infantil, y los hidrólogos cómo hacer llegar agua potable a las comunidades. Ya hay muchos estudios y conocimiento acumulado. Ahora se trata de actuar por fin con contundencia, recursos, inteligencia y dotes para negociar con gobiernos corruptos. El plan está diseñado, lo que falta es muchísimo más dinero para poder llevarlo a cabo y conseguir los Objetivos del Milenio.

Sachs explicó que hace treinta y cinco años los países ricos aceptaron dedicar el 0,7 por ciento del producto nacional bruto

a ayudas al desarrollo; en 2002 este consenso volvió a ser firmado en Monterrey, pero de momento sólo Noruega, Suecia, Holanda, Dinamarca y Luxemburgo lo habían cumplido. Otros países europeos tenían planes específicos para hacerlo, pero Estados Unidos ni de cerca. Resulta irritante pensar que, según sus datos, en 2005 el gobierno estadounidense invirtió 500.000 millones de dólares en gasto militar, y menos de 2.000 millones en África. «Está en nuestras manos», «Es el reto más importante de nuestra generación», coreaban brillantes estudiantes de Harvard y el MIT decididos a dirigir toda su capacidad intelectual a luchar contra la pobreza y apartar de su camino a fósiles escépticos apoltronados en sus despachos si era necesario.

Críticas al mesías salvador

Desde luego, hay voces discrepantes con el modelo de los Objetivos del Milenio y esa pretenciosa actitud del hombre rico y listo de Harvard que sabe lo que le conviene al pobre y tosco de África.

La más representativa es la del también economista William Easterly, que en su libro *The White Man 's Burden* critica agriamente la manera en que los países ricos pretenden ayudar a los más pobres. Su queja principal: el dinero se despilfarra y no llega a quien realmente lo necesita. No está solucionando problemas básicos, y nadie asume responsabilidades de lo fatal que se han gestionado billones de dólares en ayuda al desarrollo

durante los últimos sesenta años. ¿Cómo puede ser que tanto tiempo y dinero después todavía estén muriendo 3.000 niños al día por la picadura de un mosquito?, se pregunta Easterly.

No es el arrebató simplista de alguien que desconoce las problemáticas intrínsecas de los países africanos. Más bien todo lo contrario. Easterly ha estado toda su vida vinculado a la ayuda al desarrollo, es profesor de la Universidad de Nueva York, y trabajó durante dieciséis años en el Banco Mundial antes de que la publicación de su primer libro *En busca del crecimiento* provocara su marcha.

El principal blanco de sus críticas son los —según él— grandilocuentes Objetivos del Milenio dirigidos por el utópico Jeffrey Sachs, que está convencido de poder erradicar la pobreza extrema en África con una buena estrategia técnica y mucho más apoyo económico. En la encarnizada —y mediatizada— lucha que mantienen, Easterly viene a decirle: ¿todavía quieres más dinero? ¿Dónde está todo el que ya os habéis gastado en ayuda al desarrollo durante seis décadas? Ha servido para bien poco. ¿Cómo puede ser que después de haber gastado 2,3 billones de dólares todavía haya niños muriendo porque no reciben medicinas que cuestan 12 céntimos? Si fuera tan fácil, ya lo habríais conseguido. ¿Cuándo aceptaréis que vuestro enfoque tradicional de hombre rico que se empeña en hacer grandes planes y decirle al pobre qué es lo que necesita no funciona? La trampa de la pobreza es una leyenda que lleva repitiéndose desde décadas, y los *big plans* o «grandes planes»

utópicos han hecho más mal que bien. Cuando decís «nuestra», pecáis de la arrogancia inconsciente del hombre blanco que trata al pobre como si fuera un ingenuo que no sabe qué necesita. Salir de la pobreza está en sus manos, no en las tuyas. Sácate de encima esta actitud de mesías que va a salvar el mundo. No busques expertos técnicos de fuera, sino a gente dentro del país. Apóyales a que sean ellos mismos quienes se ayuden. No impongas planes ni propongas soluciones en su nombre. Ve y pregúntales qué necesitan. Sé constructivo y trabaja con un enfoque de abajo arriba en lugar de con grandes planes de arriba abajo. La ayuda al desarrollo ha solucionado algún problema específico, pero la pobreza sólo puede atajarse trabajando desde la base y reformando poco a poco las estructuras sociales, económicas y políticas locales. Estimula el mercado de abajo arriba, sáltate a los gobiernos cuando detectes la mínima corrupción, trabaja a escala local, con gente local, y no tengas prisa en eliminar la pobreza de golpe, porque las prisas nunca han funcionado. Y por favor, asegúrate de que el dinero llegue a quien realmente lo necesita. Hay mucha gente y organizaciones trabajando desde esta perspectiva. Dales más recursos a ellos en lugar de gastarlos en burocracia y gobiernos corruptos.

Sé un *searcher*, «buscador», en lugar de un *planner*, «planificador», diferencia Easterly en su libro. Los planificadores conciben la pobreza como un problema técnico que sus expertos son capaces de solucionar. Deciden qué es necesario y lo aplican

con una mentalidad occidental Los buscadores averiguan qué necesita la gente, y les ayudan a que ellos lo implanten. Asumen que no hay un plan que pueda eliminar la pobreza, sino que se debe ir construyendo poco a poco.

Es abstracto, lo sé. Si quieres atajar un problema de salud, ¿te traes a médicos y tecnología del exterior que salve más vidas en primera instancia, o sigues un proceso más lento que involucre a la gente local desde el principio y sea más eficiente a largo plazo? Si un gobierno es corrupto, ¿continuamos trabajando con él, o buscamos la manera de saltárnoslo? Si quiero mejorar la producción agrícola, ¿traigo expertos y tecnología de fuera, o ayudo a que los locales se desarrollen? Si necesitan redes anti mosquitos, ¿cojo a voluntarios que las repartan gratis, o les hago a ellos partícipes del proceso de distribución y venta? Planteado en términos generales, quizá un *planner* se sentirá más inclinado a lo primero y un *searcher* a lo segundo, pero la realidad es que a la práctica estas categorías se diluyen y la situación concreta que afrontes marcará cuál es la mejor actuación a seguir. Y aquí, de nuevo, es donde la ciencia puede ofrecer algunas respuestas.

La perspectiva de la ciencia

¿Qué es más efectivo?, ¿repartir gratuitamente redes anti mosquitos a los poblados africanos aquejados de malaria, o hacerles pagar un precio mínimo, simbólico, para que las valoren más y terminen utilizándolas correctamente? Éste

representa uno de los debates que más disputas ha generado. Un *searcher* como Easterly argumenta que regalar redes anti mosquitos no es eficiente, porque quien la recibe gratis no le da valor, no la cuida, y la termina perdiendo o utilizando para otros fines. En cambio, si las incorporas a su sistema como si fuera otro bien, las subvencionas para que sean muy baratas, y haces que paguen una cantidad módica, conseguirás implantar de verdad su uso. Un *planner* como Sachs dice: no perdamos más tiempo y demosles redes ya. ¿A qué esperamos? Pero ¿cómo sabemos quién tiene razón? La opción *searcher* parece más lógica, pero también podríamos argumentar que ese desinterés por lo gratuito es algo bastante occidental. Hay gente que se aleja a conciencia de las ideas predeterminadas, y tiene otras herramientas para testar hipótesis: los científicos. Y resulta que el Poverty Action Lab del que he hablado unas páginas atrás hizo un estudio en el que comparó dos tipos de intervenciones: dar las redes gratuitamente, y hacer pagar un mínimo por ellas. Tuvo todos los otros condicionantes bajo control, y observó qué ocurría en diferentes aspectos. En el fondo, el planteamiento es parecido a comparar diversos tratamientos para ver cuál es más eficiente frente a una enfermedad. En el estudio de las redes anti mosquitos, no se encontró diferencias en el uso por parte de quienes las habían recibido gratis y los que habían pagado precios bajos. Ambas las utilizaban de manera parecida. En cambio, por muy ínfimo que fuera el coste, hacía que menos

gente las adquiriera. Esto era consistente con algunas teorías psico económicas que explican que por irrisorio que sea el precio, hay una diferencia enorme entre gratis y casi gratis. En definitiva, la conclusión final del estudio fue que distribuir redes gratuitamente podía salvar más vidas que hacerlas pagar.

Sería arrogante pretender que, simplemente por tratarse de la aproximación más científica, es lo único que debemos considerar. Es sólo una información más que, en este caso, contradice a Easterly, y en otros le podría corroborar. Solucionar la pobreza extrema es una tarea complejísima, nadie lo niega. Pero no es imposible como parece insinuar Easterly al decir que él no propone ningún plan alternativo a los inalcanzables Objetivos del Milenio porque no hay plan que valga, sino sólo trabajo desde la base.

Merece mucho la pena escuchar la visión crítica de William Easterly, puesto que esconde una lógica aplastante y viene avalada por los innegables malos resultados que ha cosechado la ayuda al desarrollo impulsada desde la década de 1950. Pero sería injusto no reconocer que las cosas están cambiando. Easterly hace una caricatura inmerecida de los *planners* y organismos internacionales, obvia que la ayuda al desarrollo cada vez es más eficiente y está evaluada, y que los profesionales están mucho mejor capacitados e informados de lo que él deja entrever. Sachs responde a sus quejas diciendo: ¡Estamos haciendo justamente todo lo que solicita! Y tenemos indicios de que eso es así. Confiamos en sus posibilidades, y no

perdemos el optimismo propio del científico que sólo ve límites en lo sobrenatural, y cuando se enfrenta a grandes retos mira hacia atrás y ve lo que la ciencia ha conseguido en el último siglo. Una de las lecciones que mejor recuerdo en plena etapa de negatividad adolescente fue cuando mi padre me dijo: «Debes buscar soluciones en lugar de problemas». Eso es lo que hace la gente como Jeffrey Sachs. ¿Utópico? Quizá un poco; lo justo. Yo salí del congreso del MIT convencido de que erradicar la pobreza extrema era algo realmente viable. Contemplábamos los errores del pasado para aprender de ellos y procurar que no se vuelvan a repetir. E incorporábamos el desarrollo científico a la ecuación para que aportara todas las soluciones técnicas, farmacológicas, metodológicas, humildad e irreverencia política, que contribuirían a hacer este sueño realidad por primera vez en la historia. Luego leí a Easterly y llegué a Washington D. C., donde todos mis amigos del Fondo Monetario Internacional, el Banco Mundial y el Banco Interamericano de Desarrollo me explicaban las dificultades que se encontraban en los países de origen, lo atados que estaban por los gobiernos, la lentitud burocrática, la falta de recursos, sus propios problemas de gestión interna... y te hacían tocar tierra. Pero luego, enseguida despegabas de nuevo, te proyectabas hacia el futuro, y lo que te parecía imposible era llegar a viejo y que en el mundo todavía estuvieran muriendo 20.000 personas al día por una evitable pobreza extrema que impide el acceso a comida, medicamentos básicos, una simple red, agua potable, o a un maestro. Es el

gran reto de nuestra generación, y lo vamos a conseguir Y no lo digo simplemente como final feliz.

Epílogo

No nos quitemos las gafas de la ciencia

Cada vez que enciendes tu ordenador o te conectas a internet desde un simple teléfono móvil, ves cómo la ciencia y la tecnología están transformando nuestras actividades cotidianas. Cuando acudes al médico constatas cómo la investigación científica mejora nuestra calidad de vida. Al oír hablar de cambio climático o pandemias, no dudas en considerarla la mejor herramienta para intentar solucionar los problemas globales que afectan a toda la humanidad. Y cuando sientes ansias de comprender el mundo que te rodea recurres primero a las gafas de la ciencia para que te regalen respuestas fiables y descubran nuevos conocimientos que sin ellas ni siquiera sabrías de su existencia.

La ciencia ya envuelve tu entorno y forma parte de tu vida. Deja que también impregne tu manera de pensar. No la limites a saciar tu sed de conocimiento y hacerte el día a día más cómodo. Da un paso más, y permite que algunos valores de la ciencia se integren en tus hábitos de pensamiento y te ayuden a reflexionar desde una perspectiva científica. Algunas lecciones extraídas de su metodología y manera de afrontar problemas pueden ser muy positivas para ti y, sin duda, para los dirigentes que nos gobiernan.

§. Pon un poco de ciencia en tu vida

La ciencia es optimista

Ésta es una de las primeras sugerencias que hay que aprovechar. Sin la fuerza del optimismo, los neurocientíficos no

pretenderían comprender cómo funciona el cerebro humano, los cosmólogos no investigarían el origen del universo, ni los biólogos lucharían por sortear todas las dificultades en dirigir los avances en células madre hacia unas terapias que en el futuro podrán sanar enfermedades ahora incurables. El entusiasmo les mueve. Pero no a todos; sólo a aquéllos que logran superar las jerarquías armados con sus datos y determinación en superar las adversidades.

Cuando un científico o ingeniero mira al pasado y comprueba todo el conocimiento y las aplicaciones que sus compañeros han sido capaces de construir, siente una renovada confianza y huye del derrotismo y la negatividad que impregnan otros sectores de nuestra sociedad. Con ayuda, tiempo, colaboración, metodología rigurosa, y actitud crítica pero constructiva, no existen problemas irresolubles ni retos inalcanzables. Nadie asume que el camino sea sencillo, pero la confianza y el tener referencias a largo plazo es lo que alimenta sus carreras. Y, sin duda, beneficiaría a quien quisiera tomar ejemplo.

La ciencia piensa a largo plazo

Es algo tremendamente costoso. Nuestro cerebro no ha evolucionado para tomar decisiones en función de qué será mejor de aquí a veinte años. El futuro no estaba garantizado para nuestros antepasados. A título individual, tenemos razones para no desdeñar del todo estas enseñanzas de la selección natural, pero la visión a corto plazo es una de las actitudes más

peligrosas de los economistas, los directivos y los líderes políticos. La ciencia está acostumbrada a trabajar a un ritmo lento pero constante, y a hacer predicciones sobre el impacto que sus cometidos tendrán en el futuro. No sabe lo que son las legislaturas de cuatro años. Por eso construye un acelerador de partículas cuyos resultados y beneficios tardarán lustros en llegar, intenta averiguar las consecuencias de fumar un paquete de cigarrillos al día desde los veinte años, construye modelos para prever los efectos de continuar emitiendo dióxido de carbono a la atmósfera, y busca soluciones pensando qué fuente de energía será más rentable a décadas vista. La ciencia ofrece una perspectiva muy valiosa sobre el futuro, que algunos se empeñan en desoír cuando contradice sus creencias o intereses inmediatos.

La ciencia es inconformista

Mira los físicos teóricos que están empeñados en intentar encajar la mecánica cuántica y la relatividad, porque a pesar de que funcionan sumamente bien por separado, cuando las combinan hay algunos detalles que no cuajan por completo. Pero ¡qué diantre les importa! ¿No podrían utilizar una u otra cuando más les conviene y sanseacabó? Pues no; ellos insisten en que algo falla en su comprensión más íntima de la naturaleza, y se inventan supercuerdas o gravedades cuánticas para corregir aquello que no termina de encajarles. Es una actitud loable. De hecho, la misión científica más valiosa no es

confirmar lo que ya suponemos, sino desafiar constantemente nuestro conocimiento establecido; buscar flecos y escudriñar en ellos hasta intentar solventarlos. Ese inconformismo, esa irreverencia, ese desafío crítico al orden establecido, es lo que se echa en falta en algunos aspectos de nuestra sociedad cuando claros indicios nos muestran que algo falla en las creencias, las costumbres, o los sistemas que arrastramos de nuestra pesada carga genética o influencia cultural. El espíritu contestatario y el no hacer caso de estos nimios desajustes que una vocecita sutil nos insinúa que no encajan es lo que hace crecer a la ciencia, la sociedad, y nuestra riqueza individual.

La ciencia es colaborativa

En plena guerra fría había científicos rusos y estadounidenses que colaboraban, ignorando los conflictos políticos que sus estados mantenían. Y lo mismo ocurre ahora con Cuba, Irak, Pakistán, Estados Unidos, o países entre los que en teoría existe más competencia que colaboración. Muchos investigadores están acostumbrados a desdeñar fronteras e intereses nacionales cuando se trata de intercambiar ideas y cooperar en problemas a escala global. Por eso en los últimos años está emergiendo el campo de la diplomacia científica, una disciplina que busca aprovechar las buenas relaciones científicas existentes entre diferentes sociedades para abrir canales de comunicación y pulir asperezas. En los momentos de más tensión de la guerra fría, fueron las organizaciones científicas las que hicieron de puente en el debate

sobre el control nuclear. La ciencia es universal por definición, y en su metodología no aparecen las palabras raza, género, religión o nacionalidad. Hay una fuerte motivación en avanzar hacia el bien común y en cooperar siempre que sea posible. Además, debido a su meritocracia y transparencia, goza de una relativa confianza entre la población. La ciencia puede ofrecer esperanza y contribuir a facilitar la diplomacia internacional si conseguimos darle más relevancia en nuestra sociedad.

La ciencia está por encima de la ideología

Todos tenemos ideas, opiniones personales, o hipótesis propias, tanto los científicos como el resto de los mortales. Pero mientras unos las defienden, otros las ponen a prueba experimentalmente. El dogmatismo se basa en atender de manera arbitraria sólo a las evidencias que refuercen tus inflexibles creencias. En cambio, el motor del progreso científico es la predisposición a destronar a tu maestro y rectificar el conocimiento establecido. Es una actitud terriblemente difícil, y que pocos investigadores están preparados para aceptar. Escuchar de manera objetiva, humilde, y reconocer los errores cuando las evidencias te contradicen, sólo está al alcance de aquellos sabios convencidos de que la verdad tiene fecha de caducidad, y que la razón te la otorgan, nunca se impone. Es una lección tan importante a nivel personal y profesional, y que podría beneficiar tantísimo a la sociedad si nuestros políticos la asumieran cuando se enfrentan a problemáticas concretas, que merece un apartado específico.

§. El respeto por la verdad: Piensa como un científico, no como un abogado

Ya lo he comentado en apartados anteriores de este libro. Sin intención de ofender a ningún sector profesional, caricaturizamos las categorías de abogado y científico como dos visiones antagónicas a la hora de afrontar conflictos. Es una entelequia, pero lo hacemos para enmarcar ideas e ilustrar nuestra profunda tendencia a actuar como los primeros, y lo positivo que sería tener la mentalidad de los segundos.

¿Qué hace un abogado en su despacho? Llega un cliente y se prepara para defender su caso. ¿Qué ocurre si percibe que su cliente no es del todo inocente? No importa; su trabajo es buscar evidencias que decanten la opinión del juez hasta lograr que su percepción de la realidad sea lo más favorable a su cliente. La «verdad» objetiva detrás del asunto no es lo más importante; se puede distorsionar atendiendo sólo a las pruebas favorables, y esforzándose en desbaratar las de su contendiente, por veraces que sean. «Lo que no está en los autos, no está en el mundo», aprenden en la Facultad de Derecho. Y «hay dos verdades, la real y la del caso», reza otra de sus frases míticas.

No lo percibas como alguien innoble; en realidad es lo que la mayoría solemos hacer —científicos de profesión (que no de alma) incluidos— ante cualquier discusión o circunstancia donde nuestro interés particular esté en juego. Defender tu verdad subjetiva y el beneficio de tus allegados es lo más normal del mundo. Pretender poseer siempre la razón es algo instintivo. Lo extraño es tener alma científica

y percibirlo como una falta de respeto a la verdad y un sacrilegio hacia la comprensión íntima de la realidad que subyace en nuestra falaz percepción del mundo. Sin dejarnos arrastrar por visiones utópicas, nuestra sociedad funcionaría considerablemente mejor si lográramos tener más mentalidad de científicos que de abogados. Si huyéramos de ideas predeterminadas y tomáramos decisiones basadas en la evidencia. De nuevo, pedirle a la abuela que no considere a su nieto el más guapo y bondadoso de su pueblo es improcedente. Pero concebir la duda como una aliada metodológica y no como una enemiga pecaminosa es un reflejo de sabiduría. Aprender a escuchar con atención a tus discrepantes es cualquier cosa menos un signo de debilidad. Y mostrarte abierto a rectificar si los datos empíricos así lo sugieren, acortaría discusiones interminables y daría un mayor grado de sensatez a nuestra vida cotidiana. La ciencia ha demostrado holgadamente el éxito de su perspectiva a la hora de resolver problemas y conflictos dejando de lado la ideología y las posiciones inflexibles. Si esta mentalidad científica fuera asumida por una clase política dominada por abogados entrenados en defender a toda costa sus intereses intransigentes, se avecinaría una revolución de impacto sin precedentes.

Como actividad humana que es, la ciencia está contagiada de nuestras propias imperfecciones. No pretendemos idealizarla. Pero en su versión más pura, es una maravillosa fuente de conocimiento y una herramienta que en buenas manos ha estado constantemente incrementando nuestro bienestar. Dejemos que impregne también la

cultura, e inmiscuya su proceder en lo más profundo de nuestra sociedad. Otorguémosle por fin el papel central que reclama en la construcción de individuos y comunidades más justas y felices.

§. No nos quitemos las gafas de la ciencia

Se acerca el momento de la despedida. Hemos realizado un viaje atosigado por decenas de ciudades diferentes sin detenernos concienzudamente en ninguna. Ojalá os haya estimulado para regresar con tiempo a aquéllas que deseéis visitar con más calma, o exploréis por vuestra cuenta los nuevos parajes científicos que más interés os susciten. La ciencia no se detiene, y cada vez queda más camino por recorrer. Los investigadores están ampliando nuestro conocimiento sobre el cosmos, la vida, la mente o el funcionamiento de las sociedades a un ritmo imposible de abarcar. Por cada respuesta que cierran, abren nuevas preguntas. Nuestra sensación de desconocimiento crece a un ritmo exponencial ¡Es excitante! El trabajo de los científicos es tan lento y minucioso que en ocasiones ellos mismos pierden la perspectiva de lo apasionantes que son sus descubrimientos. Pero tú tienes la oportunidad de seguirlos a cámara rápida y guiado únicamente por tu propio interés. Aprovechalo. Disfruta de la ciencia como lo haces del arte, la música o la literatura. Es la verdadera aventura intelectual de este siglo. No nos quitemos las gafas de la ciencia, rasquemos donde no nos pique, y ¡busquemos nuevos destinos en el fascinante océano de la ciencia!

Apéndice

La ciencia en 2030

Cuando divagamos sobre cómo la ciencia transformará el mundo en el futuro, siempre solemos sobrestimar su impacto a corto plazo e infravalorarlo a largo plazo.

Está claro que no tendremos un hotel orbitando la Tierra en 2012 como en su momento se predijo, ni veremos regenerar nuestros órganos en los próximos diez años. Pero por ficción que nos parezca, sin duda algún día los humanos plantarán pinos en Marte, tendremos una comunicación directa entre el cerebro y el ordenador, y habrá personas viviendo más de ciento cincuenta años. Pronosticar el futuro es fácil, y difícil a la vez. Resulta sencillo hacer predicciones impactantes a cien años vista, o decir que nada fundamental de nuestras vidas cambiará en el próximo lustro. Por eso escojo una fecha intermedia que me dé tiempo a comprobar en qué he acertado cuando, mezclando confesiones de científicos e intuiciones sin renunciar a cierta ingenuidad, me atrevo a hacer un pronóstico de qué habrá ocurrido y qué no de aquí a 2030 sobre los aspectos científicos tratados en este libro.

- La pobreza extrema se habrá reducido drásticamente.
- La secuenciación del genoma será una prueba rutinaria y formará parte del historial médico de quien lo desee.
- En las perfumerías habrá cosméticos especiales para distintos perfiles genéticos. Viviremos un auge comercial alrededor de la información genética.

- Gracias a la extensión del diagnóstico preimplantacional, enfermedades monogénicas como el Huntington o el Tay-Sachs estarán al borde de la erradicación.
- Detectados a tiempo, y tratados en función de qué mutación específica los causa, la mayoría de los cánceres tendrán cura.
- Habremos descubierto un planeta lejano con signos de vida, y descartado que la haya en algún rincón del sistema solar que no sea la Tierra.
- No conoceremos cómo se originó el universo, pero sí habremos resuelto el misterio de la energía oscura y sabremos por qué el universo se expande de manera acelerada.
- El gran colisionador de hadrones (LHC) habrá confirmado experimentalmente el bosón de Higgs, descubierto nuevas partículas supersimétricas, y resuelto el misterio de la materia oscura.
- Por capricho, la Luna habrá sido pisada de nuevo. No habremos llegado a Marte todavía.
- La era del petróleo barato habrá finalizado, el mix energético se diversificará, y cada región escogerá en función de sus características geográficas.
- La energía solar empezará a utilizarse a gran escala.
- Los biocombustibles serán más baratos que el petróleo.
- En la mayoría de las regiones, las energías renovables serán económicamente más rentables que la fisión nuclear.
- La fusión nuclear estará más cerca, pero como siempre, a veinte años vista.

- La biodiversidad será una fuente de riqueza, y no proteger el medio ambiente algo inconcebible.
- Los aviones continuarán quemando combustible, pero en las ciudades conduciremos coches exclusivamente eléctricos.
- Las emisiones globales de CO₂ a la atmósfera se habrán estancado, pero no descendido lo suficiente para frenar el progresivo calentamiento global
- Los gobiernos ricos invertirán cantidades ingentes de dinero en resolver las consecuencias del cambio climático en los pobres.
- Con herramientas de biología sintética diseñaremos microorganismos sintéticos que serán aplicados en procesos industriales.
- Habremos creado vida puramente artificial
- Entenderemos mejor por qué algunos cerebros funcionan mal, pero seguiremos sin comprender el funcionamiento íntimo de los normales.
- Tendremos mecanismos para potenciar de manera dirigida nuestras capacidades cognitivas.
- No nos conformaremos con estar sanos. Cada vez más gente acudirá al médico para mejorar sus cuerpos, no sólo para curarlos.
- Un número inusitado de personas vivirán más de cien años.
- Continuaremos dándole vueltas y vueltas al eterno debate sobre si los genes influyen más que el entorno, o a la inversa, en diferentes aspectos de nuestro comportamiento.

- La ciencia se apartará cada vez más de la religión, y habrá tensiones continuas.
- Gracias a las células madre algunos paralíticos podrán volver a caminar.
- Leeremos la actividad cerebral con precisión suficiente para dirigir objetos con el pensamiento.
- Lograremos modificar personalidades con estimulación transcraneal
- La ciencia será tratada de manera más crítica en los medios de comunicación, y desde una perspectiva más social
- La química continuará mejorando el mundo, y recobrará el prestigio social que merece.
- La esencia de la vida será investigada por químicos. No biólogos, ni físicos.
- Habrá traductores de voz instantáneos.
- No tendremos robots humanoides en nuestras casas.
- No habrá nacido un ser humano clonado.
- Los ordenadores no serán más inteligentes que nosotros.
- No tendremos todavía ordenadores cuánticos.
- Nuestro cuerpo albergará sensores que transmitirán información a internet, interpretándola.
- Enfermos del corazón, o epilépticos, o incluso personas sanas llevaremos un dispositivo insertado en nuestro cuerpo, que registrará a tiempo real señales cerebrales y monitoreará sustancias químicas en la sangre que nos avisarán instantes antes de sufrir un contratiempo.

- La interpretación científica del mundo continuará ganando terreno a las visiones religiosas.
- Los políticos continuarán siendo economistas y abogados acostumbrados a la relatividad de la verdad, pero escucharán más a los científicos.
- La ciencia tendrá una función más pragmática en la sociedad.
- Con la nueva generación de científicos, la relación patentes/publicaciones científicas en España habrá aumentado significativamente.
- Quien ahora empiece a estudiar ciencia tendrá un buen trabajo y una profesión estimulante.

¿Estás de acuerdo?, ¿añadirías algo?, ¿lo quitarías? ¿Tú qué piensas?

Qué suerte que podremos seguir conversando...

[El ladrón de cerebros](#)

Bibliografía

Muchos libros han captado la promiscua atención del ladrón de cerebros durante la gestación de esta obra. Algunos demasiado técnicos, otros muy específicos, presento aquí una selección que no pretende ser exhaustiva pero sí cumplir dos requisitos básicos: uno, me gustaron sobremanera, y dos, confío plenamente en que pueden generar el mismo efecto en un lector no especializado.

Neurociencia y comportamiento humano

Ariely, Dan, *Las trampas del deseo*, Ariel, 2008.

Damasio, Antonio, *El error de Descartes*, Crítica, 2006.

Dennet, Daniel, *Freedom Evolves*, Penguin, 2004.

Gazzaniga, Michael, *Human: The Science Behind What Makes Us Unique*, ECCO, 2008.

—Psychological Science, Norton, 2009.

Gilbert, Daniel, *Stumbling on Happiness*, Vintage 2007.

Gladwell, Malcolm, *Blink: Inteligencia intuitiva. ¿Por qué sabemos la verdad en dos segundos?* Taurus, 2005.

Pinker, Steven, *The Blank Slate: The Modern Denial of Human Nature*, Penguin, 2003.

Ramachandran, V. S., *Phantoms in the Brain: Probing the Mysteries of the Human Mind*, Harper Perennial, 1999.

Restak, Richard, *The Naked Brain: How the Emerging Neurosociety is Changing How We Live, Work, and Love*, Harmony Books, 2006.

Rose, Steven, *The Future of the Brain: The Promise and Perils of Tomorrow's Neuroscience*, Oxford University Press, 2006.

Cosmología

Gleick, James, *Chaos: Making a New Science*, Penguin, 1987.

Grenne, Brian, *El universo elegante*, Crítica, 2006.

Hawking Stephen W., *El universo en una cáscara de nuez*, Crítica, 2004.

Isaacson, Walter, *Einstein: Su vida y su universo*, Debate, 2008.

Kaku, Michio, *Física de lo imposible*, Debate, 2009.

Kirshner, Robert, *The Extravagant Universe: Exploding Stars, Dark Energy, and the Accelerating Cosmos*, Princeton Science Library, 2004.

Randall, Lisa, *Warped Passages: Unraveling the Mysteries of the Universe's Hidden Dimensions*, Harper, 2006.

Sagan, Carl, *Cosmos*, Ballantine Books, 1980.

Smolin, Lee, *The Trouble With Physics*, Mariner Books, 2007.

Strogatz, Steven, *Sync: How Order Emerges From Chaos In the Universe, Nature, and Daily Life*, Hyperion, 2004.

Biología

Arsuaga Juan Luis, *La especie elegida*, Temas de Hoy, 1998.

Collins, Francis, *The Language of Life: DNA and the Revolution in Personalized Medicine*, Harper, 2010.

Dawkins, Richard, *The Selfish Gene*, Oxford, 1976.

—*Destejando el arco iris*, Tusquets, 2000.

Gould, Stephen Jay, *La vida maravillosa*, Crítica, 1991.

Lewontin, Richard, Steven Rose y Leon Kamin, *No está en los genes: Racismo, genética e ideología*, Crítica, 2004.

Margulis, Lynn, y Dorion Sagan, *What Is Life*, University of California Press, 2000.

Sampedro, Javier, *Deconstruyendo a Darwin*, Crítica, 2002.

Sandel, Michael, *The Case Against Perfection: Ethics in the Age of Genetic Engineering*, Harvard University press, 2009.

Wilson, E. O., *Sociobiología: la nueva síntesis*, Omega 1974.

Zimmer, Carl, *Parasite Rex*, Arrow Books, 2003.

Interioridades de la ciencia

Buring Julie, y Charles Hennekens, *Epidemiology in Medicine*, Lippincott Williams & Wilkins, 1987.

Elías, Carlos, *La razón estrangulada*, Debate, 2008.

Jasanoff, Sheila, *States of Knowledge: The Co-production of Science and the Social Order*, Routledge, 2004.

Kuhn, Thomas, *The Structure of Scientific Revolutions*, University of Chicago Press, 1996.

Latour, Bruno, *Laboratory Life*, Princeton University Press, 1986.

Lemov, Rebecca, *World as Laboratory: Experiments with Mice, Mazes, and Men*, Hill and Wang 2006.

Monod, Jacques, *El azar y la necesidad*, Metatemas, 1981.

Popper, Karl, *El mito del marco común*, Paidós, 1997.

Varmus, Harold, *The Art and Politics of Science*, Norton, 2010.

Watson, James, *La doble hélice*, Salvat, 2000.

Rascar donde no pica

Brockman, John, *La tercera cultura*, Tusquets, 2002.

Bryson, Bill, *Una breve historia de casi todo*, RBA, 2004.

De Waal, Frans, *The Age of Empathy: Nature's Lessons for a Kinder Society*, Crown, 2009.

Diamond, Jared, *Armas, gérmenes y acero*, Debate, 2006.

Easterly, William, *The White Man 's Burden*, Penguin, 2007.

Feynman, Richard, *Surely You're Joking, Mr. Feynman!*, Norton, 1997.

Fisher, Helen, *Why We Love: The Nature and Chemistry of Romantic Love*, Holt, 2004.

Hofstadter, Douglas, *Godel, Escher, Bach: An Eternal Golden Braid*, Penguin, 2000.

Punset, Eduard, *Cara a cara con la vida, la mente y el universo*, Destino, 2004.

—*El viaje a la felicidad*, Destino, 2005.

Roach, Mary, *Bonk: The Curious Coupling of Science and Sex*, Norton, 2009.

Sachs, Jeffrey, *The End of Poverty*, Penguin, 2006.

Sapolsky, Robert, *Monkeyluv*, Scribner, 2005.

Schrodinger, Erwin, *¿Qué es la vida?*, Tusquets, 1983.

Wagensberg, Jorge, *Ideas para la imaginación impura*, Tusquets, 2002.

Wood, John, *Leaving Microsoft to Change the World*, Harper, 2007.

Autor

PERE ESTUPINYÀ (Tortosa, 1974 -). Es bioquímico y comunicador científico. Fue editor del programa *Redes* de TVE durante cuatro temporadas, recibió una beca del programa Knight de periodismo científico en el MIT, y trabajó en los Institutos Nacionales de Salud de Estados Unidos en Washington D. C. Actualmente vive en Nueva York. Alimenta el blog en *El País* «apuntes científicos desde el MIT», ejerce como consultor en materia de divulgación de la ciencia, y escribe para diferentes medios, analiza el periodismo científico en América Latina para el *Knight Tracker*, y no pierde la oportunidad de robar cerebros científicos con el objetivo de difundir su preciado contenido. Es autor de *El ladrón de cerebros*.

