



JÖEL DE ROSNAY

Epigenética

La ciencia que cambiará tu vida



Ariel

Índice

Portada

Sinopsis

Portadilla

Introducción

1. Entender las bases de la epigenética

Cuando las abejas libadoras se convierten en nodrizas

La sinfonía de lo que está vivo

Del libro de la vida al libro de recetas

ADN: tres letras mayúsculas para un descubrimiento capital

De la doble hélice al Proyecto Genoma Humano

Hebras de ADN que se pegan como el velcro

Las histonas, o la llave del cajón secreto

El malentendido del «ADN basura»

El fin del «todo genético» o la gran revolución de la epigenética

Superar la genética clásica

Gemelos auténticos y epigenética

Abejas y jalea real

Comportamientos adaptativos análogos en abejas y hormigas

La inteligencia de las plantas

La epigenética es la clave de la supervivencia de los vegetales

Gestionar el cuerpo mediante la epigenética

2. **Cómo cambiar tu vida: la epigenética en la práctica**

¡Esa gente me pone enfermo!

Reducir las calorías aumenta la esperanza de vida

La regla de oro: comer en colores

Come grasa y limita el consumo de sal

Los efectos beneficiosos del aceite de oliva para las arterias

El azúcar, un veneno para el cuerpo

¡Viva el chocolate negro con 70 por ciento de cacao!

Misterios y virtudes de la complementación proteica

La complementación, una receta universal

3. **Nuestros amigos los microbios**

Hay que hacer que nuestro microbioma sea feliz

El microbioma se comunica con nuestro cerebro

Tenemos un segundo cerebro... ¡en el intestino!

¿Qué hace concretamente el microbioma por nosotros?

4. **Deporte, placer, meditación: las otras claves de la epigenética**

Los efectos epigenéticos positivos del deporte

El deporte, un antidepresivo natural

El surf, un deporte extremo con los efectos más beneficiosos

Gestión del estrés, meditación, yoga y epigenética

¿Un puente entre Oriente y Occidente?

La meditación dinámica con el tai chi chuan y el qi gong

Los efectos epigenéticos de las hormonas del placer

La armonía de la red familiar, profesional y social

Amor y epigenética: la oxitocina y la bioquímica del amor

La contaminación, el gran desafío de la modernidad

Toxicidad y epigenética: los peligros de las epimutaciones

Los peligros epigenéticos de los herbicidas y los metales pesados

Los disruptores endocrinos: un desafío mundial a la salud pública
Tabaco y alcohol: toxicidad epigenética garantizada

5. Lamarck y Darwin, la reconciliación

La eterna disputa: Lamarck contra Darwin

El ser humano es resultado de una larga evolución en el reino animal

Innato y adquirido: un debate superado

Epigenética y transmisión hereditaria de caracteres adquiridos

El descubrimiento del gen egoísta

6. Meme y memética: una nueva visión de la sociedad humana

El meme, equivalente cultural del gen

Una evolución digital

¿Los virus informáticos están vivos?

De la competencia industrial a la disrupción

De la genética a la memética

La capacidad de modificar el ADN social

¿Dónde se esconde este ADN social?

De la epigenética a la epimemética

La influencia de los memes de internet y de los tuits disruptores

Los contenidos virales, un arma de disrupción masiva

El defecto de las neuronas espejo

Cómo luchar contra los memes tóxicos

7. ¿Es posible un gobierno ciudadano?

¿Hacia un golpe de Estado (ciudadano) permanente?

La *cibversión*, ¿una muralla contra los gigantes de la red?

¿Cómo modificar el ADN social *disrumpiendo* la política?

¿Por qué las opiniones negativas parecen más inteligentes?

El miedo, un mecanismo útil para la supervivencia de la especie

«El cerebro funciona como el velcro con lo malo y como el teflón con lo bueno»

¡Atrevámonos a pensar de manera positiva!

8. Modificar colectivamente la expresión del ADN social

El modelo cooperativo: garantía de una sociedad más armoniosa, responsable y ética

Francia, líder de las cooperativas y las mutuas

Un modelo humanista

Un mundo menos basado en la competencia, aspiración de los *millennials*

Cuando la *smart city* permite a sus habitantes modificar colectivamente el ADN social de su ciudad

La epigenética y la epimemética para optimizar las políticas sanitarias

No perdamos el tren de la salud 3.0

«Que tu alimento sea tu medicina»

«Un cambio en la conciencia colectiva»

Conclusión

Definiciones

ARN, EL MENSAJERO INDISPENSABLE

ACETILACIÓN Y METILACIÓN

LOS INTERRUPTORES QUÍMICOS DE LA EPIGENÉTICA

Agradecimientos

Notas

Bibliografía

Créditos

Gracias por adquirir este eBook

Visita Planetadelibros.com y descubre
una
nueva forma de disfrutar de la lectura

iRegístrate y accede a contenidos exclusivos!

Primeros capítulos
Fragmentos de próximas publicaciones
Clubs de lectura con los autores
Concursos, sorteos y promociones
Participa en presentaciones de libros

PlanetadeLibros

Comparte tu opinión en la ficha del libro
y en nuestras redes sociales:



Explora

Descubre

Comparte

Sinopsis

La epigenética es sin duda uno de los descubrimientos más importantes de los últimos años en el campo de la biología. Este libro de referencia, que revela el alcance de esta revolución científica, es una extraordinaria aproximación a la epigenética como una «práctica cotidiana» para obtener un equilibrio físico y mental saludable.

Esta obra actual, que nos ofrece consejos para una buena alimentación, la reducción del estrés, la búsqueda del placer, el ejercicio físico y la convivencia, nos muestra no solo la relevancia que tienen los cambios epigenéticos en nuestras vidas y la de nuestros hijos, sino en el conjunto social, en la medida en que los principios de la epigenética se pueden aplicar en el ADN de nuestras sociedades.

Joël de Rosnay

Epigenética

La ciencia que cambiará tu vida

Traducción de Jorge Paredes

Ariel

Introducción

La epigenética empezó a apasionarme hace unos diez años, después de leer un artículo de Jean-Claude Ameisen, biólogo y presidente del Comité Ético del Instituto Nacional de Salud e Investigación Médica. Tuve, además, la oportunidad de estudiar con él en profundidad el impacto de la epigenética en nuestra salud y en la ralentización del envejecimiento en el marco de diversos grupos de debate e intervenciones públicas a propósito de las biotecnologías y del futuro de la medicina. Nuestros intercambios de opinión me incitaron a escribir varios artículos sobre el tema y algunos capítulos en mis últimos libros.

Asimismo, he publicado un vídeo en YouTube en respuesta a la pregunta del periodista Éric Jouan en la Université de la Terre, en marzo de 2013, en presencia de Jacques Attali y Étienne Klein: «Joël de Rosnay, ¿podría usted explicarnos en tres minutos qué es la epigenética?».[1] Ese breve vídeo ha sido compartido miles de veces por los internautas a través de Facebook, Twitter y numerosos blogs, lo cual indica que el público en general ha percibido todo el interés de esta nueva disciplina de vivir bien.

Como resultado de mis investigaciones, mis lecturas y mis reuniones, me he dado cuenta, de manera gradual, de que el alcance de la epigenética iba mucho más allá de nuestro cuerpo. Si es posible actuar sobre un sistema tan complejo como un organismo vivo, ¿por qué no aplicar la epigenética a otro sistema especialmente complejo? Me gustaría hablar de la sociedad en la que

vivimos, trabajamos y actuamos.

El objetivo de este libro no es únicamente ayudarte a organizar mejor tu vida y a darle sentido, sino que aspira a que puedas coordinarte mejor con los demás para influir en la sociedad. Efectivamente, incluso en una democracia como la nuestra, los sistemas electorales tradicionales no son suficientes para traducir eficazmente la voluntad y las aspiraciones políticas de los ciudadanos. Muchos de nosotros deseamos que la democracia representativa actual evolucione hacia una democracia participativa. En este libro explico por qué y de qué manera es posible aplicar los principios de la epigenética para actuar sobre el ADN de nuestras sociedades y, de ese modo, modificar su expresión.

Antes de la aparición de la epigenética, la mayoría de los biólogos estaban convencidos de que los seres vivos no eran más que el resultado de sus genes. Sin embargo, desde hace poco somos conscientes de que disponen de un verdadero potencial de acción en el genoma (el conjunto de los genes del organismo). En efecto, nuestro ADN puede verse influido por nuestro entorno personal: nutrición, ejercicio físico, vida social y amorosa, familia, lugar de residencia, estrés...

Más allá de la genética, la epigenética es, indudablemente, uno de los descubrimientos más importantes de los últimos veinte años en el campo de la biología. Investigaciones recientes han demostrado que el programa del ADN podría expresarse, inhibirse o modularse por el comportamiento de los seres vivos. Parece, asimismo, que diversas enfermedades y trastornos mentales podían estar relacionados con cambios epigenéticos. Estudiar el epigenoma y su regulación se revela, por tanto, como esencial para la comprensión de lo que es la buena salud.

Gracias a la epigenética, conoceremos de ahora en adelante las reglas científicas de base que permiten actuar mucho más rápidamente sobre nuestro cuerpo. Cientos de laboratorios de todo el mundo analizan ya el papel de la epigenética en el tratamiento del cáncer, la ralentización del envejecimiento, la mejora de la salud y el mantenimiento de una salud equilibrada, lo que nos permite protegernos frente a las enfermedades microbianas, virales e incluso las degenerativas vinculadas a la edad. La epigenética abre, además, una

nueva vía a la responsabilidad y la libertad de los seres humanos.

El reto, por tanto, es conseguir gestionar el cuerpo mediante la epigenética. Para actuar sobre el cuerpo y sobre la vida es necesario entender las instrucciones de uso. La idea de esta obra es, asimismo, explicar cómo poner en práctica las reglas del bionomio, es decir, la economía del cuerpo en todos los ámbitos de la vida para prevenir mejor las enfermedades, envejecer jóvenes y con buena salud, más que simplemente vivir más tiempo.

¿Y qué sucede en el ámbito social? El ecosistema de información en el cual se integra internet poseería, igual que los seres vivos, una especie de «ADN social» en el que la información se habría vuelto más compleja como resultado de las aportaciones individuales y masivas de los internautas. La codificación permanente por parte de los humanos podría, por tanto, llevar al surgimiento de una forma de epigenética de este ecosistema. Dicho de otro modo, la expresión del ADN de internet podría modificarse desde el interior por los comportamientos de los usuarios, como sucede con los seres vivos.[\[2\]](#)

¿Y si los «usuarios-neuronas» que representan los internautas ostentasen ese poder sin ser aún conscientes de ello? ¿Y si surgiesen modificaciones epigenéticas del conjunto de comportamientos de los internautas? En tal caso, tendríamos la capacidad de cambiar no lo que el biólogo británico Richard Dawkins denomina *genes sociales*, sino los *memes* y, además —¿por qué no?—, de modificar el ADN social. Pero ¿cómo asegurarnos de que los efectos combinados de las acciones de los internautas y de los memes dentro del organismo de internet sean positivos para la demografía, las libertades y el futuro de la humanidad?

Sobre el principio de la analogía genes/memes o genética/memética, propongo establecer una relación entre epigenética y *epimemética*. Por *epimemética* entiendo «el conjunto de modificaciones de la expresión de los memes del ADN social a través del comportamiento de las personas en una sociedad, una empresa o cualquier forma de organización humana». Estas modificaciones se expanden gracias a las redes de comunicaciones tradicionales, pero, sobre todo, digitales. Gracias a las redes sociales, el comportamiento de los usuarios, los electores, los políticos, los industriales, los científicos... puede modificar el ADN social (de una empresa, de una

asociación...). Al utilizar esas redes como verdaderos centros de poder y orientar colectivamente nuestros comportamientos hacia un mismo fin, colaboramos en una «regulación participativa ciudadana conjunta». Una auténtica oportunidad para que el ciudadano pueda evaluar las acciones de las personas que representan a la sociedad o que actúan en su nombre y que sean o no elegidas democráticamente.

Estas son las preguntas fundamentales para el futuro de la humanidad y que yo deseo abordar aquí, estableciendo este vínculo audaz entre biología y sociedad.

1

Entender las bases de la epigenética

Cuando las abejas libadoras se convierten en nodrizas

Nuestro interés por las abejas no es reciente. En la antigua Grecia, el veneno de abeja ya se utilizaba como remedio contra el dolor. ¿Acaso el filósofo griego Demócrito, que murió a los 109 años, hacia el año 370 a.C., y su compatriota el poeta Anacreonte, fallecido a la edad de 115 años, no atribuían su longevidad al consumo de miel? Este insecto, además de sus virtudes medicinales, presenta unas habilidades sorprendentes y unos comportamientos sociales muy complejos que fascinan desde siempre a investigadores del mundo entero.

El naturalista suizo François Huber (1750-1831) fue el primer científico en entender que la reina de la colmena era fecundada en el aire. Descubrió, asimismo, el papel de las antenas en el origen de la cera de abeja. Demostró que las larvas alimentadas con jalea real por las abejas nodrizas se transformaban a su vez en reinas. Además, allanó el camino a generaciones de entusiastas que, por su parte, revelarían las fantásticas actuaciones de estos ingeniosos insectos.

En su laboratorio de la Universidad de Arizona, en Estados Unidos, Andrew Feinberg y Gro Amdam realizan experimentos singulares junto a sus

alumnos Brian Herb y Florian Wolschin.[1] Al comparar los cerebros de las abejas libadoras (en busca de flores y alimento) y los de las nodrizas, Herb constata diferencias en cuanto a los niveles de metilación de 155 genes. La metilación, como se verá, es el proceso que permite activar o desactivar determinados genes a partir de un mismo genoma sin modificarlo.

Cuando Florian aprovecha la ausencia de las libadoras para retirar a las nodrizas de sus colmenas, ¡cuál no será su sorpresa al comprobar que la mitad de las libadoras se han metamorfoseado en nodrizas! Esta metamorfosis resulta aún más interesante teniendo en cuenta que el aspecto físico y el comportamiento de las nodrizas y las libadoras son extremadamente diferentes y requieren habilidades concretas.

Durante esta transformación de libadoras en nodrizas, los niveles de metilación se modificaron en 107 genes. Cabe señalar que dichos genes intervienen en la regulación de otros genes que comportarán cambios físicos y conductuales. Más extraño aún resulta el hecho de que estas transformaciones sean reversibles. Si llevamos a cabo el experimento inverso y hacemos desaparecer a las nodrizas, veremos que las libadoras recuperan su estado original de w.

Estos estudios ilustran perfectamente los cambios epigenéticos: una información externa (la desaparición de las nodrizas) desencadena el proceso de metilación. A partir de un mismo código genético, este proceso permite regular la actividad de los genes de las libadoras de cara a facilitar o impedir la expresión de algunas de ellas. En el caso que nos ocupa, la metilación ha permitido, por tanto, compensar la pérdida de una casta de abejas con la aparición de otra (las nodrizas se convierten en libadoras y viceversa). Brian y Florian han sido los primeros en demostrar que el comportamiento de las abejas era reversible, igual que la metilación.

La sinfonía de lo que está vivo

Cierra los ojos e imagínate cómodamente arrellanado/a en tu butaca en la ópera de la Bastilla. La orquesta sinfónica de París interpreta la *Novena*

sinfonía de Beethoven en re menor. Sientes la fuerza de esa obra maestra. La gran orquesta, dirigida por un maestro de gran talento, irradia perfección. Timbales, triángulos y platillos resuenan con energía. Cuando los coros inician jubilosos el último movimiento, reconoces el «Himno a la alegría» y sientes la emoción del público, unida a la tuya, en ese instante inolvidable. Esa melodía intensa e intemporal, sin duda la más conocida del compositor, está igualmente asociada a la Unión Europea, la cual la ha elegido como himno para simbolizar la fraternidad entre los pueblos.

Las notas de los diferentes movimientos del «Himno a la alegría» no pueden ser interpretadas a la perfección más que por unos músicos y un director de orquesta capaces de darle vida respetando la intención del compositor. Podemos considerar que las notas musicales de un pentagrama son la genética, mientras que la epigenética es la sinfonía ejecutada a partir de esas notas. Para entender la diferencia entre *genética* («la partitura») y *epigenética* («la sinfonía») no es necesario ser un melómano. Se percibe espontáneamente la relación entre la ejecución de una partitura por unos músicos que tocan diversos instrumentos y la audición de la sinfonía que resultará de su interpretación.

Todos los músicos y el director de la orquesta disponen de su partitura, en la que están representadas las notas musicales, los acordes, los silencios, etcétera. Esas informaciones, gracias a las cuales puede transmitirse la música, están escritas de manera lineal y secuencial: siguen un orden riguroso que permite la ejecución individual, al mismo tiempo que la sincronización de los músicos. La precisión y la belleza de la sinfonía dependerán de la calidad de la interpretación de cada músico, así como de la dirección y la coordinación aportadas por el director de la orquesta.

Nuestro organismo funciona como una gran orquesta. El corazón, los pulmones, el hígado... Cada uno tiene que tocar su partitura en armonía con el resto de los órganos para interpretar la sinfonía de la vida. Nuestra sinfonía personal de la vida. ¡Entender la importancia de la epigenética es tener la oportunidad de convertirnos en directores de orquesta de nuestro propio cuerpo!

Del libro de la vida al libro de recetas

Podemos poner otro ejemplo para explicar la epigenética: el de un libro de recetas.

Si representásemos el ADN como una enciclopedia, cada volumen de ese «libro de la vida» contendría las informaciones propias de las características de una especie. Según la célebre fórmula del biólogo Thomas Jenuwein, director del Max Planck Institute of Immunobiology de Alemania: «La genética es a la epigenética lo que la escritura de un libro a su lectura».

Imaginemos que los genes son los capítulos del texto y el ADN el soporte de la totalidad de las informaciones contenidas en el libro. Para transmitir sus mensajes, el ADN de ese libro de la vida tiene que ser descifrado y traducido por la fábrica celular. De hecho, las células deben ser capaces de leer las informaciones almacenadas con el fin de fabricar los elementos (las proteínas) comunes a una especie, como las que componen, por ejemplo, los miembros o los órganos de un ser humano, o el pico y las alas de un pájaro, el color del pelaje, el olfato y la visión nocturna de un gato.

Si alguna vez has consultado un libro de cocina, entenderás fácilmente esta otra metáfora, un tanto trivial, para ilustrar lo que es la epigenética. Las diferentes células del organismo contienen en su núcleo un mismo ejemplar del ADN, el cual contiene la totalidad de la información genética necesaria para todas las células del organismo. Por tanto, cada célula (del hígado, del riñón o de un músculo) solamente lee los genes (las páginas del libro de cocina) que son útiles para la producción de las proteínas que necesita para su correcto funcionamiento.

Si cocinas de manera habitual, probablemente señalarás las páginas de tu libro de recetas para encontrar rápidamente tus preferidas. Hay quien arranca o pega las páginas que no utiliza nunca. Con el paso de los años, sucede que algunas páginas, víctimas de accidentes (como el vertido de algún producto), se vuelven ilegibles. En el libro de recetas representado por el ADN, algunas páginas pueden estar marcadas con vistas a su uso inmediato. Otras, por el contrario, puede que hayan sido pegadas a otras tal como he descrito, y serán, por tanto, ilegibles. Los marcadores químicos y biológicos permiten la lectura

de un gen (una receta) para elaborar las proteínas y las enzimas indispensables para el funcionamiento de la fábrica celular. Asimismo, pueden inhibir un gen (el cual sigue existiendo, pero se vuelve silencioso) gracias a numerosos mecanismos y funciones. Dependen principalmente del comportamiento de un organismo vivo en el tiempo.[2]

Desde luego, el hecho de conocer la secuencia de las letras químicas que componen un gen no basta para predecir de qué manera este se expresará en tal célula o tal otra, o incluso en el conjunto del organismo. El comportamiento y el entorno desempeñan también un papel importante. Pero ¿cómo poner en práctica, cómo transformar en música, la epigenética? La respuesta está en la toma de conciencia de su participación personal en esta sinfonía. Para emplear una expresión popular, uno puede «hacer algo por su cuenta», en lugar de someterse a la adversidad o a una programación predeterminada. Tenemos realmente la libertad de experimentar y actuar, y la descubrirás a lo largo de estas páginas.

Como he dicho en la introducción, una de las conclusiones principales de los trabajos sobre la revolución epigenética es que los individuos no están (totalmente) predeterminados por sus genes. Su comportamiento y su voluntad de actuar también pueden cambiarles la vida. Desde luego, nadie puede pretender dominar por completo su vida, pero cada uno de nosotros tiene la capacidad de optimizar sus posibilidades de vivir gozando de mejor salud, a condición de adoptar determinados tipos de comportamiento.

Que uno pueda incidir de forma parcial en su salud, su envejecimiento y, por tanto, en el curso de su vida, es básicamente una buena noticia... De nosotros depende adaptar nuestro modo de vida para activar los genes que contribuyen a protegernos de una manera más eficaz contra determinadas enfermedades (diabetes, cáncer, enfermedades cardiovasculares, entre otras). Como mostraré más adelante, estudios recientes han demostrado que nuestras conductas alimentarias influyen en ciertos genes. La alimentación sería, por tanto, un actor esencial en la epigenética.

ADN: tres letras mayúsculas para un descubrimiento capital

Antes de proseguir con la exploración del nuevo mundo de la epigenética, me gustaría volver a hacer referencia a un descubrimiento fundamental: el del ADN. Para el gran público, estas siglas están relacionadas principalmente con pruebas de paternidad o investigaciones criminales. Así lo atestigua la serie *CSI*, en la cual la policía científica estadounidense, a la vanguardia de la ciencia y la tecnología, demuestra su capacidad de hacer hablar al ADN. Efectivamente, desde la década de 1990, nuevos métodos de investigación permiten identificar a un delincuente gracias al más mínimo rastro de su presencia en la escena de un crimen. A partir de una ínfima cantidad de ADN (cabello, secreciones corporales, células cutáneas...), los criminalistas obtienen perfiles genéticos, e incluso retratos robot en 3D de una precisión impresionante. Y, milagros de la ciencia, de esa forma pueden concluir sus investigaciones en tiempo récord. Al menos en las series de televisión...

Dejemos el universo de la ficción y volvamos a la realidad de esas tres letras mayúsculas en todos los sentidos del término. Mientras que la genética, la disciplina destinada al estudio del carácter hereditario de los genes transmitidos por los padres a sus descendientes, existe desde principios del siglo XX, el ADN no fue identificado hasta la década de 1940. Y, si bien ha permitido entender mejor los mecanismos evolutivos de las especies (humana, animales y vegetales), sus descubridores lo desconocían todo acerca de su estructura molecular hasta 1953.

¿Cómo logran ensamblarse y duplicarse las moléculas de ADN, conservando los códigos hereditarios? La respuesta fue un misterio hasta que el biofísico británico Francis Crick y el genetista estadounidense James Watson levantaron el velo. Son ellos, en efecto, los primeros en describir el ADN como una molécula en tres dimensiones. Su representación de una estructura de doble hélice, enroscada alrededor de un eje, en la que cada hebra está formada por una serie de grupos químicos llamados *bases* se hizo célebre en el mundo entero.

De la doble hélice al Proyecto Genoma Humano

En su día, la publicación por parte de estos jóvenes investigadores en la revista *Nature* de sus trabajos sobre la estructura de doble hélice del ADN suscitó poco interés: curiosamente, los científicos infravaloraron el impacto de ese inmenso hallazgo. Consideraban el ADN como un producto químico. Sin embargo, de donde resultan sus asombrosas propiedades de memorización y de duplicación de la información genética es de su muy concreta estructura tridimensional. Su descubrimiento fundamental supondrá para Crick y Watson la concesión del Premio Nobel de fisiología y medicina en 1962.

Esta revolución de las ciencias de la vida transformará radicalmente los conocimientos sobre genética. Gracias a ella, los científicos han comprendido los principios fundamentales de la transmisión de caracteres hereditarios y la posibilidad de mutación por la modificación de las letras del mensaje genético. A nivel molecular, es como si un error tipográfico en el texto transformase totalmente su significado.

En este contexto, los investigadores ponen en marcha, en la década de 1990, el Proyecto Genoma Humano. Equipos de investigación interdisciplinarios (compuestos por bioinformáticos, biólogos, médicos, matemáticos, físicos...) lograrán leer, escribir y, en cierto sentido, programar la vida. Un proyecto faraónico: la secuencia completa (la cartografía) del ADN del genoma humano no se finalizará hasta 2003, tras aplicar recursos considerables. A partir de ese éxito, estamos en condiciones de descifrar y escribir los códigos de la vida mediante máquinas, de fabricar genes sintéticos y, de algún modo, crear el software de la vida.[3]

Además del ADN, las otras grandes protagonistas de esta revolución son las proteínas. El ADN contiene los genes (es decir, la información, los planes moleculares), mientras que las proteínas y las enzimas son las ejecutoras. A partir de los planes del ADN, ellas construyen los ladrillos de la célula-fábrica y constituyen las máquinas-herramientas que garantizan su funcionamiento. Elemento básico, por tanto, de toda célula viva, las proteínas se dividen en dos categorías: las proteínas de construcción (el colágeno, por ejemplo) y las enzimas o proteínas de acción (nanomáquinas que se asimilan, cortan o unen a otras moléculas). Para entender bien su papel, recuerda estas

dos palabras clave: *transcripción* y *traducción*. La transcripción es el proceso de copia del ADN en el «ARN mensajero» (ácido ribonucleico mensajero), el cual interviene en la conversión del ADN en proteína. En cuanto a la traducción, permite la expresión de los genes transportados por el ADN.[4]

El papel esencial de las proteínas para la vida

Presentes en cada una de nuestras células, las proteínas desempeñan un papel esencial. Forman el fenotipo molecular (celular y orgánico), es decir, el conjunto de características bioquímicas de un organismo vivo. Cabe señalar que el genotipo diseña el conjunto de los genes de un organismo vivo, mientras que el fenotipo representa el carácter visible atribuido por uno o más genes. Por ejemplo, ciertos genes determinan el color de la piel, del cabello o de los ojos, el tamaño de las manos, la forma de la cabeza, etcétera. Otros genes le indican al cuerpo cómo comportarse frente a una agresión exterior, como, por ejemplo, un virus.

Proteínas capaces de catalizar reacciones químicas en las células (denominadas enzimas) abrirán la doble hélice del ADN y transcribirán los genes del ADN en una simple hebra llamada «ARN mensajero» (ARNm), que contiene una copia del código genético. Si observásemos los mecanismos de síntesis de las proteínas a escala nanoscópica (molecular) podríamos ver cómo el ARN abandona el núcleo de la célula a través de partículas celulares complejas compuestas de proteínas y ARN, llamadas «ribosomas». Actuando como «cabezales lectores», los ribosomas pueden leer el código genético. A continuación, gracias a adaptadores llamados «ARN de transferencia», los aminoácidos que transportan se enganchan unos a otros en el orden exacto del código genético, creando así una cadena de proteínas.

No olvidemos que las proteínas están compuestas de aminoácidos. Si no sabes qué aspecto tiene una proteína, imagínate veinte vagones separados unos de otros: cada uno de esos vagones representa uno de los veinte aminoácidos clasificados. Dependiendo de la forma en que decidas combinarlos, obtendrás miles de proteínas diferentes (miles de trenes distintos). Aquí encontramos el principio del ensamblaje de las cuatro letras del código genético: A, T, G y C. Basta ordenar las letras en un orden diferente para obtener millones de soluciones, así como de planes que pueden ser utilizados para fabricar proteínas con formas y funciones diferentes.

La síntesis de las proteínas se dedujo, en primer lugar, gracias a la física, a la química y al marcaje radiactivo. Posteriormente, los científicos pudieron ratificar su deducción mediante la observación directa, a través del microscopio electrónico o mediante simulación a través de ordenador, de esa síntesis en dos etapas: transcripción del ADN en ARN mensajero y traducción del ARN mensajero en proteínas. Efectivamente, la célula ensambla una cadena de proteínas combinando los aminoácidos según la información contenida en el ADN. De este modo los investigadores pudieron ver cómo toda la sucesión de ribosomas leía los mensajes del ARN, y también cómo las pequeñas cadenas de proteínas se formaban, se agrandaban y luego se desprendían, nada más terminar, para

reagruparse en el citoplasma, el medio celular.

Hebras de ADN que se pegan como el velcro

Para estudiar la expresión de los genes se utilizan numerosas herramientas moleculares, como por ejemplo las enzimas. Permiten tanto cortar o pegar los fragmentos de ADN como fotocopiarlos o, más bien, «biocopiarlos». Por tanto, cuando los investigadores registran las huellas genéticas de una persona sospechosa de violación, pueden aprovechar una ínfima cantidad de ADN, ya que la muestra es amplificada por la acción de dichas enzimas.

También puede recurrirse a las «sondas de hibridación». La hibridación se aplica al ADN cuando es monohebra, una configuración en la que las letras de su código genético forman una secuencia sin haber encontrado la letra complementaria que les permita formar una pareja. Para remediarlo, la sonda de hibridación trata de detectar una hebra complementaria con el fin de reformar la doble hélice. Como si se tratase de una tira de velcro, esa hebra se pegará a otro fragmento de ADN complementario. Este matrimonio funciona únicamente si la letra A reconoce una T y la letra G una C.[5]

Una sonda de hibridación actúa del mismo modo que una consulta mediante una palabra clave en un motor de búsqueda, el cual es una base de datos digital. De manera análoga, mediante una sonda de hibridación molecular, marcada con una etiqueta química o radiactiva, es posible identificar, seleccionar y extraer un gen de un banco de genes, o genoteca, que contiene miles o incluso millones de genes diferentes.

Las histonas, o la llave del cajón secreto

Con ayuda de un microscopio muy potente, es posible ver cómo la molécula de ADN se enrosca alrededor de las histonas (una variedad de proteínas localizadas en el núcleo de las células) como un hilo en una bobina. Las

histonas son esenciales para las células del organismo y forman parte de la estructura de una sustancia compuesta de moléculas de ADN, ARN y proteínas, denominada «cromatina». Esta desempeña un papel muy importante, ya que, como su nombre indica, participa en la construcción de los cromosomas. Para que nos hagamos una idea, las histonas permiten que alrededor de dos metros de molécula de ADN se compacten en la cromatina.

¿Cómo se libera el ADN compactado? Imaginemos un cajón cerrado con dos vueltas de llave: los genes que se encuentran en su interior (la cromatina, por tanto) no pueden transcribirse ni traducirse. A menos, por supuesto, que dispongamos de la llave... Pero, como en el caso de un cajón secreto, existe, evidentemente, un medio para pulsar el botón que activará el mecanismo. Ese botón es la modificación de las histonas: activará la apertura del cajón y, con ello, el bloqueo o desbloqueo de determinados genes. Gracias a esa llave, será posible asegurar la transcripción de los genes en ARN mensajero y, a continuación, traducir el mensaje genético en proteínas. Transcripción y traducción: volvemos a encontrar aquí nuestras dos palabras clave.

Un gen inhibido equivale a un cajón cerrado: no son posibles ni la transcripción ni la traducción. En cambio, cuando el cajón se abre, la expresión del gen conduce a la producción de una proteína. La apertura y el cierre del cajón genético están asegurados por los mecanismos de acetilación o metilación de los genes o de las histonas.[6]

El malentendido del «ADN basura»

Como he explicado anteriormente, las enzimas y las proteínas actúan como máquinas-herramientas moleculares en las cadenas de ensamblaje o como ladrillos para la construcción de las células. He señalado que, además, intervenían en la regulación del funcionamiento de la «fábrica celular». Sin embargo, se ha descubierto que los códigos que permiten leer los genes y transcribirlos para producir esas enzimas y proteínas no representan más del 2 por ciento del espacio de almacenaje de la información genética que compone el genoma. Esto fue una sorpresa para los biólogos y, sobre todo, para los

genetistas, que se preguntaban para qué servía el 98 por ciento de espacio no codificado del genoma. Durante veinte años, los investigadores se han dedicado a tratar de responder a esa pregunta: ese espacio contiene el código molecular, concretamente pequeñas moléculas de ARN y, sobre todo, de «ARN interferente» que modulan la mecánica genética. Como hemos señalado, esa modulación depende en gran medida de nuestros comportamientos, de nuestras emociones y de nuestros modos de vida.

Antes de encontrar una explicación satisfactoria para este ADN, no codificado en su mayor parte, los biólogos habían decidido —hay que reconocer que un tanto a la ligera— denominarlo «ADN basura» (*junk DNA*). Pensaban que se trataba del resultado de la integración progresiva en nuestro patrimonio genético de genes de bacteria o de virus que nos habían contaminado, de genes mutantes no eliminados que se habían acumulado a lo largo del tiempo.

Hoy sabemos que ese ADN no codificado dista mucho de ser inútil. Forma el epigenoma, es decir, el conjunto de genes que determinan las modificaciones epigenéticas de una célula gracias a la producción de moléculas que no son solamente proteínas y enzimas, como sucede en los mecanismos habituales de la vida celular, sino pequeñas moléculas de ARN que circulan por todo el cuerpo y actúan como interruptores químicos on/off. [7] Este destacable descubrimiento, más importante si cabe que el del genoma, ha allanado el camino de la epigenómica.[8]

El fin del «todo genético» o la gran revolución de la epigenética

Antes del descubrimiento de las funciones secretas del ADN no codificado, la mayoría de los biólogos estaban convencidos de que los seres vivos eran únicamente el producto de sus genes. Dicho de otro modo, estaríamos determinados por un programa genético: el programa de vida heredado de nuestros ancestros. Obviamente, esa convicción plantea el problema de la responsabilidad. ¿Cómo actuar en nuestra vida, cambiar nuestros comportamientos o superarnos si estamos programados para tener una aptitud

física determinada o para reaccionar de una manera concreta? ¿Se trata de una visión claramente desmotivadora y bastante desmoralizadora!

Durante mucho tiempo se creyó que el ADN no podía experimentar variaciones, salvo a través de mutaciones que tardaban mucho en producirse, según el principio de la selección darwiniana. Desde hace poco, sabemos que nuestro ADN puede verse influido también por nuestro entorno personal. Dicho de otro modo, nuestros genes proponen partituras sobre las cuales podemos improvisar en gran medida nuestra «sinfonía de la vida». Podemos decidir fumar y beber o vivir de manera sana. Podemos reprimir nuestras emociones y ocultar nuestros traumas, o someternos a psicoterapia para liberarnos de ellos. Podemos permanecer sentados todo el día o hacer ejercicio. Nuestra decisión influye directamente en la expresión de nuestros genes. Al demostrar que el ADN no es solo cuestión de herencia, la epigenética ha alterado por completo nuestras convicciones.

Según la expresión del médico y biólogo Henri Atlan, hoy en día asistimos al fin del «todo genético», es decir, a la desaparición del postulado según el cual el «programa ADN» controlaría totalmente el funcionamiento y la reproducción de los seres vivos. Los resultados de las investigaciones en el campo de la genética demuestran que no existe una frontera absoluta entre gen (el todopoderoso ADN) y entorno (nuestro medio, nuestros comportamientos). Como subraya también el profesor Atlan: «No existe solo la programación de los sistemas complejos, sino la determinación y regulación mediante interdependencias a varios niveles: metabólicas, funcionales y epigenéticas».[9] Es en esa fluidez y en esa adaptación permanentes donde la epigenética adquiere pleno sentido, y no en un hipotético programa prescrito o predeterminado. Y si existiese tal programa, este requeriría evidentemente «los productos de su lectura y su ejecución para poder ser leído y ejecutado».[10]

Lo adquirido juega, por tanto, un papel decisivo. Las informaciones procedentes del medio exterior modulan la expresión de los genes, inhibiendo o desinhibiendo algunos en función de nuestro entorno (no olvidemos que lo esencial en la actividad de nuestros genes es resultado de una regulación). Los seres vivos disponen, por tanto, de un auténtico potencial de acción sobre

su genoma. Sus actos tienen consecuencias, puesto que pueden activar unos genes y poner otros en *stand by*. Esto es lo que estudia la epigenética: los mecanismos de activación o inhibición de los genes, la modulación de su expresión por parte de los comportamientos o el entorno. Estas modificaciones son reversibles, como ha demostrado el ejemplo de las abejas. Más adelante, demostraré que también son, en parte, transmisibles de una generación a otra, lo cual plantea la cuestión de la herencia en los caracteres adquiridos.

Superar la genética clásica

Considero que la epigenética representa uno de los descubrimientos más importantes de los últimos veinte años en el campo de la biología. Es probable que su impacto, ya de por sí considerable en el ámbito de la medicina o en el estudio del envejecimiento, aumente en los próximos años, habida cuenta de los esfuerzos de la industria farmacéutica y agroalimentaria por prevenir patologías como la obesidad o el cáncer.

El término *epigenética* fue acuñado por el científico y filósofo británico Conrad Hal Waddington en 1942, a partir del prefijo griego *epi*, que significa «más allá» o «por encima».[11] Dicho de otro modo, la epigenética engloba propiedades, un código por encima del código, es decir, un metaprograma biológico que transforma profundamente el papel de la genética clásica al actuar sobre el conjunto de los procesos que conllevan modificaciones en la expresión de los genes sin alterar la secuencia del ADN (o el código genético). Estos procesos son sucesos naturales y esenciales para el buen funcionamiento del organismo.

En el marco de la evolución darwiniana, los científicos observan y describen modificaciones de las formas o de las funciones de los organismos vivos (animales o vegetales) de gran duración como resultado de la actuación de las mutaciones y de la selección natural. Las modificaciones epigenéticas se producen en plazos muy breves —días, semanas o meses—. La inhibición o la sobreexpresión de un gen puede así conducir a desajustes del

metabolismo celular y, por tanto, del propio funcionamiento de determinados órganos.

Investigaciones recientes han demostrado la relación entre epigenética y cáncer. Por ejemplo, determinadas modificaciones epigenéticas (como la acetilación de las histonas o la metilación del ADN) intervienen en la cancerogénesis al desactivar genes supresores de los tumores. Esos genes actúan tanto inhibiendo los mecanismos que favorecen la cancerización, como activando los mecanismos que impiden dicha cancerización. En las células existen igualmente sistemas de vigilancia de la integridad de los genes para evitar mutaciones susceptibles de derivar en un cáncer.

Cuando se producen esos daños, intervienen sistemas de reparación del ADN. Por ejemplo, el gen supresor de tumores denominado p53 desempeña un papel determinante en la señalización de los daños del ADN, su reparación o la eliminación de las células en las cuales el ADN ha sido modificado como consecuencia de mutaciones. Cuando los daños sufridos por ese ADN son demasiado importantes, el gen p53 provoca la muerte de la célula a través de un mecanismo de suicidio celular llamado *apoptosis*. Las modificaciones epigenéticas que tienen lugar en genes supresores de tumores alteran su funcionamiento y pueden, por tanto, conllevar la aparición del proceso de cancerización. Esta pista está siendo estudiada actualmente por numerosos laboratorios de todo el mundo.[\[12\]](#)

Las investigaciones internacionales sobre epigenética adquieren una importancia considerable, ya que afectan a nuestra vida cotidiana. Abren la puerta a una prevención responsable cuyos efectos son medibles, concretamente a través de las nuevas tecnologías digitales de la *e-salud*, «la salud conectada». Por otra parte, aportan un nuevo punto de vista sobre determinadas particularidades que la genética no ha logrado resolver hasta la fecha.

Gemelos auténticos y epigenética

El conocido caso de los gemelos monocigóticos (por lo tanto genéticamente

idénticos) ilustra perfectamente este fenómeno. Si los gemelos auténticos comparten el mismo patrimonio genético, comportamientos y/o entornos diferentes conllevarán diferencias epigenéticas. Eso explica por qué, mientras que un gemelo está sujeto a enfermedades, el otro puede mantenerse protegido frente a las mismas. De hecho, parece que, según los mecanismos que activan o desactivan determinados genes, unos gemelos que mantengan conductas diferentes (hábitos alimentarios, actividad física, consumo de tabaco, alcohol o drogas, gestión del estrés, etcétera) o vivan en entornos muy distintos (lugares contaminados, condiciones climáticas extremas, etcétera), presentarán indefectiblemente diferencias biológicas y conductuales.

A partir de ahora, sabemos que los padres no transmiten solamente sus genes a sus hijos. Se ha observado, por ejemplo, que el comportamiento de la mujer embarazada influye en el desarrollo celular del hijo desde el estado embrionario. Lo que hacemos y lo que vivimos no carece, por tanto, de consecuencias en la expresión de nuestros genes. Nuestros hábitos de vida, así como los acontecimientos que marcan nuestra vida (traumas diversos, guerra, hambre o, por el contrario, abundancia, despreocupación...), repercutirán en nuestra salud y nuestros comportamientos. Asimismo, influirán en la forma en que se expresarán los genes heredados en el organismo de nuestros descendientes. De ahí que haya que modificar por completo las ideas erróneas acerca de la genética y la transmisión de los caracteres adquiridos.

Esa es también la razón por la cual el ejemplo de la vida de las abejas y de su transformación epigenética por la jalea real, expuesto al inicio de este capítulo, resulta tan ilustrativo.

Abejas y jalea real

¿Sabías que todas las larvas de abeja nacen con el mismo ADN, como los gemelos monocigóticos genéticamente idénticos? Poseen exactamente el mismo patrimonio genético y, sin embargo, algunas de ellas serán reinas, mientras que otras serán obreras. ¿Cuál es, entonces, la clave de este

misterio?

Experimentos realizados en laboratorio han evidenciado la influencia de la alimentación en el desarrollo de las larvas. Se sabe, desde hace mucho tiempo, que la jalea real reduce la metilación del ADN. Algunos investigadores han ido más lejos a la hora de estudiar el impacto del aporte de jalea real durante un tiempo más o menos largo. ¿Generaría la alimentación diferencias significativas? Han observado que las larvas alimentadas durante al menos cinco días con jalea real se transformaban sistemáticamente en reinas. Sometidas al mismo régimen alimentario durante un máximo de tres días, el 55 por ciento de las larvas de la colonia se convertían en obreras, el 25 por ciento en intercastas (zánganos) y solamente el 20 por ciento en reinas. Dependiendo de si reciben o no un banquete digno de un rey —o más bien de una reina—, determinados genes se expresarán para producir una abeja más grande y capaz de vivir más tiempo que las otras.[13] Durante su vida real, que puede prolongarse cuatro o cinco años, la reina se dedicará casi exclusivamente a poner huevos. Las obreras, pequeñas, vivaces y estériles, no vivirán más que unas pocas semanas, pero participarán en actividades mucho más variadas.

Investigaciones recientes indican que, aparte de la jalea real, intervienen otros factores nutricionales en la transformación de las larvas en reinas, concretamente el ácido p-cumárico, una sustancia fitoquímica presente en numerosas plantas y frutos.[14]

Comportamientos adaptativos análogos en abejas y hormigas

Un experimento pionero, realizado en 2008 por investigadores australianos, ha demostrado que la supresión de una enzima necesaria para la metilación del ADN (la metiltransferasa del ADN) modificaba el destino de las larvas. Resultó que, al verse privadas de esta enzima determinante, las larvas alimentadas como las futuras obreras en las que estaban destinadas a convertirse, se transformaron en reinas. ¡A pesar de haber recibido miel y polen, se comportaron como si hubieran sido alimentadas con jalea real!

Como hemos visto anteriormente, los jóvenes investigadores de la Universidad de Arizona llevaron a cabo la secuenciación del ADN extraído de los cerebros de las reinas y las obreras. Pudieron identificar las áreas metiladas (las zonas en que se produce el proceso que condiciona la expresión de los genes) y los efectos de ese marcaje químico en la expresión diferenciada de los genes que conduce a la producción de proteínas distintas para las reinas y las obreras. Este experimento ha permitido comprender mejor la importancia de la jalea real y de la metilación del ADN en la expresión epigenética de un número reducido de genes determinantes para la adquisición de características anatómicas, fisiológicas y conductuales muy diferentes.[15]

Las hormigas constituyen otro excelente modelo de estudio del comportamiento social. En su mundo, el impacto de la epigenética es todavía más impresionante, ya que consiste en la sustitución de unas castas por otras. Si, durante tu infancia, has pasado largos ratos observando hormigueros, seguro que te habrás dado cuenta de que se componen de tres castas: las reinas, las obreras (estériles) y los machos. Tampoco ignorarás que en una colonia de hormigas existe una sola reina. Es posible que incluso hayas logrado identificarla, puesto que es la mayor de todas. Además, es la única que pone huevos. Durante su vida, puede poner millones de huevos.

Mientras las reinas ponen huevos, las obreras se mantienen activas. Implementan una forma de inteligencia colectiva para organizar la vida del hormiguero y transportar los materiales necesarios para su construcción. Puede que algunos días les facilitases el trabajo apartando con cuidado los minúsculos obstáculos que les bloqueaban el camino. Otros, por el contrario, seguramente experimentaste un perverso placer desviándolas de su camino, sintiendo curiosidad por ver a qué soluciones recurrían para alcanzar sus objetivos. A pesar de los obstáculos, las hormigas encuentran siempre el camino más corto para buscar alimento y llevarlo al hormiguero. ¿Cómo funciona esa inteligencia colectiva?

Supongamos que colocamos un tarro de mermelada volcado a cierta distancia de un hormiguero y que solo es accesible rodeando un obstáculo asimétrico: por la derecha, el camino más corto; por la izquierda, más largo.

Las primeras hormigas que han encontrado el alimento tienen tantas probabilidades de tomar el camino de la izquierda como el de la derecha. Se sabe que las hormigas son prácticamente ciegas y que se comunican mediante las antenas gracias a una sustancia muy olorosa llamada «feromona», de la cual depositan una gotita en el camino para indicar a sus congéneres que las sigan. El olor de las feromonas se desvanece al cabo de un tiempo y, lógicamente, las hormigas prefieren la distancia más corta. Por lo tanto, cuando las hormigas se desplazan a poca distancia, el olor de las feromonas es incluso más intenso que cuando el circuito está más concurrido. Por tanto, las probabilidades de que la hormiga siguiente elija el camino más frecuentado son mayores. Al depositar su perfume, cada nueva hormiga refuerza, mediante un efecto de feedback positivo de amplificación (o de autocatálisis), la preferencia de un camino sobre otro. Al cabo de cierto tiempo, toda la colonia de hormigas habrá optado por el camino más corto.

¿Por qué es importante para las hormigas elegir el camino más corto? Simplemente porque, de ese modo, ahorrarán energía, una energía que podrá reinvertirse en la limpieza, el mantenimiento y la protección del hormiguero, de las reinas y de los huevos, lo cual contribuye a la supervivencia de la especie en el sentido darwiniano del término.

Pero lo que marca la diferencia es la coordinación colectiva. Ciertas colonias albergan dos tipos de castas de obreras con comportamientos sociales diferentes, aunque posean genes absolutamente idénticos. Lo más asombroso, como en las sociedades de abejas, es que esos comportamientos y el aspecto físico propio de cada casta no están determinados de por vida. Los científicos han demostrado que es posible «reprogramarlas». Para ello, basta con modificar los marcadores químicos que determinan la expresión de ciertos genes. Intervienen en la acetilación de las histonas, ese mecanismo epigenético claramente identificado consistente en modificar químicamente las proteínas asociadas a su ADN. La regulación epigenética explica las diferencias entre castas, concretamente, el hecho de que las hormigas «soldado» posean mandíbulas poderosas que les permiten combatir a sus enemigos y transportar alimentos pesados y voluminosos, o que las hormigas obreras, más pequeñas y numerosas, dediquen su tiempo a la búsqueda de

alimento.

El biólogo E. O. Wilson llevó a cabo un experimento muy interesante. [16] Demostró que, al eliminar una parte importante de una casta determinada en una población de hormigas equilibrada (compuesta por obreras o soldados), las hormigas restantes evolucionaban de manera que pudieran compensar dicha disminución: se metamorfoseaban en hormigas pertenecientes a la casta destruida o reducida. [17] De modo que basta con reducir la población de una casta (obreras, «enfermeras», recolectoras o reinas) para que se recomponga mediante una transformación epigenética. [18]

La inteligencia de las plantas

La inteligencia colectiva de las plantas es aún más sorprendente. También ellas desarrollan comportamientos adaptativos vinculados a la epigenética si nos fijamos en experimentos recientes.

Lejos de tratarse de organismos inmóviles e inertes, los vegetales están dotados de una forma de inteligencia, e incluso de una inteligencia colectiva. En su obra *La vida secreta de los árboles*, [19] Peter Wohlleben, ingeniero forestal, nos adentra en el maravilloso mundo de esos seres sociales, de los cuales describe sus misteriosos comportamientos. La narración abusa tal vez de figuras retóricas antropomorfas, pero logra su objetivo: ¡los lectores no volverán jamás a ver los árboles como antes!

Evidentemente, los botánicos y los biólogos no esperaron la publicación de este asombroso best seller para estudiar la inteligencia o la vida social de las plantas. Uno de los pioneros de la neurobiología vegetal (se habla, asimismo, de fisiología vegetal o fitobiología), el botánico italiano Stefano Mancuso, fundador del Laboratorio Internacional de Neurobiología Vegetal, es conocido por sus obras sobre el funcionamiento de los órganos y tejidos vegetales. Ha revelado a una comunidad científica, cuando menos escéptica, que las plantas poseen una forma de memoria: serían capaces de memorizar el estrés (torsión, presión, rotura, caídas, cambio climático...) y adaptarse.

[20] Por ejemplo, la memoria de la mimosa sensitiva (*Mimosa pudica*) puede durar entre varios días y más de un mes.

Siempre según el equipo de Mancuso, esta variedad de planta estaría igualmente dotada de capacidad de aprendizaje. Así, los fitobiólogos han enseñado a las plantas a permanecer abiertas ante un estímulo inofensivo, como, por ejemplo, una caída de más de un metro, prueba a la que las desgraciadas plantas no solo han sobrevivido, sino a la que, al parecer, se han acostumbrado. Tras haber sido lanzadas decenas de veces desde una altura de un metro y medio, las plantas, que cerraban sus hojas ante cada nueva caída, acabaron, después de caer sesenta veces, por dejar de reaccionar; al menos un número significativo de ellas. Según sus torturadores, las plantas habrían interiorizado el hecho de que todas esas caídas no representaban un verdadero peligro.

Los amantes de las plantas seguramente sostendrán que nuestro conocimiento de la psicología de los vegetales es limitado y es posible que las pobres mimosas simplemente no hayan sido capaces de reaccionar. La historia no dice si se encontraban en estado de shock, pero nos enseña que la mayoría de ellas conservaron durante cuarenta días el recuerdo de ese experimento repetitivo. Se trata de una capacidad memorística fascinante y claramente superior a la de los insectos, la cual rara vez supera las veinticuatro horas.

Las plantas serían, asimismo, sensibles al dolor y poseerían múltiples sensores equivalentes al sentido de la vista y el olfato. Habrían incluso desarrollado sistemas de comunicación utilizando moléculas que se transmiten por la atmósfera, un poco en la línea de las redes sociales.

Los investigadores han descubierto también que las raíces de las plantas contienen células muy sensibles comparables a las neuronas y capaces de detectar informaciones específicas de su entorno cercano.[21] Más sorprendente aún, algunos trabajos demuestran que los vegetales pueden modificar su fisiología o su metabolismo como respuesta a acontecimientos que tienen lugar en su entorno. Por ejemplo, ante agresiones repetidas por parte de herbívoros que devoran sus hojas o sus ramas inferiores, los árboles (concretamente las acacias) emiten señales de alerta que circulan entre ellos.

De este modo, una vez avisados, los árboles activan una función que pondrá en marcha algunos de sus genes para producir toxinas que repelerán a los depredadores. Dicho de otro modo, los estímulos que emanan del entorno provocan la producción de moléculas que regulan la expresión de determinados genes, es decir, los inhiben o los activan. Las hojas de acacia, que unas horas antes eran deliciosas, enferman o incluso envenenan a los antílopes y las jirafas que las agreden. El mensaje es claro: más vale ir a pacer a otro sitio...

El profesor Ian Baldwin, científico estadounidense director del Instituto Max Planck de Ecología Química, en Alemania, y descubridor de la inteligencia de las plantas,[22] no duda en describir la «sensibilidad vegetal» que muestran estas capacidades sensoriales y conductuales como «comparable, o incluso superior a la de los animales». Hasta la fecha, los científicos han identificado más de 700 sensores diferentes (luminosos, térmicos, mecánicos, químicos...). Sabemos, por tanto, que las plantas ven. Pueden detectar longitudes de onda (los rayos ultravioletas e infrarrojos de la luz) e intensidades débiles que nosotros somos totalmente incapaces de percibir. Su sentido del tacto es muy superior al nuestro. Sienten el más mínimo roce, el más mínimo movimiento del aire, de insectos, de las ramas o de las raíces. Por otra parte, huelen y oyen. Efectivamente, perciben cientos de señales (temperatura, viento, luz, sol...) procedentes de su entorno inmediato. Y, por último, hablan; al menos, como hemos visto, emiten y detectan señales químicas, concretamente cuando son expuestas a una agresión (los terpenos, en particular, unas moléculas olorosas, hacen entonces las veces de señales de alarma).

La epigenética es la clave de la supervivencia de los vegetales

Los científicos han demostrado que las plantas poseen miles de genes cuya existencia se explica únicamente para producir las proteínas o las señales moleculares necesarias para su supervivencia o su adaptación, a pesar de carecer de cerebro y de sistema nervioso, al menos en el sentido que tienen en

el caso de los animales y los seres humanos. La etología vegetal no ha acabado de explorar ese mundo fascinante, que parece cada vez menos inmóvil y pasivo.

En opinión del biólogo y botánico Francis Hallé, no se puede hablar realmente de «una memoria o un aprendizaje comparables a los nuestros. Una planta a la que solamente riegas de vez en cuando, por ejemplo, se acostumbra a vivir en un entorno seco; lo recuerda. En cambio, si la riegas mucho, el día que dejas de hacerlo se muere. La planta depende, asimismo, de lo que le haya sucedido en épocas pasadas».[23] Esa memoria se activa, por lo general, gracias a la expresión de un gen que ha permanecido inactivo hasta la fecha.

Para otro gran investigador, Lincoln Taiz, profesor emérito de la Universidad de California, «los genes pueden ser modificados químicamente por factores ambientales como el estrés, y dichas modificaciones epigenéticas pueden, en ciertos casos, transmitirse a la siguiente generación. Esa sensibilidad del genoma resulta sorprendente y apenas estamos empezando a explorar el alcance del control epigenético del desarrollo de la planta».[24]

De hecho, a diferencia de los animales o los seres humanos, los cuales pueden desplazarse para huir de un peligro o de un depredador, la longevidad de las plantas depende exclusivamente de la variabilidad de sus genes y de la epigenética. En realidad, esos genes son mucho más numerosos en los vegetales, especialmente en el caso del arroz, que tiene más de 40.000, mientras que en el ser humano hay menos de 30.000. Sin embargo, a pesar de ese número reducido, los humanos también pueden intervenir en su equilibrio corporal y mantener una buena salud.

Gestionar el cuerpo mediante la epigenética

Gracias a esas investigaciones, hoy en día entendemos mejor los mecanismos moleculares de la epigenética. Ahora, el reto consiste en lograr aplicarlos para mantenernos sanos, o incluso ralentizar el proceso de envejecimiento. Es lo que llamo «gestionar el cuerpo mediante la epigenética». Se trata de que

cada uno de nosotros entienda las instrucciones de uso de la epigenética.

Imagina que estás en disposición de tomar el control de tu cuerpo. Posiblemente te inquieten los problemas de salud o un poco de sobrepeso. ¿Quién no ha deseado alguna vez adoptar un estilo de vida más equilibrado, comer mejor, hacer más ejercicio, tener más tiempo libre y pasar más tiempo con sus seres queridos? ¿Cómo motivarse respecto a la duración de esos proyectos? ¿Cómo hacer que los buenos propósitos se prolonguen más que algunas semanas, aunque los beneficios no se aprecien forzosamente de inmediato?

La epigenética es tu mejor aliada. Al ofrecerte la posibilidad de actuar, te convierte en protagonista de tu propia evolución, y abre una nueva vía a la responsabilidad y la libertad de los seres humanos. La idea es que te explique cómo ponerla en práctica en todos los aspectos de tu vida, puesto que tus comportamientos cotidianos influyen en la expresión de tus genes y, como veremos, la epigenética no se limita a la gestión del cuerpo. Unas «instrucciones de uso epigenéticas» nos permitirían a todos cumplir nuestros deseos: evitar las enfermedades, «envejecer jóvenes» gozando de buena salud, y no solamente vivir más años. Ser conscientes de ello nos dará más libertad y, por tanto, nos otorgará una mayor responsabilidad.

2

Cómo cambiar tu vida: la epigenética en la práctica

¡Esa gente me pone enfermo!

«Encontrarse bien en su piel», «hacerse mala sangre», «estar hasta las narices», «comerse la cabeza»... Durante mucho tiempo, los científicos y los médicos han subestimado, e incluso ignorado, las enfermedades o disfunciones psicológicas y mentales llamadas *psicosomáticas*, es decir, resultantes de la relación fundamental entre la mente y el cuerpo.

Para entender la base científica de esos trastornos hubo que esperar a los estudios de Rita Levi-Montalcini, una gran investigadora italiana y premio Nobel de fisiología y medicina en 1986, fallecida en Roma el 30 de diciembre de 2012. Gracias a la «psiconeuroinmunología», una nueva materia interdisciplinar de la cual fue pionera mundial, demostró la estrecha relación existente entre la red hormonal, la red nerviosa y la red inmunitaria que regulan el funcionamiento de nuestro cuerpo. Esas tres redes se comunican de manera permanente, concretamente a través de hormonas producidas por una de ellas y que son captadas por los receptores de las células de las otras. El gran avance científico y médico que le debemos a Rita Levi-Montalcini es haber demostrado cómo y por qué una comunicación deficiente entre esas

tres redes podía dar origen a enfermedades en adultos o a problemas de desarrollo en niños. Así, en 1952, aisló el factor de crecimiento nervioso de las células cancerosas.[1]

A menudo, hablamos de nuestras enfermedades psicosomáticas: cómo una desavenencia con el jefe, una discusión sobre política con los amigos o el accidente de un ser querido han podido afectar a nuestro estado mental y físico. «Eso me pone enfermo» es una expresión clásica que se utiliza en este contexto. Significa que medimos hasta qué punto nuestra mentalidad y nuestro humor influyen en nuestro bienestar. «Pensar positivamente» determina nuestra forma de percibirnos a nosotros mismos y de percibir el mundo que nos rodea. De lo que quizá no seamos tan conscientes es de que, mediante la epigenética, podemos reorientar procesos psicosomáticos negativos en una dirección que sea beneficiosa para nuestra salud y nuestro equilibrio mental.

Voy a proponerte unas instrucciones de uso sencillas para una buena práctica de la epigenética. El secreto está en cinco palabras clave que constituirán la base de los capítulos que vendrán a continuación: alimentación, ejercicio, antiestrés, placer y armonía.

Una alimentación equilibrada, ejercicio físico, reducción del estrés, búsqueda del placer y armonía en la red humana, social y familiar: he aquí las cinco claves interdependientes de la longevidad y del equilibrio físico y mental, cuyos efectos acumulativos son decisivos para nuestra salud. Favorecen la producción de cierto número de biomoléculas que, al penetrar en el núcleo de las células, influirán en la expresión de los genes, concretamente modificando las histonas (esas proteínas esenciales para la estructura de los cromosomas descritas en el primer capítulo). Esta práctica epigenética cotidiana no solo es fácil de aplicar, sino que proporciona rápidamente resultados visibles.

La revolución científica de los últimos veinte años nos ha permitido descubrir más claves de la longevidad. Por ejemplo, sabemos desde hace tiempo que lo que comemos modifica la expresión de nuestros genes. Del mismo modo, el deporte o el yoga pueden influir en la expresión de los mismos en muy breve espacio de tiempo. Por lo que respecta a nuestra forma

de reducir el estrés y a la armonía de nuestras redes sociales, profesionales y familiares, ambas cosas influyen también en nuestra salud.

Debemos tener en cuenta que el cuerpo se comporta como un filtro: absorbe todo tipo de sustancias, elimina algunas de ellas y retiene otras. Seguir una dieta equilibrada significa administrar mejor la ingesta de alimentos para que nuestro cuerpo funcione bien. Salvo excepciones, el organismo alimentado y cuidado correctamente se comporta como una máquina bien engrasada. Ofrece un buen rendimiento, sin acumulación de productos parásitos.

Reducir las calorías aumenta la esperanza de vida

Gracias a estudios realizados con ratas, ratones, perros y monos, se sabe, desde hace tiempo, que una restricción calórica del 20 por ciento al 40 por ciento aumenta la esperanza de vida. Los animales no solo viven más, sino que son más activos y padecen menos enfermedades. El mismo tratamiento aplicado a las moscas, los gusanos y la levadura produce los mismos efectos. Es evidente que una alimentación baja en calorías es un factor de longevidad en los seres vivos. Por tanto, esto es válido también para los seres humanos. Del mismo modo, la práctica regular del ayuno bajo supervisión médica o en clínicas especializadas produce efectos epigenéticos espectaculares.

En una persona adulta, una alimentación moderada se corresponde con aproximadamente 2.200 calorías diarias. Para dar una idea de magnitud, un estadounidense consume una media de 2.500 calorías diarias, un francés 2.300 y un japonés 1.800. Por supuesto, no todas las calorías tienen el mismo valor: 2.200 calorías de chocolate o pasteles no producen los mismos efectos que una cantidad equivalente de carne, fruta, verdura o pescado. Más en serio, es fácil reducir las calorías hasta 1.900 al día repartiendo del siguiente modo las comidas: un desayuno compuesto por un yogur, una naranja, una rebanada de pan con mermelada y té; un almuerzo consistente en una pechuga de pollo, una ensalada y una fruta y una cena de una sopa, pasta con salsa de tomate y una pieza de fruta. ¿Acaso la sabiduría popular no

recomienda desayunar como un rey, comer como un príncipe y cenar como un mendigo?

Está demostrado que ingerir diariamente entre 3.500 y 4.500 calorías puede ser peligroso, especialmente si ello va unido a la falta de ejercicio físico. Por otro lado, si las personas que practican un deporte intenso o realizan una actividad profesional muy física reducen la ingesta a 1.900 calorías corren el riesgo de quedarse con hambre... Velar por una dieta equilibrada no debe significar caer en los excesos. Cuidado también con la obsesión por la comida (ortorexia): ¡hay quien se impone tantas restricciones para reducir las calorías que puede acabar muriendo de aburrimiento! Evidentemente, es posible adoptar unos hábitos alimenticios saludables sin hacer con ello que tu vida sea triste. Yo muestro los medios, luego le corresponde a cada uno adaptar sus menús en función de sus gustos, en la medida en que la combinación de alimentos es relevante para aumentar los efectos de la epigenética.

Por lo que respecta a las bebidas es mejor dar preferencia al agua sobre los refrescos con gas y otras bebidas azucaradas. Igualmente, es preferible limitar el consumo de alcohol. Los anuncios de agua mineral llevan décadas repitiéndolo: «¡Bebe y elimina!». Al fin una publicidad no engañosa. En efecto, se ha demostrado que beber entre un litro y medio y dos litros de agua al día favorece y acelera la eliminación de toxinas (transportadas por la sangre) y hace funcionar la vejiga y los riñones, los cuales actúan como un servicio de limpieza abierto veinticuatro horas al día.

La regla de oro: comer en colores

Los nutricionistas nunca pierden ocasión de recordar esta regla fácil de retener, incluso por los niños: «¡Comed en colores!». Tienen razón: las frutas y verduras de colores, especialmente las rojas, amarillas, anaranjadas, azules o violetas, contienen sustancias antioxidantes y antiinflamatorias. Come dos o tres verduras diferentes cada día (espinacas, coles de Bruselas, judías verdes, guisantes, lechuga), si es posible naturales (para evitar los conservantes y el

azúcar). Cocínelas, preferentemente, al vapor. Si fuéramos realmente sensatos, deberíamos ingerir también entre tres y cuatro frutas diferentes al día. Por ejemplo, una naranja por la mañana, una pera o un plátano a la hora de comer y fresas, frambuesas o uvas en la cena. Las manzanas contienen pectinas, auténticas esponjas de colesterol. Y, como dicen los ingleses: «An apple a day keeps the doctor away» (una manzana al día el médico te evitaría... «¡siempre y cuando tomes buena nota mental!», bromeaba Winston Churchill).

También es conveniente aumentar el consumo de frutos secos, ricos en fibra y minerales, a menos que tengas problemas de sobrepeso (se trata de alimentos muy calóricos). Uno de los alimentos más equilibrados que pueden consumirse en el desayuno es el muesli, la tradicional mezcla suiza de frutas deshidratadas, nueces, avellanas, pasas, cebada y avena. Y lo que se conoce como *músico* —una mezcla de almendras, pasas, avellanas, dátiles o higos— es ideal para compensar un sobreesfuerzo.

Come grasa y limita el consumo de sal

Mientras que la mayoría de los especialistas en nutrición pensaban que reducir las grasas animales era una necesidad, un estudio reciente expone, por el contrario, los beneficios de «comer grasa».[2] Durante siete años, los investigadores del PURE (Prospective Urban Rural Epidemiology) han estudiado la alimentación y la salud de más de 135.000 individuos con edades comprendidas entre 35 y 70 años en dieciocho países. Según sus observaciones, las dietas más ricas en carbohidratos están relacionadas con un aumento del riesgo de mortalidad. Una alimentación muy pobre en grasas aumenta también el riesgo de mortalidad.

El sitio web Futura Santé, que resume esta importante publicación científica, señala: «Los investigadores, que recomiendan una proporción “ideal” de un 50-55 por ciento de carbohidratos (azúcares) y un 35 por ciento de grasas (lípidos), sugieren que se reconsideren algunas recomendaciones oficiales que instan a la población a comer menos carbohidratos».[3] Las

grasas (animales y vegetales), excluyendo las industriales, son indispensables para el organismo. Protegen incluso contra el cáncer. Esto está haciendo tambalear muchas ideas preconcebidas; o, más bien, impuestas desde la década de 1960 por los lobbies agroalimentario y farmacéutico.

No olvidemos los beneficios del pescado salvaje capturado en el mar, rico en omega 3. Hay que darle preferencia sobre el pescado de piscifactoría, saturado de antibióticos y alimentado con harinas animales. Los grandes pescados que dominan la cadena alimentaria, como el salmón, contienen también más productos tóxicos y metales pesados. Por tanto, más vale comer peces pequeños antes de que sean devorados por los grandes.

Los efectos beneficiosos del aceite de oliva para las arterias

Si tienes que utilizar grasas líquidas, decántate por las denominadas *no saturadas*. Estas se consideran más saludables debido a su estructura molecular. De hecho, las cadenas lipídicas son los componentes principales de las membranas de nuestras células. Se denominan *saturadas* cuando se sitúan unas junto a otras en filas apretadas, impidiendo así cualquier comunicación con el exterior. Si están acodadas en el medio se llaman *no saturadas*. En este caso, el espacio libre entre las membranas permite a la célula intercambiar componentes esenciales con el exterior. Entre los aceites beneficiosos cabe mencionar el aceite de oliva, el de colza, los aceites de borraja (una planta rica en ácidos grasos no saturados) y los aceites de pescado con omega 3.

Una publicación de Valentini Konstantinidou y su equipo de la Universidad Pompeu Fabra de Barcelona ha demostrado el efecto beneficioso del aceite de oliva en la disminución de las enfermedades cardiovasculares. [4] El aceite de oliva virgen mejoraría, asimismo, la memoria y protegería contra la enfermedad de Alzheimer. El objetivo del equipo de investigadores de Konstantinidou era verificar las consecuencias asociadas a la tradicional «dieta mediterránea» y al consumo de aceite de oliva virgen en las modificaciones de la expresión de los genes vinculados con la arteriosclerosis

(enfermedad provocada por el envejecimiento de las arterias). Este estudio clínico se llevó a cabo durante un periodo de tres meses con 90 voluntarios de edades comprendidas entre 20 y 50 años en condiciones estadísticas rigurosas. Los resultados son contundentes: los investigadores han podido demostrar una disminución de la expresión de genes relacionada directamente con la inflamación y el estrés oxidativo que provoca efectos nefastos en el sistema cardiovascular. Su trabajo pone de relieve las propiedades nutrigenómicas y los efectos beneficiosos para la salud de los polifenoles presentes en el aceite de oliva virgen.

Nuestro organismo complejo está ávido de nutrientes de calidad listos para convertirse en energía, ya que el cuerpo humano es un transformador de energía, una «central térmica» que garantiza la autonomía energética de las células necesarias para la vida, cubriendo sus necesidades de oxígeno. Nuestro carburante son los nutrientes que absorbemos y que nuestra máquina transforma en energía para mantenernos con vida. La expresión «quemar calorías» adquiere entonces pleno significado. Para suministrar la energía suficiente para el buen funcionamiento de nuestro metabolismo, la central debe funcionar a pleno rendimiento. En ocasiones, es demasiado vieja o está defectuosa y su eficiencia energética es demasiado baja para producir las reacciones químicas necesarias para el reciclaje de los residuos energéticos (los famosos radicales libres) almacenados en el organismo.

De hecho, el envejecimiento entraña una disminución de la eficiencia energética. Al carecer de la energía vital para transformar los nutrientes en carburante, el organismo se ve expuesto a enfermedades neurodegenerativas como la enfermedad de Alzheimer o la enfermedad de Parkinson, por citar solamente algunas de ellas, que afectan especialmente a las personas de más edad. Los tejidos cancerosos consumen diez veces más glucosa que las células sanas. El PET Scan es una prueba que se realiza en los hospitales consistente en inyectar glucosa con un marcador fluorescente radiactivo en la vena del paciente. Podemos seguir claramente el camino recorrido por la glucosa, lo que permite verificar si existe metástasis o medir la eficacia de los tratamientos en curso.

Por este motivo, los médicos generalmente abogan por que sus pacientes

limiten los azúcares en su dieta. Algunos prescriben un régimen cetogénico muy estricto, es decir, que excluya rigurosamente todos los azúcares (rápidos y lentos). Una alimentación normal está constituida por un 50 por ciento de carbohidratos (azúcares), un 35 por ciento de grasas (lípidos) y un 15 por ciento de proteínas. En la dieta cetogénica, los azúcares son sustituidos por grasas: el 90 por ciento de las calorías corresponden a lípidos, el 8 por ciento a proteínas y el 2 por ciento a glúcidos. La eficacia de este tipo de alimentación rica en grasas y limitada en proteínas está igualmente reconocida como beneficiosa en el tratamiento de la diabetes, la obesidad e incluso de la enfermedad de Alzheimer.

Es la degradación de los ácidos grasos por el hígado la que produce cuerpos cetogénicos: el butirato, que contribuye decisivamente al buen funcionamiento de la flora intestinal, o la acetona, que libera energía cuando el azúcar no llega a penetrar adecuadamente en las células. Técnicamente, si reduces la ingesta de azúcares y los reemplazas por grasas, el hígado reacciona automáticamente segregando moléculas de cetonas. El cuerpo, en situación de cetosis, no tendrá más remedio que extraer energía de estos cuerpos cetónicos.

El azúcar, un veneno para el cuerpo

Si eres un gran amante de los azúcares (glucosa, fructosa...) —bollería, repostería, helados, mermeladas, azúcar blanco, pan, pasta, patatas, frutas (las más azucaradas) y otros dulces—, llevar una dieta de ese tipo puede resultarte bastante frustrante. Sin duda, necesitarás algo de tiempo para deshabituarte a tu organismo y dejar de sentir deseo de consumir azúcar. No obstante, esta dieta hará las delicias de aquellos a quienes les gusta la grasa, la mantequilla, la nata, los quesos (no todos), los aceites, las frutas poco azucaradas y los aguacates. En las librerías es posible encontrar muchos libros de recetas cetogénicas (adecuadas también para los vegetarianos).[5]

El azúcar puro (la sacarosa extraída de la caña de azúcar y de la remolacha) incita al cuerpo a producir insulina y guardarla en la reserva (bajo

la forma de glucógeno) —una reserva lista para ser empleada en caso de que el organismo necesite un aporte extra de energía—. Un consumo excesivo de azúcar puro puede provocar un mal funcionamiento de esa bomba de insulina acelerando el metabolismo, lo cual tiene como consecuencia un aumento de la oxidación del cuerpo quemando todavía más grasas y azúcares... Mejor consumir los yogures naturales, sin añadir azúcar. Si eres muy goloso, siempre puedes añadir un poco de melaza.

Este residuo de azúcar, que no ha cristalizado, contiene muchas sales minerales. Al menos absorberás fósforo, magnesio y hierro, nutrientes que proporcionan energía, oxigenan la sangre y estimulan el sistema inmunológico.

En cuanto a los azúcares llamados «lentos» (pasta, patatas, pan, pizza...), se liberan en el organismo más lentamente y no provocan un exceso de producción de insulina. Algunos nutricionistas, sin embargo, consideran que un exceso de azúcares lentos puede provocar un sobrecalentamiento de la máquina de insulina y, por consiguiente, acelerar el metabolismo, lo cual conlleva un envejecimiento prematuro de las células.

En la antigua Grecia, el padre de la medicina, Hipócrates, recomendaba a los epilépticos seguir una dieta sin azúcar y baja en grasas. Hoy en día, la terapia cetogénica también se receta a los epilépticos que rechazan o no toleran los tratamientos farmacológicos. Lo siento por la industria azucarera, pero el azúcar es un acelerador del envejecimiento. No es, en absoluto, indispensable para la vida.

¡Viva el chocolate negro con 70 por ciento de cacao!

La francesa Jeanne Calment, decana de la humanidad hasta su fallecimiento a los 122 años, confesaba adorar el chocolate. Le divertía explicar a los periodistas que le preguntaban por el secreto de su longevidad que esta se debía a su pecadillo... Como puede verse, nada impide dejarse llevar por pequeños vicios familiares e inofensivos. El chocolate con leche, demasiado dulce para ser honesto, no es recomendable. Sin embargo, el chocolate

compuesto por cacao en un 70 por ciento contiene elementos nutritivos como el magnesio, estimulantes del sistema nervioso (por ejemplo, la teobromina), cafeína y pequeñas cantidades de serotonina con efectos antidepresivos (que compensan la pérdida de esta molécula en el cerebro). El cacao contiene, entre otros, polifenoles como la catequina —uno de los principales componentes del té—, que posee propiedades antioxidantes, y la feniletilamina, que imita a la hormona que se produce cuando se está enamorado y estimula la producción de endorfinas (los opiáceos naturales del cerebro). Sus beneficios derivan también de moléculas próximas al THC (un componente de la marihuana) que se unen a los mismos receptores cerebrales que el cannabis. ¡Estoy seguro de que ahora algunos lectores entienden mejor por qué son adictos al chocolate!

Misterios y virtudes de la complementación proteica

No comer carne se ha convertido en tendencia. Como reacción a los escándalos sanitarios y a las denuncias de maltrato a los animales de granja, los partidarios de una dieta vegetariana (excluyendo el consumo de carne de animales), e incluso vegana (excluyendo cualquier producto derivado de animales y de la explotación de los mismos) son cada vez más numerosos. El fenómeno va más allá de ser una simple moda pasajera; constituye una forma de vida. Cada cual es libre de elegir su dieta. Sean cuales sean las motivaciones, hay que saber que una dieta sin carne solamente será equilibrada si se combinan correctamente diferentes alimentos (verduras, legumbres y cereales) en el mismo plato. ¡Mejor pensárselo bien antes de cambiar de dieta, ya que puede que los resultados sean contrarios a los esperados!

Como he mencionado en el primer capítulo, nuestro cuerpo, con el fin de fabricar la gama de proteínas necesarias para el metabolismo, necesita de manera indispensable cada uno de los veinte aminoácidos enumerados. Si falta alguno de ellos (se habla de *factor limitador*), el organismo se debilita. Imagina que tienes que fabricar tres banderas tricolores azul-blanco-rojo:

necesitas diez bandas azules, diez blancas y diez rojas. Si tienes diez bandas azules, diez blancas, pero solo dos rojas, ese factor limitador (dos bandas rojas en lugar de las cinco que necesitas) hará que disminuya tu producción de banderas tricolores.

¿Sabes que de los veinte aminoácidos esenciales para nuestra supervivencia, ocho no pueden ser producidos por el organismo? Estos son el triptófano, la lisina, la metionina, la fenilamina, la treonina, la valina, la leucina y la isoleucina. Deben, por tanto, obtenerse del exterior. Por ejemplo, si nos alimentamos exclusivamente de arroz, sufriremos un déficit de lisina. Si solo comemos garbanzos, nuestro cuerpo echará mucho de menos la metionina. Por este motivo, observamos esas carencias en los niños de algunos países de África, cuya dieta consiste exclusivamente en mandioca. No obtienen todos los aminoácidos y su salud se ve gravemente afectada por ello. La ausencia de aminoácidos es un factor limitador.

La complementación, una receta universal

¿Es una coincidencia que los platos tradicionales de todo el mundo apliquen las mismas recetas? Quiero hablar de la complementación proteica. Las poblaciones de África del Norte combinan el cuscús de harina de maíz (rico en metionina) con garbanzos (ricos en lisina). En India, el arroz se consume acompañado de lentejas. Los rusos tienen la costumbre de combinar la cebada con la kacha (una mezcla compuesta de trigo sarraceno, maíz, avena o cebada). En China comen soja como complemento del arroz. Los mexicanos comen sobre todo frijoles rojos acompañados de maíz. Todos esos platos tradicionales combinan la lisina y la metionina. En otros lugares también combinan los alimentos, pero dando preferencia a algunos de origen animal, como la leche o el queso. Probablemente habrás degustado el delicioso *porridge* inglés, compuesto de avena y leche, o los succulentos espaguetis con queso de los italianos...

Los pueblos tradicionales que consumían guisantes, garbanzos, judías o soja (ricos en lisina), acompañados de arroz o de harina (ricos en metionina)

conocían intuitivamente las reglas de la complementación proteica. Sin embargo, ignoraban que la combinación de arroz y lentejas permitía fabricar proteínas con efectos equivalentes a las proteínas de la carne y que contienen todos los aminoácidos. Por ejemplo, si consumimos por separado dos tazas de maíz y media taza de frijoles, obtenemos las proteínas equivalentes a un bistec de 100 gramos. Sin embargo, si las consumimos al mismo tiempo, la combinación produce la proteína equivalente a un bistec de 143 gramos, es decir, ¡casi un 50 por ciento más!

En la antigüedad, una dieta vegetariana combinada adecuadamente permitía a las civilizaciones primitivas gozar de buena salud. Los antiguos fabricaban proteínas saludables para el cuerpo y el cerebro y, además, practicaban una economía inteligente. Utilizaban los productos de la granja, no el capital que podían obtener de estos. Conservaban las gallinas para tener huevos, las vacas para tener leche y los bueyes para que tirasen del arado. Reservaban los cerdos para las celebraciones. Por supuesto, estoy exagerando un poco, pero mi intención es mostrar que los principios básicos de una buena administración tradicional son también los aplicados por la bioquímica (a través de reacciones químicas beneficiosas para el organismo).

Las reglas de la buena mesa

Es recomendable consumir cotidianamente los productos naturales siguientes:

Por la mañana: un gran vaso de zumo de granada bio, una taza de té verde bio, una manzana golden con la piel bien lavada (cepillada); un plato de cereales integrales sin azúcar (muesli o porridge) con leche de soja; un yogur bifidus ; avellanas, almendras peladas y pasas sultana (bio); dos grageas de omega 3 y una de cúrcuma.

En la comida: pocas grasas, jamás carne procesada (embutidos, salchichas, patés), sino pescado, carne de ave o carnes magras (magret de pato) con muchas verduras y frutas. Beber un litro y medio de agua mineral, es decir, el equivalente a 8 o 9 vasos grandes.

Después de comer: 2 o 4 onzas de chocolate negro intenso con 70 por ciento de cacao.

Durante la comida o a lo largo del día: 2 vasitos de vino tinto.

Para cenar: una sopa de verduras casera (no sopas preparadas ni platos precocinados en general: contienen conservantes, colorantes, potenciadores del sabor...).

Para añadir ocasionalmente a la sopa: lechuga, arroz integral o salsa de tomate con espaguetis (integrales), y media cucharadita de cúrcuma en polvo (antiinflamatoria y

antiartrósica) si no se ha tomado una gragea por la mañana.

En general, es preferible comer poco (de manera frugal, no repetir, quedarse al 80 por ciento).

Asimismo, es importante saber que lo que quema grasas no es quemar calorías, sino hacer músculo. El bodybuilding (pesas, abdominales, bicicleta estática, remo...) se come la grasa e irriga el cerebro.

Todo lo que he descrito anteriormente funciona sinérgicamente, es decir, que se trata de alimentos que pueden combinarse todos los días.

Hay que evitar a toda costa las dietas de esto o de aquello. Los nutrientes y suplementos dietéticos se refuerzan unos a otros: sus efectos se multiplican por 1.000 o incluso por 10.000 cuando se ingieren a la vez (por ejemplo, la cúrcuma con la pimienta negra).

Una dieta equilibrada es una de las claves de la epigenética. Sin embargo, no debemos pensar únicamente en nosotros mismos. Hay seres minúsculos que viven en simbiosis en nuestro cuerpo. Desempeñan un papel esencial en nuestra vida. Aunque la medicina tradicional conocía el papel fundamental de la flora intestinal, hasta hace poco no hemos sido conscientes de la inmensa importancia que tienen esos microbios para nuestro cuerpo. Por eso tenemos que alimentarlos de manera equilibrada y evitar envenenarlos con alimentos o bebidas tóxicas y con un exceso de medicamentos.

3

Nuestros amigos los microbios

¿Sabías que nuestro cuerpo es un auténtico albergue de microbios? Nosotros ya somos un macroorganismo compuesto por seis billones de células humanas. ¡Pero también han elegido establecer su domicilio en esa dirección más de cien billones de células bacterianas! Los microbios que viven en nuestro intestino (la flora intestinal) y en diferentes partes de nuestro cuerpo constituyen el *microbioma*. Son útiles para nuestra vida.[1] No solo producen vitaminas y aumentan nuestras defensas inmunológicas, sino que nos protegen frente a otros microbios peligrosos.

La flora microbiana vive en simbiosis con su huésped (nosotros). Está compuesta de bacterias, paramecios y hongos microscópicos que constituyen lo que también se denomina *microorganismos comensales*. Ese término, procedente del latín *cum* («con») y *mensa* («mesa»), significa sencillamente «con quienes nos sentamos a la mesa todos los días de nuestra vida». Existen cuatro floras principales: la que vive en la piel, la de los bronquios y los pulmones y la flora de los sistemas genital y digestivo. Esos microbios constituyen la población más abundante y variada.

El microbioma es un verdadero órgano que puede llegar a pesar hasta cinco kilos. Segrega hormonas, vitaminas, interviene en algunos trastornos cerebrales y estimula la inmunidad. Permite, asimismo, luchar contra otros

virus o bacterias oportunistas, susceptibles de colonizar el hotel. Como veremos más adelante, los microbios han evolucionado junto a los humanos, aptitud destacable que esos pensionistas han desarrollado a base de frecuentar íntimamente a su huésped.

Hay que hacer que nuestro microbioma sea feliz

La mejor forma de tener un microbioma equilibrado y productor de biomoléculas que nos mantienen sanos es alimentarlo con productos que influyan en su epigenoma. Cuando hablamos del genoma humano, generalmente no mencionamos el *metagenoma*. Bajo ese nombre se esconden las poblaciones bacterianas que habitan en nuestro organismo. Por lo tanto, el metagenoma no está compuesto solo de nuestros 25.000 o 30.000 genes, sino también de 10 millones de genes microbianos.

Con estos últimos formamos un superorganismo.

Lo que comemos todos los días determina el equilibrio de ese superorganismo y, por lo tanto, de su metagenoma. Actualmente, existe una ciencia que estudia la relación entre la alimentación y los genes, ya sean los nuestros o los de nuestros microbios buenos: la *nutrigenómica*. Esta nueva disciplina, fruto de la unión entre la genómica y las ciencias de la nutrición, ha permitido confirmar la influencia de la alimentación en la prevención y el tratamiento de las enfermedades.

Claudine Junien, investigadora del Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale (INSERM), ha definido la nutrigenómica en los términos siguientes: «La nutrigenómica, también llamada genómica nutricional, establece las relaciones entre genes y alimentación. Se interesa, entre otras cosas, por los genes implicados en la absorción, el transporte, el destino y la eliminación de los nutrientes, así como por sus mecanismos de acción. La nutrigenómica se interesa por la forma en que los alimentos, los nutrientes y determinadas prácticas alimentarias pueden influir en la expresión génica a través de modificaciones epigenéticas durante el desarrollo y durante toda la vida».[2] Algunos expertos creen que dentro de

poco será posible proponer recomendaciones dietéticas a medida. Estas tendrán en cuenta no solo las necesidades nutricionales adaptadas a cada metabolismo o particularidad corporal (edad, actividad física o profesional, estrés, depresión...), sino también a las características genéticas de cada paciente.

Complementaria de la *farmacogenómica* («el estudio de los efectos de los medicamentos en el genoma»), esta reciente disciplina debería igualmente permitir el desarrollo de tratamientos adaptados que tengan en cuenta las particularidades genéticas y biológicas del individuo, así como su estilo de vida y su entorno. Esta medicina personalizada, preventiva y predictiva debería democratizarse gracias a los avances tecnológicos, a la salud electrónica conectada y a todo lo que hace que la decodificación genética/biológica sea cada vez más accesible. De hecho, hoy en día es posible obtener la secuencia del ADN por aproximadamente 200 euros.

El microbioma se comunica con nuestro cerebro

El microbioma se relaciona con nuestro cerebro. Hay que recordar que el peso total de las bacterias alojadas en nuestro cuerpo (alrededor de 5 kilos) es superior al peso del cerebro (2 kilos como media). Este microbioma es capaz de producir numerosas sustancias neuroactivas (con efectos neurolépticos, antidepresivos, etcétera) y puede considerarse un sistema regulador del comportamiento. Investigaciones recientes demuestran que puede influir en determinadas funciones cognitivas, comportamientos, gestión del estrés. Por ejemplo, el sistema serotoninérgico (antidepresivo) del cerebro, que desempeña un papel fundamental en la actividad emocional, no puede desarrollarse normalmente en ausencia de microbios corporales.

Un estudio en ratas ha demostrado que el estrés experimentado por una madre (antes o en el momento de la concepción de su cría) modifica la expresión de uno de los principales genes implicados en la respuesta al estrés tanto en ella como en su descendencia. Del mismo modo, el estrés crónico en ratones se transmite a las generaciones posteriores mediante un mecanismo

epigenético. Como mencioné en el primer capítulo, los padres no solo transmiten sus genes a sus hijos. La transmisión del estrés por medio de la epigenética también es posible en los humanos. Sin embargo, nuestros comportamientos pueden limitar, e incluso eliminar, los efectos negativos.

Tenemos un segundo cerebro... ¡en el intestino!

Cuesta de creer, pero albergamos un segundo cerebro en el intestino; ¡un cerebro compuesto por más de cien millones de neuronas! Se denomina «cerebro entérico» y está conectado permanentemente con el de nuestra cabeza. Resulta un poco difícil imaginar que una gran parte de nuestro equilibrio físico depende de ese «cerebro del vientre». A menudo está en su origen, ya que contribuye a producir y repartir en nuestro cuerpo neurotransmisores activos en el cerebro.

De hecho, el eje de comunicación cerebro/microbioma incluye varios sectores interconectados: el sistema nervioso central (SNC), sistemas simpáticos y parasimpáticos, sistemas neuroendocrinos y neuroinmunes, el cerebro entérico de nuestro intestino y, por supuesto, el microbioma.^[3] La comunicación tiene lugar en los dos sentidos: las señales procedentes del cerebro pueden influir en las modalidades de secreción de las bacterias del microbioma, y, a su vez, los mensajes procedentes del intestino pueden influir en las funciones cerebrales y provocar efectos negativos, por ejemplo en el rendimiento laboral y la capacidad intelectual.

Hoy en día, podemos identificar los cientos de miles de genes influidos por nuestros estados mentales subjetivos. La genómica social surgió en este contexto. Como resultado de la disminución de los costes de secuenciación y de la capacidad de producción y de análisis de importantes volúmenes de datos (el Big Data), esta genómica se abre a nuevos ámbitos de investigación, no solo por parte de los biólogos, sino también de los especialistas en ciencias humanas y sociales. Los desafíos éticos, económicos, legales y sociales pueden conducir a cambios económicos y sociales complejos. Esta nueva área de estudio psicosociológico revela que las condiciones laborales,

especialmente la percepción subjetiva de cómo se reconocen, recompensan y valoran nuestras aportaciones profesionales, pueden cambiar profundamente el estado de expresión de algunos de nuestros genes. Así como, por cierto, nuestro comportamiento personal en el trabajo. El conocido desequilibrio de once horas de hipoglucemia de aquellos que no desayunan es un síntoma clásico. Muchos compensan esta hipoglucemia fumando cigarrillos, consumiendo dulces o bebiendo café.

Por otro lado, las prácticas alimentarias tradicionales, como la dieta mediterránea mencionada anteriormente, permiten aumentar la productividad laboral a través de medios naturales. Como hemos visto, una dieta poco variada, pobre en verduras y fibra, así como la ingesta prolongada de determinados medicamentos y antibióticos y el consumo de alcohol y cigarrillos, enferman a nuestro microbioma. Este, sometido a excesos repetidos, producirá menos sustancias necesarias para nuestra salud física y mental. Nos faltarán vitaminas o biomoléculas que contribuyen a reforzar nuestro sistema inmunitario. Es un hecho: si el microbioma tiene mala salud es más difícil luchar con eficacia contra las bacterias o los virus que atacan nuestro cuerpo. Estamos más cansados, deprimidos o, a menudo, enfermos de pequeñas dolencias como resultado de una bajada de las defensas inmunes.

¿Qué hace concretamente el microbioma por nosotros?

En resumen, diría que nuestra vida refleja una estrecha interdependencia, además del genoma, entre tres áreas que podrían representarse mediante tres círculos superpuestos: el entorno, la epigenética y, por último, el microbioma. Nuestro organismo se sitúa en la intersección de esos tres círculos, cada uno de los cuales juega un papel esencial.

Ahora conocemos los factores negativos externos que influyen en nuestra vida: el sol, el ruido, la contaminación provocada por las toxinas presentes en el ambiente, la temperatura, las catástrofes naturales, el estrés, los accidentes de circulación... Todos ellos, en diferentes grados, pueden alterar nuestros genes. Sin embargo, sin la flora intestinal, simplemente no podríamos

sobrevivir. Es así de radical. Lo más asombroso es que la estructura del microbioma y su composición pueden modificarse muy rápidamente. Existen estudios que demuestran que los niños criados en un entorno rural y expuestos a los animales, el polvo y el moho son claramente menos propensos a las alergias, concretamente al asma, que los que viven en entornos urbanos, donde la higiene impuesta por los hábitos sociales y por sus padres es, por lo general, más estricta.[4] Una vez más, los resultados obtenidos en laboratorio evidencian la gran interacción que hay entre el entorno, el microbioma y la epigenética.[5]

Estas observaciones confirman que podemos influir permanentemente en nuestra salud modificando nuestras conductas, y apreciar los resultados epigenéticos casi en tiempo real. Sin embargo, como sucede siempre con la epigenética, esos cambios son reversibles... ¡en uno u otro sentido! Basta con tomar precauciones, cambiar de hábitos y aplicar determinadas normas que favorecen la diversidad de las formas de interacción con nuestro entorno para constatarlo. Las buenas prácticas (dieta variada, practicar ejercicio moderado de manera regular...) no curarán todos nuestros males, pero contribuirán a reducir su número o sus efectos de manera significativa.

4

Deporte, placer, meditación: las otras claves de la epigenética

Los efectos epigenéticos positivos del deporte

Después de la alimentación, el deporte y el ejercicio regular son factores determinantes para activar, apagar o encender determinados genes gracias a la epigenética. Eso es lo que revelan los estudios publicados en 2012 por el profesor Carl Johan Sundberg, del Instituto Karolinska de Estocolmo, en Suecia.[1] El equipo del profesor Sundberg explica que un poco de ejercicio regular produce un efecto epigenético indiscutible modificando la estructura del ADN de las células musculares. ¿El deporte es bueno para la salud? Sin duda, eso no es ningún descubrimiento y nadie se atreverá a contradecir esa afirmación. En realidad, el interés de ese estudio, realizado sobre 14 sujetos no deportistas que asumieron el reto de pedalear en una bicicleta estática durante veinte minutos, radica en haber confirmado no solo que el organismo se adaptaba, sino que lo hacía a una velocidad impresionante.

El esfuerzo físico comporta modificaciones casi instantáneas. Cuanto más considerable es el esfuerzo, más importantes serán las modificaciones epigenéticas. Además, los investigadores corroboraron que esa metilación (las modificaciones de la expresión génica) era resultado exclusivamente de

las contracciones musculares. Ni las hormonas ni los neurotransmisores influían en ella. Como vimos en el experimento de las abejas, el efecto epigenético es reversible: tras algunas horas de recuperación, los genes vuelven a su estado inicial. Por consiguiente, si estás pensando en hacer deporte de manera ocasional, siento mucho decepcionarte: únicamente la práctica regular puede generar cambios epigenéticos a largo plazo.

Se calcula que el número de áreas codificantes distribuidas en los genes involucrados en la práctica de una actividad deportiva es de alrededor de cinco mil. Lógicamente, hemos identificado aquellas implicadas en la formación y el crecimiento de los músculos, el aporte de energía, los mecanismos inflamatorios y antiinflamatorios, y los procesos inmunes. Estas áreas se modulan con la práctica deportiva y se ajustan a modelos idénticos en todos los individuos evaluados. El equipo del profesor Sundberg ha estudiado, asimismo, la musculación de una sola pierna implicada en un ejercicio de pedaleo intenso. Así, varias decenas de hombres y mujeres jóvenes pedalearon durante cuarenta y cinco minutos, cuatro veces por semana durante tres meses, utilizando siempre la misma pierna. Los investigadores pudieron medir la metilación epigenética del ADN de los músculos estimulados comparándola con la pierna de control (la pierna no ejercitada de cada voluntario). Como resultado de estos experimentos, se hizo evidente para los investigadores que las diferencias biológicas y químicas observadas en la pierna estimulada solamente podían haber sido provocadas por el ejercicio físico.

A los menos deportistas no puedo dejar de recomendarles que caminen. Ese ejercicio anodino provoca efectos extraordinarios en gran medida infravalorados. Tu cuerpo, tu corazón y tus músculos no son los únicos que disfrutan de sus beneficios. Investigadores de la Universidad de New Mexico Highlands (NMHU) han apreciado que el contacto del pie con el suelo a cada paso envía ondas de presión a través de las arterias que modifican de manera espectacular (de manera sincronizada con los latidos del corazón) el aporte de sangre al cerebro, e incluso lo aumentan.[2] Además, provoca una retroalimentación epigenética que desencadena la producción de endorfinas, las hormonas del placer. Los resultados de estas investigaciones demuestran

que existe una relación de efectos hemodinámicos (dependiendo de la circulación sanguínea) entre el flujo sanguíneo del cerebro humano y el pedaleo, caminar y correr. Es indiscutible que todas esas actividades optimizan el riego cerebral y la sensación general de bienestar durante el ejercicio.

El deporte, un antidepresivo natural

Más sorprendente aún es el hecho de que la actividad muscular prolongada influya en la neuroquímica cerebral y, probablemente, también en el comportamiento. Conlleva la liberación del triptófano (un aminoácido esencial, precursor de la serotonina, una neurohormona que actúa como mensajera química) por intermediación del músculo y el hígado. Dado que atraviesa la barrera hematoencefálica que protege el cerebro, el triptófano favorece la síntesis de la serotonina, esencial para la regulación del humor, la ansiedad, el sueño y el apetito. El placer proporcionado por un deporte (especialmente si se elige una actividad que realmente nos gusta) favorece la producción de endorfinas (neuromediadores opiáceos sintetizados interiormente y dotados de propiedades analgésicas y euforizantes), las endomorfina que actúan como auténticos fármacos internos. Al despertar determinados genes por medio de la epigenética, el deporte (especialmente caminar) produce así efectos antidepresivos, un fenómeno atribuido a un aumento de la cantidad de endorfinas en la sangre.

Pero ¿cómo practicar deporte o hacer ejercicio de manera regular sin complicarse la vida? ¿Cómo encontrar tiempo para hacerlo? ¿Qué deporte será el que mejor se adapte a tu personalidad y a tu estado físico? Todo el mundo puede salir a correr, montar en bicicleta o nadar, siempre y cuando adecúe el ritmo a su edad. Para mantenerse en forma no hay que forzar. Y si no tienes tiempo de ir a la piscina o a un estadio, nada te impide equipar tu casa. En internet se encuentra material relativamente barato: máquinas de remo, bicicletas estáticas... Puedes optar por una bicicleta elíptica, que es una mezcla de bicicleta y aparato de entrenamiento cardio completo, muy fácil de

utilizar y poco voluminosa, que aúna los beneficios del remo, el esquí de fondo y la bicicleta estática.

Para medir la eficacia de estos aparatos en tu salud es indispensable dedicarles un mínimo de tiempo. Digamos de 30 a 40 minutos diarios, mejor por la mañana o por la noche. Si practicas en casa, probablemente tendrás que trabajar solo, sin entrenador, y seguro que sin la atmósfera estimulante del gimnasio. Si la idea de estar a solas contigo mismo no te entusiasma, puedes motivarte con vídeos o un audiolibro en el teléfono móvil (en sitios web como Audible.com puedes descargarte cientos de miles de obras, periódicos, revistas o artículos de las más diversas temáticas). O puedes entrenar con otras personas. Prueba, por ejemplo, la marcha nórdica, que se practica en solitario o en equipo. Durante tus paseos por el campo o por los parques de tu ciudad, seguro que ya te habrás cruzado con grupos de personas que van equipadas con bastones y que se balancean enérgicamente al caminar. Se trata de un ejercicio muy completo que aprovecha la acción de caminar para ejercitar también los músculos de la parte superior del cuerpo.

Sabemos, desde hace mucho, que la práctica habitual de un deporte no solo mejora el bienestar físico, sino también el emocional, la percepción de uno mismo y la calidad de vida. En los planos biológico y físico, el deporte y el ejercicio regulares aumentan la vascularización. Dicho de otro modo, contribuyen a la proliferación y la densidad de los vasos y capilares sanguíneos que transportan la sangre y el oxígeno a los músculos y al cerebro. Cabe señalar que, aunque no representa más que el 2 por ciento del peso del cuerpo, el cerebro es el órgano más importante y necesita una importante cantidad de oxígeno (más del 20 por ciento del que respiramos) para funcionar correctamente.

El surf, un deporte extremo con los efectos más beneficiosos

De la misma manera que a los surfistas experimentados les encanta enfrentarse a olas de cinco o diez metros, o incluso más, a los esquiadores que practican el esquí fuera de pista les encanta correr riesgos y descender

por pendientes de cincuenta grados con riesgo de aludes. Personalmente, soy un fanático del surf y del esquí. No soy el único en afirmar que el surf es uno de los deportes más beneficiosos del mundo.

La razón es la siguiente: se reduce a tres fases principales. La primera consiste en remar estirado sobre la tabla para superar la barrera y alcanzar el punto de despegue (la zona de salida desde donde los surfistas esperan la llegada de las olas). Durante esta fase, la frecuencia cardíaca puede aumentar hasta 110 o 120 latidos por minuto. La etapa siguiente se limita a esperar las series de olas sentado o echado boca abajo sobre la tabla. Se trata de un momento de respiro para los surfistas, los cuales lo aprovechan para contemplar el paisaje o charlar con sus compañeros. Durante esta fase, los latidos del corazón vuelven a ser casi normales. En la última fase hay que remar vigorosamente para tomar la ola, la cual se desplaza a una velocidad de 20 o 30 kilómetros por hora. Es el momento clave: cada uno pone toda su energía en coger la ola que llega para poder surfearla (es el *ride*). En ese momento, los latidos del corazón pueden alcanzar las 150 o 160 pulsaciones por minuto. Imagínate el estrés, la adrenalina y luego, durante el *ride*, el inmenso placer que se siente. Este deporte, como muchos otros, favorece la secreción de endorfinas, oxitocina y dopamina, las hormonas del placer.

La práctica regular de deportes extremos enciende los genes relacionados con la resistencia a la fatiga, con la metabolización de la energía o con la producción de endorfinas. El organismo reacciona ante esos estímulos externos segregando la dosis de adrenalina que le permitirá al surfista superar su miedo. Una reacción corporal que genera, asimismo, una especie de adicción. Las propiedades especiales de determinados deportes han llevado a los investigadores a evaluar el riesgo de dependencia de la morfina natural de algunos deportistas. La adicción al deporte se denomina vigorexia. Fue estudiada por William Glasser en 1976.[3]

Para mí, el surf es una experiencia total. Una actividad completa en la que intervienen tanto procesos musculares como mentales, susceptibles de desencadenar mecanismos epigenéticos. Cada nuevo desafío (o peligro, según cómo se mire) aporta su dosis de excitación.

Gestión del estrés, meditación, yoga y epigenética

Hemos visto que el deporte puede desencadenar y amplificar los efectos epigenéticos. Actividades más tranquilas, como por ejemplo determinados ejercicios de relajación practicados a diario, pueden influir también en el funcionamiento de nuestros genes y tener repercusiones muy importantes en todo nuestro cuerpo.

Mucho antes de que la ciencia aportase pruebas de las relaciones entre la mente y el cuerpo, la medicina china, célebre por su enfoque preventivo, se interesó por la influencia del cerebro en el cuerpo y viceversa. Aquellos pioneros de la medicina psicosomática (conocida también como psiconeuroinmunología) estaban, de hecho, convencidos de que nuestros comportamientos podían explicar la aparición de enfermedades o trastornos del metabolismo. Los resultados de los estudios sobre epigenética les están dando la razón. Hoy en día, en todo el mundo, las neurociencias están demostrando por fin la influencia recíproca entre la mente y el cuerpo.

Las prácticas ancestrales de la meditación, el yoga y, especialmente, determinadas formas de meditación dinámica (como el tai chi o el qi gong), pueden tener consecuencias en el metabolismo de nuestro cuerpo y en determinadas funciones fundamentales, contribuyendo, por ejemplo, a reducir la hipertensión o el riesgo de enfermedades cardiovasculares. El monje budista francés Matthieu Ricard y el neurobiólogo Wolf Singer han hecho de ello el tema central de su libro *Cerebro y meditación*.^[4]

El pensamiento occidental, como el mundo médico tradicional, ha disociado durante mucho tiempo mente y cuerpo. En diciembre de 2013, un descubrimiento fundamental atribuido a investigadores de universidades de Wisconsin, España y Francia, demostró por primera vez un cambio molecular específico a nivel genético como consecuencia de la meditación.^[5] El estudio comparaba los resultados de dos grupos: uno compuesto por meditadores experimentados y el otro (el grupo de control) por sujetos sin experiencia que practicaban actividades tranquilas, relajantes, pero no meditativas. Asimismo, todos los participantes fueron sometidos a una prueba de estrés social. Tuvieron que realizar un discurso improvisado y ejecutar

tareas que requerían realizar cálculos mentales ante un público numeroso mientras se les distraía con la filmación de un vídeo o se les molestaba con el sonido de un debate televisivo. En tales circunstancias, cualquiera se pondría nervioso e incluso perdería las formas.

Al final de la jornada, los investigadores constataron una rápida modificación de la expresión génica en los sujetos que habían participado en una jornada de práctica intensiva de la meditación. Estos no presentaron solamente modificaciones de los mecanismos de regulación de los genes, sino también niveles reducidos de expresión génica proinflamatoria, todo ello en correlación con una recuperación física más rápida a pesar del estrés al que habían sido sometidos. Esos perfiles de expresión génica se midieron utilizando *microarrays* («chips de ADN»).

Como resultado de este experimento, los investigadores constataron que varios centenares de genes habían sido modificados (sobre decenas de miles de genes analizados) y que los grupos de meditadores y el grupo de control presentaban resultados muy diferentes. En el grupo de personas que practicaban la meditación se apreció una regulación negativa de los genes involucrados en la inflamación, así como varios genes de histona desacetilasa (HDAC, genes que regulan la actividad de otros genes mediante mecanismos epigenéticos). Asimismo, los investigadores señalaron que algunos de esos genes, regulados negativamente bajo la influencia del estrés, experimentaban una recuperación más rápida de los efectos del cortisol (el cual permite liberar la energía a partir de las reservas de azúcar almacenadas en el organismo).

Al igual que el deporte, la meditación y la relajación influyen, por tanto, en la expresión o inhibición de determinados genes. Este experimento muestra sus efectos positivos en la reducción de la tensión arterial, la frecuencia cardíaca, los niveles de colesterol o las hormonas del estrés.

¿Un puente entre Oriente y Occidente?

Las prácticas orientales y occidentales se unen al fin gracias a la epigenética

de la meditación o del yoga.

Los cambios observados por los investigadores como resultado de la meditación tuvieron lugar en genes a los que apuntan los medicamentos antiinflamatorios y antiparasitarios tan utilizados en la actualidad. Cabe señalar que la Asociación Estadounidense del Corazón (American Heart Association) reconoce la meditación como un medio de combatir los riesgos de padecer enfermedades cardiovasculares.[6]

Más sorprendente resulta, si cabe, el hecho de que otro estudio ha determinado que la meditación es más eficaz que la morfina para reducir la percepción del dolor por parte de la zona somatosensorial del cerebro.[7] Esas observaciones indican que la meditación posee todas las propiedades necesarias para su uso clínico, como, por ejemplo, tratamientos contra el dolor para limitar la administración de medicamentos. Además, un entrenamiento limitado es suficiente para producir efectos espectaculares, como la atenuación del dolor.

La meditación dinámica con el tai chi chuan y el qi gong

Entre las formas de meditación dinámicas, el tai chi es un arte marcial *soft* considerada una forma de medicina suave para trabajar con la energía («chi» o «qi»). Consiste en realizar movimientos de artes marciales que pueden sincronizarse en grupos. El qi gong no tiene categoría de arte marcial, sino que se trata de un método ancestral de gimnasia china. La gran secuencia del tai chi chuan se compone de más de cien movimientos esenciales destinados a mejorar las relaciones entre el cuerpo y la mente, a incrementar el bienestar o ayudar a recobrar las fuerzas después de una enfermedad. Esta práctica se compone de posturas o series de movimientos realizados lentamente *in situ*. La distensión del cuerpo y la regulación de la respiración permiten alcanzar un nivel elevado de concentración y, al mismo tiempo, de relajación.

El tai chi utiliza movimientos energéticos basados en estiramientos, golpes con los pies, presiones, posturas defensivas y de protección del cuerpo, imitando la resistencia frente a un ataque. Todos los gestos, todas las

posturas tienen un efecto relajante y presentan la particularidad de reconciliar cuerpo y mente, y así simular los mecanismos epigenéticos. No es raro ser testigos de estos bailes armoniosos de complejas coreografías en los parques de China, donde esta práctica es extremadamente popular.

Meditar fácilmente

La práctica de la meditación es mucho más sencilla de lo que imagina la mayoría de la gente. No es cuestión de iniciarte aquí en la meditación trascendental, la cual requiere un enfoque y un entorno más complejos. En cambio, puedo explicarte algunos métodos que te permitirán meditar veinte o treinta minutos cada día. Unos minutos de meditación antes de una reunión importante pueden ser muy beneficiosos. Este es el tipo de meditación simplificada que llevo haciendo desde hace cuarenta años.

Sentado o estirado, sin adoptar una postura que ayude a conciliar el sueño, con los ojos cerrados, el ritual comienza con algunas series de varios minutos cada una. Utilizo diversas series susceptibles de superponerse en el tiempo.

La primera consiste en una sucesión de respiraciones inspiradas en el yoga: una respiración lenta, que empieza por el estómago, y luego se trata de mantener el vientre hinchado durante cinco segundos, seguidos de una expansión/respiración pulmonar y, con los pulmones llenos, se retiene el aire cinco segundos. Finalmente, se expira el aire poco a poco durante ocho segundos.

Puedes repetir este ciclo entre cuatro y seis minutos. Durante el mismo, repite regularmente para ti un mantra (una palabra compuesta por cuatro sílabas que guardarás en secreto: no se la digas a nadie).

A lo largo de la segunda fase concéntrate en el infinito (la Vía Láctea, las galaxias, los confines del universo...) con los ojos cerrados, luego sitúalo en el puente de la nariz, entre los ojos (siempre cerrados), y, de nuevo, en la oscuridad del universo. Realiza estas series durante tres o cinco minutos, mientras sigues respirando y repitiendo el mantra.

A continuación, empieza la fase del halo dinámico: imagina una especie de halo alrededor de tu cabeza que desciende gradualmente a lo largo de tu cara y luego por tu cuerpo hasta los pies, y después vuelve a subir desde los pies hasta la cabeza.

Durante cada etapa, siempre respirando profundamente y pronunciando el mantra, concéntrate en relajar los músculos atravesados por el halo: los de la cara, el cuello, el torso, el bajo vientre, los muslos, las piernas y los pies.

Tras diez subidas y bajadas del halo dinámico, pasamos a la última etapa, que puede durar otros diez minutos. Durante esta fase tienes que pensar en un objeto muy sencillo (un guijarro, una hoja...) y, a continuación, borrarlo de tu mente y no pensar más que en el vacío dejado por su ausencia. Al mismo tiempo, puedes dejar vagar tu mente sin concentrarte en nada en especial, en temas o acontecimientos que provoquen empatía o incluso amor y consideración hacia grupos de personas a las que querrías ayudar, o bien evocar noticias positivas del mundo de hoy o del mundo que está por venir. Matthieu

Ricard insiste mucho en este aspecto de la meditación: es importante aportar felicidad y paz a la mente pensando en aquello que puede ser positivo para el mundo y constructivo para crear el futuro.

Después de estos veinte minutos de meditación, regresarás al mundo real lleno de paz y tranquilidad, para mantener los efectos producidos en tu cerebro por los mecanismos de la epigenética.

Los efectos epigenéticos de las hormonas del placer

«La variedad es la fuente de todos nuestros placeres, y el placer deja de serlo cuando se vuelve habitual.» Esta elegante cita que debemos al poeta Évariste de Parny (1753-1814) nos recuerda hasta qué punto es vital crear y mantener el placer en todas sus formas: relaciones de amistad, sexualidad, gastronomía, viajes, actividades culturales, actividades profesionales...

Las hormonas del placer producidas por el organismo son bien conocidas por los científicos. Son cuatro: las endorfinas, la dopamina, la serotonina y la oxitocina. Actúan de manera sinérgica, influyen en la secreción de otras hormonas y ralentizan la producción de cortisol o adrenalina relacionados con el estrés. Segregadas como reacción a situaciones concretas, estas hormonas permiten la activación de emociones positivas. Es incluso posible estimular cotidianamente su producción adoptando determinados comportamientos o actitudes.

La endorfina es la hormona de los deportistas. Nos proporciona una sensación de calma, o incluso de euforia, y tiende a reducir el estrés. Nos referimos a ella como la hormona antiestrés y antidolor debido a sus efectos analgésicos. Ya hemos visto anteriormente que la práctica de un deporte era un buen medio para producirla. Si no eres demasiado deportista, ¡acostúmbrate a reír tanto como sea posible! La endorfina puede liberarse fácilmente por el cerebro con una risa contagiosa.

La dopamina se segrega como reacción a situaciones agradables, por ejemplo, cuando degustamos un plato que nos gusta, o cuando ganamos un premio, dinero o un concurso. Crea una sensación de placer y hace que tengamos ganas de asumir desafíos y experimentar. Es la que activa las zonas

cerebrales vinculadas al sistema de recompensa. Conocemos, asimismo, su papel en la adicción a las drogas. Cuando hiperproducimos dopamina recurriendo a las drogas, el cuerpo ralentiza su producción interna regular. Así es como los drogadictos padecen el síndrome de abstinencia.

La serotonina regula el humor. Es importante para el tratamiento de los estados depresivos. Gracias a ella, nos mantenemos optimistas y serenos. Si nos falta, nos volvemos rápidamente irritables o incluso totalmente deprimidos. Hacer una actividad física, pero también holgazanear al sol (¡y ambas cosas no son incompatibles!), ayuda al organismo a producir serotonina. Cada cual tiene que seguir su propio método según su carácter...

Por último, la oxitocina desempeña un papel fundamental en la convivencia y las relaciones sociales. Se segrega durante los abrazos, las relaciones amorosas, las relaciones sexuales, la exposición al sol, los intercambios de regalos, una salva de aplausos tras una intervención pública o una entrega de premios; esta hormona, llamada «social», es sin duda la más conocida. Refuerza la sensación de confianza en uno mismo y en los demás. Fomenta la generosidad y los comportamientos altruistas y colaboradores.

La armonía de la red familiar, profesional y social

La armonía y el equilibrio de la red familiar, social y profesional tienen efectos epigenéticos que pueden conducir a la producción de oxitocina y dopamina. En los seres humanos, la calidad de la relación paternofilial, concretamente el grado de empatía de los padres y sus respuestas a las necesidades emocionales de los hijos, puede determinar, años después, la influencia del sistema parasimpático (que modera las funciones neurológicas inconscientes del organismo) que hace que uno se sienta tranquilo, cómodo y feliz. Ese sistema favorece, asimismo, la coherencia del ritmo cardíaco permitiendo una mayor resistencia al estrés y la depresión.

Las relaciones armoniosas y la comunicación no violenta (comunicarse con los demás sin hacerles daño) amplifican los efectos epigenéticos. Para el profesor Marshall Rosenberg, inventor de las bases de la comunicación no

violenta (CNV), una de las principales fuentes del sentido positivo de la vida es contribuir a la felicidad de los que nos rodean.[8] Según este principio, la CNV nos permite profundizar en nuestros sentimientos para comunicarnos mejor al mismo tiempo que expresamos su bondad. El objetivo es la armonía de las relaciones. Se trata de transformar los conflictos potenciales en diálogos pacíficos y desactivar las disputas.

Rosenberg propone utilizar la CNV para mantener la armonía de las relaciones familiares. Su método es igualmente recomendable en las escuelas, las organizaciones y las instituciones, dentro del marco de las terapias de grupo o los asesoramientos, así como en las relaciones diplomáticas y las negociaciones empresariales. Es, en general, adecuada para la resolución de conflictos.

Sin embargo, incluso en las relaciones armoniosas y equilibradas, pueden producirse crisis imprevistas. El profesor John Gottman demostró que no existen parejas felices ni relaciones afectivas duraderas sin conflictos crónicos.[9]

¡Sus estudios llegan incluso a sugerir que las parejas que nunca se pelean deberían preocuparse! La ausencia de conflictos sería señal de una brecha emocional susceptible de inhibir toda relación verdadera y profunda.

Amor y epigenética: la oxitocina y la bioquímica del amor

El amor también es un fenómeno epigenético (¡pero no solo eso!). Los comportamientos sociales, el apego emocional a los demás y las relaciones recíprocas a largo plazo son fluidos y adaptables, como acabamos de ver, al igual que la biología en la que se basan estos comportamientos. Por lo tanto, sabemos que los hábitos alimenticios, la actividad física, la contaminación, el estrés, las preocupaciones, las relaciones sociales o familiares, los acontecimientos felices o infelices, que pueden influir en nuestra trayectoria vital y en nuestro estado de ánimo, juegan un papel importante en la modulación epigenética de la expresión génica. Por lo tanto, estar rodeado de amigos sinceros o mantener una relación estable solo puede tener efectos

beneficiosos para nuestra salud.

Según un estudio realizado por el equipo del profesor Michael Meaney, de la Universidad McGill de Montreal (Canadá), unas simples caricias tendrían la capacidad de influir en nuestros genes.[10] Los investigadores demostraron en ratas (si bien es revelador para todas las especies, incluida la nuestra), que el hecho de que la madre lamiera a sus crías (lo cual equivaldría a las caricias en el caso de los humanos) las tranquilizaba y, por ende, influía en la actividad de un gen antiestrés llamado NRC31. El análisis de los cerebros de las crías de rata que no habían recibido muestras de afecto reveló que el interruptor vinculado al gen NRC31 permanecía inactivo en las neuronas del hipocampo (la zona del cerebro que gestiona el estrés ambiental). Esas ratas presentaron una cantidad más importante de hormonas de estrés en la sangre. Incluso en ausencia de elementos perturbadores, vivían en un estado de estrés permanente.

Nuestra vida casi nunca es un largo río tranquilo. Todos tenemos momentos de alegría y de tristeza. La enfermedad, el duelo, las vicisitudes personales o familiares, las frustraciones y las contrariedades y las creencias son indisociables de nuestra historia, igual que nuestros momentos de felicidad. Para mantener nuestro equilibrio mental y fisiológico, debemos tratar de protegernos todo lo posible de todo aquello que pueda tener un impacto negativo en nuestra expresión génica. Ya lo sabes: nuestras vivencias influyen en nuestro estado psíquico y físico. Por ejemplo, si nuestros padres nos han inculcado la idea de que el mundo es peligroso, tendremos más tendencia a vivir con miedo o a dudar de nuestros semejantes, lo cual puede influir negativamente en nuestras relaciones sociales y perjudicar nuestra capacidad de asumir riesgos.

Más allá de los genes de nuestros padres, también heredamos la historia familiar, con su cultura, memoria, dolor, recuerdos y emociones. Así es como algunos heredan los traumas, incluso la desesperación, relacionados con la familia. ¿Cómo escapar de este ecosistema que nos impregna a todos desde el nacimiento? Diferentes actitudes y diferentes conductas pueden ayudar. La meditación es una de ellas, como hemos visto, pero también la atención a los demás, la bondad, el perdón, la amistad y el amor. La actitud abierta y

generosa hacia los demás tiene efectos beneficiosos tanto para quienes la reciben como para quienes la ofrecen. No es ninguna fatalidad: heredamos nuestro genoma, pero tenemos la libertad de actuar sobre nuestro epigenoma.

Investigaciones recientes indican que la interdependencia entre la expresión de determinados genes y la regulación de nuestras emociones es constante. Hay dos libros que hacen referencia a estas interacciones: por una parte el de Bruce H. Lipton, *La biología de la creencia*, y, por otra, el de Dawson Church, *El genio en sus genes*.^[11] Dawson Church describe de qué manera influye nuestro estado mental en nuestros genes y, por tanto, en nuestro estado de salud. Demuestra que las creencias, las intenciones, la meditación, el altruismo, el optimismo y otros atributos de la felicidad influyen en los genes del estrés involucrados especialmente en los procesos de envejecimiento e inmunidad.

Si cambiar de hábitos alimenticios o de amistades puede modificar los genes heredados al nacer, debería ser posible entrar en un círculo virtuoso. Al cambiar nuestro estado emocional y tratar de sentirnos más felices, activamos genes que promueven una mejor salud y ralentizan el envejecimiento. Church muestra cómo estas prácticas emocionales pueden añadir años de buena salud a nuestras vidas.

Asimismo, pueden modificar la evolución de las sociedades humanas. En su extraordinario libro *Los ángeles que llevamos dentro*,^[12] que adopta una visión extremadamente positiva sobre el futuro, el canadiense Steven Pinker, profesor de psicología de Harvard, demuestra, con el fundamento de estadísticas y estudios sociológicos, que la bondad humana y un enfoque constructivo ante los problemas planteados por la violencia y los conflictos influyen considerablemente en la evolución de nuestras sociedades en el plano económico, industrial y político.

La contaminación, el gran desafío de la modernidad

Acabamos de ver que nuestros comportamientos desempeñan un papel determinante en el proceso epigenético al influir en nuestro estado de salud.

Nuestra salud y nuestra calidad de vida dependen, asimismo, de nuestro entorno (especialmente de la pureza del aire, del agua y del suelo). Los científicos coinciden al menos en un punto: la actividad humana (la industria, la agricultura, el transporte, la calefacción...) es la causa principal de la contaminación. Y, sea cual sea el entorno en el que vivan, todas las poblaciones están sometidas en mayor o menor grado a una contaminación peligrosa.

Sin duda, habrás oído hablar de los riesgos relacionados con los productos químicos presentes en los productos agrícolas (fertilizantes, pesticidas, herbicidas, fungicidas...) en las pinturas (formaldehído o metanal), en los colorantes (plomo), las partículas finas (dióxido de carbono, monóxido de nitrógeno, dióxido de azufre) e incluso en los suplementos alimenticios de ciertos medicamentos. Sin cuestionar los beneficios de los tratamientos farmacológicos, me referiré más en profundidad al espinoso y reciente tema de la toxicidad epigenética de algunos de ellos.

En su informe de septiembre de 2016, la Organización Mundial de la Salud estimó en tres millones las muertes prematuras en todo el mundo provocadas por la contaminación (del aire) en zonas urbanas y rurales.^[13] Dicha mortalidad se debe, principalmente, a la exposición a partículas con un diámetro inferior a 10 micras, las cuales provocan tanto enfermedades cardiovasculares y respiratorias, como cánceres. Así, el 72 por ciento de las muertes prematuras causadas por este tipo de contaminación son debidas a enfermedades cardíacas isquémicas y accidentes cerebrovasculares, el 14 por ciento a la enfermedad pulmonar obstructiva crónica o infecciones agudas del tracto respiratorio inferior y el 14 por ciento a cáncer de pulmón.

«La mayoría de las fuentes de contaminación del aire exterior —escribe la OMS— están totalmente fuera del control de los individuos y requieren que las ciudades, así como los responsables de la toma de decisiones nacionales e internacionales, tomen medidas en ámbitos como el transporte, la gestión de residuos, la vivienda y la agricultura. [...] Más de 34.000 muertes podrían evitarse cada año si todas las comunas de Francia en el continente europeo logran alcanzar los niveles del 5 por ciento de partículas finas de las comunas equivalentes (en cuanto a tamaño de la población)

menos contaminadas [...] El impacto sobre la salud aparece a largo plazo, principalmente a partir de la exposición diaria a niveles de contaminación por debajo de los umbrales de alerta provocados por una concentración de 80 microgramos de PM10 (partículas en suspensión con un diámetro inferior a 10 micras) por metro cúbico de aire.»

Es más que urgente poner freno a esta plaga de la modernidad, sospechosa de contribuir anualmente de manera directa o indirecta a la muerte de más de 48.000 personas solo en Francia, lo cual representa el 9 por ciento de la mortalidad nacional.[14] Esto significa (como media) 15 meses menos de esperanza de vida para los habitantes de las grandes ciudades y 9 para quienes viven en zonas rurales. El escándalo del Dieseltgate —en torno a las técnicas empleadas por los fabricantes de automóviles para reducir de manera fraudulenta las emisiones contaminantes de sus vehículos— ha puesto al descubierto que la muerte de 5.000 personas al año en Europa sería atribuible al diésel. Resulta desalentador que la contaminación no sea objeto de un acuerdo mundial que movilice a los responsables de la toma de decisiones y a la opinión pública de todo el planeta, al mismo nivel que la lucha contra el cambio climático.

Toxicidad y epigenética: los peligros de las epimutaciones

Vista a través del prisma de la epigenética, la manera de evaluar la toxicidad hoy en día plantea dudas. En la investigación y utilización de medicamentos, así como de los productos relacionados con la nutrición y el medio ambiente, los científicos recurren a métodos antiguos para medir la toxicidad de los productos en ratones. Siempre utilizan la prueba denominada «LD50», que consiste en comprobar si la sustancia ingerida o inhalada mata a más del 50 por ciento de los ratones. Más allá de este umbral crítico, un producto es clasificado como «tóxico» y se prohíbe su utilización (o se retira del mercado). Por debajo de dicho umbral se autoriza su comercialización.

Aunque algunos productos químicos son sometidos a pruebas de mutagénesis (la capacidad de causar mutaciones en el ADN susceptibles de

provocar cánceres), los investigadores subestiman los riesgos frecuentes de efectos epigenéticos de los medicamentos y los fármacos. En su defensa, cabe señalar que dicho impacto únicamente ha sido demostrado hace poco. Determinados medicamentos conocidos interaccionan, de hecho, con la histona desacetilasa (HDAC), el factor de regulación epigenética que suprime el marcador acetil de los genes. Es el caso de drogas como la cocaína y los opiáceos, pero también del ácido valproico, un fármaco recetado para tratar numerosas patologías neurológicas.

Sin duda conocerás el medicamento tras el escándalo del Depakine. Este antiepiléptico, conocido también como «valproato sódico», había sido clasificado como no peligroso por el laboratorio farmacéutico que lo fabrica y lo comercializa. Sin embargo, también es un inhibidor de las enzimas desacetilasas, esenciales en los mecanismos epigenéticos. Es evidente que este compuesto farmacológico impide la regulación de la expresión génica, concretamente de los genes codificadores esenciales para la supervivencia celular. La absorción de este excelente anticonvulsivo debería, por tanto, haberse prohibido en mujeres embarazadas. Por desgracia, hasta 2015, la profesión médica ignoraba por completo que era epitóxico.

Entre 1950 y 1977, otro medicamento, el dietilestilbestrol (DES), cuya peligrosidad para la salud está actualmente demostrada, fue recetado a cientos de miles de mujeres para evitar abortos espontáneos. Es responsable de epimutaciones (cambios debidos a la epigenética) en varias generaciones. Clasificadas como no tóxicas en una época en la que la epigenética todavía era desconocida, estas sustancias químicas o farmacológicas homologadas y, por tanto, ingeridas con toda confianza por futuras mamás, provocaron malformaciones o patologías graves en sus hijos.

Estudios de reciente publicación confirman los efectos secundarios epigenéticos duraderos de los medicamentos, incluso después de la interrupción del tratamiento.^[15] De algunos de ellos se sospecha que están implicados en el desarrollo de enfermedades cardiovasculares, cánceres, problemas neurológicos y cognitivos, obesidad, diabetes, infertilidad y disfunción sexual. Antidepresivos, como el Prozac, dan lugar a un aumento crónico del nivel de serotonina en el cerebro, lo cual puede provocar

alteraciones epigenéticas a largo plazo. Estas han sido demostradas en numerosas patologías (diabetes, obesidad, retraso mental, cánceres, alzhéimer, párkinson...).

Los peligros epigenéticos de los herbicidas y los metales pesados

Como su nombre indica, la ecotoxicidad define el efecto nocivo de una sustancia en los organismos vivos y en su ecosistema. Por ejemplo, la contaminación del aire, del agua o del suelo, los productos químicos y farmacológicos que tienen efectos negativos en los organismos vivos, son ecotóxicos. Es esencial conocer sus consecuencias, ya que la ecotoxicidad puede provocar la desaparición de determinadas especies.

Según el mismo principio, la epitoxicidad tiene como objetivo evaluar las interacciones entre los productos tóxicos y la expresión génica. El ejemplo del glifosato, que se encuentra en el herbicida Roundup de la multinacional Monsanto, es un caso de estudio interesante y dramático. Acusado de envenenar plantas, animales (incluidas las abejas) y humanos, también se sospecha que provoca cáncer y malformaciones graves en recién nacidos (humanos y animales). Cuando la epitoxicidad pueda aportar pruebas científicas de las epimutaciones causadas por todos estos contaminantes en ciertos genes vitales, las asociaciones medioambientales y los especialistas probablemente lograrán su prohibición.

Los metales pesados presentes en el medio ambiente o asociados a vacunas en forma de adyuvantes también conllevan riesgos de epimutaciones. [16] Al estimular el sistema inmunológico del organismo, es decir, su capacidad de defenderse contra una infección o una enfermedad, los adyuvantes juegan un papel esencial en las vacunas, pero también las convierten en blanco de numerosas críticas. Mientras que el fosfato cálcico es un producto antiguo muy extendido, pero inofensivo, otras sustancias nuevas como el tiolato de mercurio, el tiomersal o timerosal, el hidróxido de aluminio y el escualeno son consideradas peligrosas. Los adyuvantes también son recomendados en la agricultura para reforzar la acción de los productos

fitosanitarios. También los encontramos, entre otros productos, en el cemento (para acelerar o retrasar el fraguado), los barnices, las pinturas, los tintes textiles, los plásticos y los cauchos, los carburantes... Presentes en gran cantidad de artículos, estas sustancias son sospechosas de provocar efectos epigenéticos considerables.

Los disruptores endocrinos: un desafío mundial a la salud pública

La OMS define como disruptor endocrino a «una sustancia o una mezcla exógena que posee propiedades que puede provocar una alteración endocrina en un organismo intacto o en su descendencia». Descubiertos recientemente, pero omnipresentes en nuestro entorno, los disruptores son sospechosos de provocar epimutaciones. Utilizados como antioxidantes en alimentos grasos, se encuentran en los productos fitofarmacéuticos (pesticidas) y en los productos biocidas (desinfectantes domésticos, insecticidas y diversos plaguicidas...). Se encuentran también en productos cosméticos, pinturas, muebles, ropa, embalajes alimentarios, papel, juguetes de plástico y en productos de alimentación (margarina, cereales, carnes, sopas, conservas, alimentos deshidratados...).

Entre ellos, seguramente habrás oído hablar de los bisfenoles, unos compuestos utilizados en la fabricación de plásticos, como el policarbonato. Y, en particular, el bisfenol A (BPA), que se encuentra en muchos productos de uso diario (biberones, botellas de agua mineral, platos cocinados...). En Francia fue prohibido en 2015. Sin embargo, aunque desapareció de los biberones, todavía se encuentra en dosis muy bajas, a pesar de su prohibición, en las latas de refrescos, junto a sus sustitutos, los bisfenoles S y F, todavía autorizados. Otros plastificantes, tales como los ftalatos, y también los bifenilos policlorados (PCB), son comúnmente utilizados en transformadores eléctricos o como fluidos caloportadores (transmisores de calor). También se incluye en esta categoría la gama completa de pesticidas utilizados en la agricultura o en el hogar para eliminar malas hierbas y plagas. Y la lista se hace interminable si añadimos los aditivos alimentarios, como el

hidroxianisol butilado (BHA) y el hidroxitolueno butilado (BHT).

Los disruptores endocrinos son tan similares al estrógeno que el cuerpo tiende a confundirlos con hormonas segregadas por las glándulas endocrinas. Al engañar al cuerpo, de alguna manera, estos productos químicos perturban el sistema hormonal y la actividad de los órganos que regulan el comportamiento biológico y el metabolismo (crecimiento, pubertad, temperatura corporal, saciedad, libido...). Bloquean la acción natural de ciertos órganos (tiroides, glándulas suprarrenales, páncreas, órganos reproductivos) y sus efectos varían según la edad, el sexo, el perfil genético o la frecuencia de absorción. También sabemos que los disruptores endocrinos pueden influir en el desarrollo de los fetos y son particularmente perjudiciales para las mujeres embarazadas y los niños menores de 3 años.

En los últimos años, a pesar de los esfuerzos de los grandes lobbies farmacéuticos y agroalimentarios por oponerse a la adopción de una normativa más estricta, varios estudios científicos han confirmado su peligrosidad. Los investigadores han constatado un incremento del número de cánceres hormonodependientes (de mama y de próstata, en particular), casos de pubertad precoz en niñas y malformaciones genitales en niños, así como diabetes tipo 2, obesidad y autismo.

Cabe señalar que el triclosán y triclocarbán, dos antibacterianos (biocidas) que se utilizan como conservantes en muchos productos cosméticos y artículos de consumo habitual, fueron objeto, en junio de 2017, de una petición de prohibición firmada por 200 investigadores y profesionales de la salud de 29 países.^[17] Según estos investigadores y tal como se desprende de experimentos realizados en animales, estas sustancias son cancerígenas y podrían provocar una disminución de la fuerza muscular en los humanos. También pueden alterar el ritmo cardíaco, causar alergias y reducir la acción de los antibióticos.

Los científicos exigen su prohibición y una evaluación precisa de sus efectos a largo plazo en la salud y el medio ambiente.

Por todas estas razones, los disruptores endocrinos se han convertido en un tema objeto de protección por la sanidad pública en Francia, en la Unión Europea y, a mayor escala, a nivel mundial.

Tabaco y alcohol: toxicidad epigenética garantizada

Buenas noticias para los vividores o los que les gusta vivir bien: el consumo razonable de alcohol (uno o dos vasos de vino al día) contribuye a la ralentización del envejecimiento. Sin embargo, un consumo excesivo provoca el efecto contrario y contribuye a la aceleración del envejecimiento.

En un importante estudio sobre los efectos epigenéticos del tabaco y el alcohol, el profesor Robert Philibert,[18] de la Universidad de Iowa, determinó con gran precisión a partir de cuántos cigarrillos se producía una modificación de la expresión de determinados genes del ADN (los fumadores tienden a subestimar su consumo). Su equipo logró calcular la diferencia entre la edad biológica y cronológica de los fumadores y, de este modo, demostrar la relación existente entre el consumo de tabaco y alcohol y el envejecimiento prematuro.

Lo sospechábamos hacía mucho tiempo: el alcoholismo y el tabaquismo provocan toxicidad epigenética. Pero, por primera vez, esa intuición ha sido probada científicamente. Esos resultados demuestran objetivamente, al analizar las modificaciones epigenéticas, cuáles pueden ser los efectos en la salud futura de jóvenes fumadores o consumidores de alcohol.

En enero de 2017, un equipo de investigadores de la Universidad McGill (Canadá) confirmó que el consumo de alcohol y de tabaco podía provocar una mutación epigenética en una de las histonas llamada H3.[19] Se demostró que la relación entre alcohol, tabaco y cáncer de garganta se debía a una modificación epigenética de las histonas en ausencia de la modificación del código genético en sí. Todos esos resultados permitirán a las organizaciones sanitarias y a los médicos hacer que los jóvenes voluntarios no sufran problemas de salud evitables más adelante. Se trata de una herramienta eficaz para reducir los gastos sanitarios y mejorar la calidad de vida, pero únicamente si la mayoría de la gente es consciente de ello. Sin embargo, el hombre no siempre es tan racional como cree. Esperemos que la mayoría hoy sea capaz de tomar una decisión cuyos resultados no se verán más que a largo plazo.

5

Lamarck y Darwin, la reconciliación

La ciencia ha permitido superar el debate sobre lo innato y lo adquirido (y las implicaciones políticas e ideológicas subyacentes) al sentar algunas bases. Como hemos visto, si bien nacemos con una herencia genética, nuestros comportamientos no están totalmente determinados por dicha herencia transmitida por nuestros padres. Pero ¿qué parte de nuestra personalidad y de nuestra conducta es innata y cuánta se debe a nuestro entorno social? ¿Cómo se explican, por ejemplo, las importantes diferencias o, por el contrario, las características comunes entre tus hijos? ¿Se deben en parte a factores biológicos innatos, transmitidos sin modificaciones (heredables) de padres a hijos? ¿Tenemos todos las mismas posibilidades de estar biológicamente predispuestos a desarrollar ciertas aptitudes intelectuales o artísticas? ¿Por qué Mathieu, cuyo padre es profesor de la Escuela Politécnica, es bueno en matemáticas? ¿Por qué Jeanne es una gran música, cantante y una pianista excelente? ¿Es porque su abuela y su tía abuela han adquirido fama internacional en este campo? Astrid, una consumada deportista, nadadora, surfista, esquiadora profesional y galardonada con numerosos premios internacionales, ¿heredaría el talento de su padre y su abuelo, los cuales fueron también campeones en su día? ¿Y cómo se explica que los hijos de Mathieu y Astrid, con edades comprendidas entre 6 y 10 años, sean ya

músicos apasionados y deportistas consumados?

La eterna disputa: Lamarck contra Darwin

Para entender bien el fenómeno de la transmisión de los caracteres adquiridos, el cual trataremos a continuación, creo que es importante recordar las principales teorías de la evolución, su origen y, sobre todo, la relación entre la teoría de Lamarck (basada en la ley de uso y desuso) y la de Darwin (que teoriza la selección natural).

El naturalista francés Jean-Baptiste de Lamarck (1744-1829) es considerado el padre de la teoría de la evolución. A él se debe también la invención de una nueva ciencia autónoma, como la física o la química, bautizada como «biología». En el siglo XVIII, dicha ciencia, que estudia los seres vivos, amplió su perímetro a «todo lo que es generalmente común a los vegetales y los animales, como todas las facultades propias de cada uno de esos seres, sin excepción». Conocido por su clasificación de los invertebrados (el 80 por ciento de los animales), Lamarck afirma que la especificidad de los seres vivos radica en la organización de la materia de que se componen. Teniendo en cuenta que el orden de las cosas no está determinado de manera inamovible, sino que sigue el curso de la vida, Lamarck desarrollará una teoría física de los seres vivos: una visión de las condiciones de su transformación y de su evolución. Su enfoque se basa en la idea, ya enunciada por Aristóteles («Las materias naturales poseen en sí mismas un principio de movimiento»), de una adaptación de los seres vivos bajo la influencia de su entorno. Su cuarta ley de la evolución —«Todo lo adquirido, marcado o cambiado en la organización de los individuos durante su vida se conserva en la misma generación y se transmite a los nuevos individuos que descienden de quienes han experimentado los cambios»— hará que se le atribuya el principio de la transmisión de los caracteres adquiridos.

En 1859, el naturalista inglés Charles Darwin (1809-1882) publica su obra más importante: *El origen de las especies*. En ese libro fundamental, cuyo eco sigue resonando hoy, plantea una nueva teoría de la evolución que

no tardará en sustituir las hipótesis enunciadas anteriormente por Lamarck. Para Darwin, las especies vivas han evolucionado a lo largo del tiempo según un proceso de selección natural: «La clave de este problema es la capacidad de selección y acumulación que tiene el hombre; la naturaleza proporciona unas variaciones sucesivas y el hombre las acumula en ciertas direcciones que le son útiles. [...] Las pequeñas diferencias que distinguen a las variedades de una misma especie tienden a aumentar de forma constante hasta ser iguales a las grandes diferencias que existen entre las especies de un mismo género o entre géneros distintos».

Según él, la diversidad de las especies no es fruto de la reproducción entre especies claramente distintas, sino la culminación de diferencias genéticas entre los individuos que aumentan progresivamente generación tras generación. La evolución es, por tanto, resultado de una modificación progresiva de las especies a lo largo de las generaciones. Simple y llanamente, las generaciones se suceden diversificándose. Por ejemplo, si el ciervo y el lobo poseen características comunes (pelo, extremidades, orejas, ojos, etcétera) igual que sucede con el mono y el hombre, ello no se debe a una probable endogamia. Los perros no hacen gatos, si se me permite la frivolidad... Originariamente, todos los seres vivos tendrían un ancestro común: lo que Darwin denomina «descendencia con modificación». Por tanto, la evolución tiene su origen en una especie ancestral que condujo, con el tiempo, a la diversidad de los seres vivos tal como la conocemos hoy.

Para Lamarck, en cambio, el medio (el entorno) tiene una influencia directa y predominante en la evolución de las especies. Piensa que los caracteres adquiridos a lo largo de la vida pueden ser heredados. Se habla, así, de «herencia de los caracteres adquiridos». Las circunstancias, las necesidades o las nuevas prácticas de los animales serían, por tanto, susceptibles de modificar a los organismos vivos y de mejorar su adaptación a las dificultades de su entorno (clima, acceso a la comida...). Esas modificaciones se transmiten a los descendientes. Lamarck defiende la idea de que las formas de vida han evolucionado gradualmente: las especies descienden unas de otras volviéndose más complejas con el paso de las generaciones.

Para ilustrar esta teoría, recordemos el famoso ejemplo del cuello de las jirafas. ¿Sabes por qué las jirafas tienen el cuello tan largo? Según Lamarck, las primeras jirafas estaban dotadas de un cuello mucho más corto. Este se fue alargando de forma gradual debido únicamente a sus esfuerzos por extenderlo para alcanzar el alimento situado en las ramas más altas de los árboles. Esas nuevas jirafas habrían transmitido esa ventaja adaptativa del cuello más largo a sus descendientes. Todas las generaciones siguientes han conservado esa característica desarrollando un cuello cada vez más largo, hasta que el proceso alcanzó la longitud ideal (la actual) para la especie llamada «jirafa». Una teoría que los naturalistas han resumido con la expresión «la función crea el órgano».

Mientras que Lamarck explica que el uso intensivo (o el desuso) de un órgano por parte de un animal es lo que conduce a su modificación, la cual se transmite a su descendencia, Darwin sostiene el principio de una selección provocada por la lucha por la supervivencia: las especies participan en una competición feroz, pero inintencionada, que las lleva a intentar captar tantos recursos como sea posible, tal vez en detrimento de las otras, con el fin de asegurar su propia supervivencia. Para él, la evolución sería consecuencia de un proceso de selección natural derivado de tres factores determinantes: la variabilidad del carácter en el seno de la especie, el índice de supervivencia y de reproducción diferencial y la transmisión del carácter a la siguiente generación. Por consiguiente, el alargamiento del cuello de la jirafa no sería más que una consecuencia de esa lucha por la supervivencia. Aunque Darwin admite que pueden aparecer variaciones hereditarias de manera espontánea y accidental, considera que esas variaciones adaptativas no son producidas por el entorno, como suponía Lamarck.

El ser humano es resultado de una larga evolución en el reino animal

En 1838, gracias a la lectura del economista británico Thomas Robert Malthus (1766-1834), el autor de la obra *El origen de las especies* entiende el desajuste entre el crecimiento demográfico de las especies vivas y el

crecimiento lineal de los recursos alimenticios. Expondrá su descubrimiento en su libro *Autobiografía*: «Como estaba bien preparado para apreciar la lucha por la existencia que por doquier se deduce de una observación larga y constante de los hábitos de animales y plantas, descubrí enseguida que con estas condiciones las variaciones favorables tenderían a preservarse, y las desfavorables a ser destruidas. El resultado sería la formación de especies nuevas. Aquí había conseguido por fin una teoría sobre la que trabajar».[1]

El punto central de su teoría —es decir, la relación «variaciones hereditarias fortuitas + selección natural»— se ha visto reforzado. Más adelante entenderemos que esas variaciones hereditarias fortuitas estaban ligadas a mutaciones de la herencia genética (del ADN) susceptibles de provocar la aparición de nuevos caracteres de las especies que afectan, por ejemplo, a los órganos o las extremidades. En su lucha por la supervivencia y en la competición entre las especies, determinadas modificaciones, reproducidas y transmitidas a las generaciones siguientes, representan ventajas adaptativas. Otras, por el contrario, provocarán la muerte del individuo o propagarán una característica desfavorable en la competición por selección natural. De hecho, si el carácter transmitido provoca la muerte del organismo vivo, este último desaparecerá y su herencia genética ya no se transmitirá a las siguientes generaciones.

Contrariamente a la creencia generalizada, no existe, a este nivel, una oposición entre la concepción darwiniana y la lamarckiana de la selección natural. Los dos naturalistas coinciden en la idea (comúnmente admitida por sus contemporáneos) de la transmisión de los caracteres adquiridos, y admiten que las especies vivas se transforman a lo largo del tiempo. Sus dos teorías científicas contradicen la visión religiosa de un mundo inmutable surgido de una intervención divina y rechazan la idea de la especificidad del hombre en comparación con el resto del mundo animal.

Fue precisamente por esas razones por las que hirieron tanto los sentimientos de su época y suscitaron encendidas polémicas. La comunidad científica de su tiempo consideraba que no existía ninguna prueba real de la hipótesis de la herencia de los caracteres adquiridos planteada por Lamarck. Por otra parte, para los creyentes, el hombre no puede descender del mono,

puesto que es una criatura de Dios, superior a todas las demás. En realidad, Darwin nunca afirmó que el hombre descendiese del mono. A menudo, su teoría ha sido caricaturizada e incluso incomprendida. Según la clasificación científica de las especies, el ser humano formaba parte de los simios, un grupo de mamíferos primates. Desde la época de Darwin, la genética ha demostrado que compartimos más del 98 por ciento de nuestro ADN con los chimpancés. El ser humano comparte un antepasado común con todas las demás especies: es el resultado de una larga evolución en el reino animal.

Innato y adquirido: un debate superado

A finales del siglo XIX, en su artículo «Experimentos sobre híbridos en las plantas» (1865), el monje católico y botánico Gregor Mendel (1822-1884) constata que los caracteres transmitidos son claros y ya están inscritos en los genes. Las célebres leyes de Mendel demuestran que, efectivamente, existen muchas probabilidades de que la descendencia de un ser vivo posea genes idénticos (comunes) a los de su progenitor. Contradiendo las teorías de Lamarck, este descubrimiento, que sienta las bases de la genética, pone fin a la disputa que contrapone lamarckismo y darwinismo entre finales del siglo XIX y la primera mitad del XX.

Sin embargo, nuestros conocimientos científicos serán cuestionados de nuevo con la aparición de la microbiología y, posteriormente, de la biología molecular. Como hemos visto, el principio de determinismo genético ya no se sostiene (el ADN no es el único responsable de la herencia), y la comunidad científica coincide, desde entonces, en la idea de que intervienen numerosas formas de herencia no genéticas, siguiendo el mecanismo de la epigenética.

La epigenética tendrá un impacto considerable en las teorías evolutivas al reintroducir la posibilidad de una transmisión de los caracteres adquiridos. La doctrina clásica postula que, en los seres vivos (y en los mecanismos genéticos en general), las secuencias de ADN intervienen en la transmisión de los caracteres de una generación a otra. No obstante, cada vez más experimentos realizados a lo largo de la última década demuestran que los

mecanismos epigenéticos también controlan la herencia de los caracteres transgeneracionales. En lenguaje sencillo, esto significa que es posible establecer un vínculo entre los estímulos medioambientales y las modificaciones de la expresión de determinados genes del sistema nervioso de los individuos adultos.

Este descubrimiento fundamental demuestra que las experiencias trascendentales vividas por nuestros padres, abuelos y bisabuelos pueden modificar el fenotipo de nuestros hijos, o incluso de nuestros nietos, aun cuando esos caracteres no sean directamente mutagénicos (no cambian la composición de las letras del código genético). Esto les da la razón a los científicos convencidos desde hace mucho del papel combinado que desempeñan lo adquirido y lo innato, especialmente en el desarrollo de enfermedades mentales. Contra todo pronóstico, esto otorga, asimismo, más validez a las ideas defendidas por la corriente *neolamarckiana*.

Los mecanismos de la herencia epigenética implicados en enfermedades como el estrés, la depresión, las adicciones, los trastornos mentales, los trastornos bipolares, la esquizofrenia o la obesidad han podido descifrarse. Por ejemplo, investigadores de la Universidad de Duke han demostrado que la metilación de un gen relacionado con el estrés postraumático y la depresión podía influir en las reacciones de un individuo expuesto a amenazas. La metilación actuará sobre un gen de transporte de la serotonina (una de las hormonas del bienestar que ya hemos visto) desde la fosa sináptica (zona de contacto entre dos neuronas) hasta las neuronas presinápticas (células encargadas de transferir el mensaje nervioso transmitido antes de la sinapsis) a través de un proceso molecular llamado «recaptación de la serotonina» (proceso que actúa en el cerebro aumentando los niveles de serotonina mediante la inhibición de su recaptación a nivel sináptico).[2]

Este proceso está involucrado en numerosos medicamentos pertenecientes a la clase de inhibidores selectivos de la recaptación de la serotonina, como el Prozac, para tratar la depresión y los trastornos mentales. Los análisis mediante IRM funcional del cerebro de estudiantes voluntarios confirman la reactividad emocional de una zona del cerebro llamada «amígdala» (donde residen las emociones). Parece, por tanto, que cuanto más se dé el proceso de

metilación en el gen del transportador de la serotonina, más fuertes serán la respuesta al estrés y la vulnerabilidad a trastornos como el síndrome de estrés postraumático, el trastorno obsesivo compulsivo (TOC), la ansiedad y otros trastornos mentales relacionados con el estrés.

A la luz de estos nuevos conocimientos, el gran desafío de la epigenética consistirá en resolver este problema: ¿cómo pueden transmitirse a los descendientes durante varias generaciones los caracteres adquiridos por los padres? La respuesta a esta pregunta está relacionada con procesos darwinianos de selección interna. Como demostró en la década de 1970 el neurobiólogo Jean-Pierre Changeux y su equipo, la «estabilización selectiva de las sinapsis», es decir, el desarrollo de las sinapsis del cerebro por medio del aprendizaje, se basa en un mecanismo de tipo darwiniano.[3] Un mecanismo de selección natural permite, de hecho, reforzar determinados circuitos neuronales conservados en detrimento de otros no utilizados y, por consiguiente, abandonados en el proceso evolutivo de las funciones cerebrales.

Entonces, lo adquirido es obviamente familiar: la forma en que nos habrán educado nuestros padres, los valores inculcados, las reacciones observadas y aprendidas, los entornos, tendrán un peso especial en nuestra relación con el mundo. Nuestro cerebro es plástico. Constituye una red fluida en relación con el conjunto del cuerpo. Como hemos visto, se desarrolla, aprende y se adapta a nuestro entorno a lo largo de nuestra vida. Precisamente gracias a esta propiedad podemos escapar del determinismo genético. Es evidente, por ejemplo, que la cultura del lugar de procedencia, el contexto histórico y el origen social en una cultura determinada, modelarán las estructuras psicológicas, los comportamientos, las personalidades de los individuos, su manera de hablar, de reaccionar ante ciertas situaciones.

En los procesos de aprendizaje del niño, por ejemplo, la conexión entre las sinapsis se produce mediante la estabilización selectiva de las conexiones útiles. Tras una fase de conexiones abundantes y redundantes, se forman circuitos prioritarios entre las neuronas. A través de las relaciones con el entorno, las soldaduras bioquímicas que unen algunos de esos circuitos se refuerzan y se estabilizan. Como resultado de un proceso de selección

darwiniano interno, las otras conexiones degeneran y desaparecen. Tal como señaló Jean-Pierre Changeux en su libro *El hombre neuronal*,^[4] aprender es eliminar: «Aprender es estabilizar combinaciones sinápticas preestablecidas. Y es también eliminar las otras».

Epigenética y transmisión hereditaria de caracteres adquiridos

En el momento de la fecundación, el ADN de los espermatozoides y el ADN del óvulo no son los únicos que se encuentran y se fusionan. Existe, en el seno de las células germinales, gran número de moléculas, en concreto micro-ARN, pero también péptidos, hormonas y factores de crecimiento, susceptibles de influir en el desarrollo del embrión. Esas moléculas han podido producirse en respuesta a acontecimientos traumáticos o a factores que determinarán la vida a largo plazo (separación de la madre al nacer, desnutrición, excesos alimentarios, falta de ejercicio o de sueño...).

El destacable trabajo de Isabelle Mansuy y su equipo de la Universidad de Zúrich ha permitido identificar mecanismos de transmisión epigenética del estrés en ratones.^[5] Los investigadores han identificado moléculas de micro-ARN específicas producidas a lo largo de la vida, que intervienen durante los acontecimientos traumáticos o de mucho estrés. Esas moléculas fueron detectadas en el esperma de ratones adultos que habían sido separados de su madre justo después de nacer. Se pudo determinar que extractos purificados de micro-ARN de ratones estresados, inyectados en embriones de ratones normales, provocaban, al nacer, el mismo comportamiento que el de los ratones estresados. Por el contrario, los ratones que habían recibido el micro-ARN de control (no estresado) permanecían normales.

La reducción de la producción de glutamato en los ratones descendientes de ratones sometidos a un estrés importante provocaba la modificación de las histonas.^[6] Este efecto se debe a otro proceso distinto de la metilación; se habla de acetilación del gen modificador por el glutamato. Por tanto, parece que la producción o inhibición de una molécula que actúa sobre el cerebro puede darse por la transmisión epigenética de los caracteres expresados por

los padres.

La transmisión hereditaria de los caracteres adquiridos relacionados con el estrés también ha sido confirmada por un equipo de la Rockefeller American University. Los investigadores demostraron que las histonas de acetilación desempeñaban un papel fundamental en la transmisión de trastornos mentales como la ansiedad y la depresión.[7] Observaron que los ratones que reaccionaban de manera incoherente a las pruebas de depresión y ansiedad presentaban un nivel menos elevado de glutamato en la región cerebral denominada «hipocampo» (región implicada en las respuestas emocionales y el estrés). La molécula mGlu2 regula el neurotransmisor glutamato y su disminución en los ratones muy sensibles al estrés es resultado de una modificación de las histonas por acetilación del gen codificador por la mGlu2. Asimismo, los investigadores demostraron que era posible reducir los síntomas de depresión utilizando un antioxidante muy conocido: la acetil-l-carnitina (Alcar).

Otro equipo, del laboratorio de la Escuela de Medicina del Monte Sinaí, demostró que la regulación de un solo gen específico localizado en una zona del cerebro vinculada a la depresión y las adicciones podía controlar las respuestas de un individuo bajo la influencia de las drogas o en situaciones de estrés. Mediante la reproducción de los mecanismos de adicción a la cocaína en ratones se ha evidenciado la transmisión del carácter adquirido a sus descendientes y a las nuevas generaciones. Esos resultados confirman, además, que diversos factores de transcripción y modificaciones epigenéticas se ven alterados por la exposición a drogas y estrés y que, a su vez, esos cambios controlan la expresión génica.

Por otra parte, esos estudios han revelado que la parte del cerebro responsable del circuito de recompensa depende de un gen denominado FosB (vinculado a la depresión y a la adicción a las drogas).[8] Dichos cambios no son transmitidos mediante mutaciones en el ADN, sino por otros factores que actúan sobre las células germinales (espermatozoides y óvulos). Presentes en el embrión en el momento de su desarrollo, estas influyen en su crecimiento y en su organización. Por tanto, se ha demostrado que el gen involucrado era también responsable de una mayor sensibilidad a las drogas y de la

resistencia al estrés. Hasta la fecha, las regulaciones epigenéticas que afectan a cientos e incluso miles de genes, hacen que sea muy difícil confirmar la presencia de una epimutación y su relación funcional con enfermedades neuropsiquiátricas.

El descubrimiento del gen egoísta

Los efectos de la expresión génica en la transmisión epigenética de los caracteres adquiridos se recogen, a partir de ahora, cada vez en más publicaciones científicas. Pero ¿qué sucede con el rol específico desempeñado por determinados genes en el conjunto del organismo? ¿Existen genes egoístas que solo se reproducen y se desarrollan en relación con su propia supervivencia?

Desde la época de Gregor Mendel y Charles Darwin, la noción de gen ha adquirido una importancia considerable en el pensamiento científico y filosófico acerca de la evolución biológica. Esta noción se aplica incluso a la sociedad, en lo que se denomina «darwinismo social», un concepto controvertido que pretende justificar la competencia entre las empresas, las economías y los Estados que desemboca en la supervivencia del más apto. Otro concepto controvertido, pero capaz de estimular la reflexión sobre la evolución darwiniana a nivel social, es el del «gen egoísta», acuñado por el biólogo y etólogo británico Richard Dawkins.[9]

En su obra *El gen egoísta*,[10] publicada en 1976, Dawkins sostiene que el único objetivo del gen es sobrevivir a nivel molecular y transmitirse para crear organismos vivos capaces de sobrevivir. Su supervivencia depende de su capacidad de programar organismos que sepan preservarlo para transmitirlo de generación en generación. Los organismos vivos, los cuales son únicamente embalajes de los genes que transportan, deben también asegurar de manera egoísta su propia supervivencia (y, por consiguiente, el mantenimiento de los genes que contienen). Los seres vivos se muestran altruistas cuando protegen a sus hijos, hermanos o sobrinos, llegando a veces a arriesgar su propia vida. Sin embargo, si actúan conscientemente para

salvar a sus seres queridos, sus genes son egoístas, puesto que su preocupación (si se me permite decirlo) no es que el organismo sobreviva como persona individual, sino que los genes que contiene puedan seguir propagándose lo más ampliamente posible en la población.

Publicado hace cuarenta años, el best seller mundial de Richard Dawkins desencadenó una avalancha de críticas. En concreto, sus detractores lo acusaron de proporcionar argumentos que respaldaban la tesis de un determinismo social. Conviene precisar que *El gen egoísta* apareció en el contexto de la llegada al poder de la conservadora Margaret Thatcher (1925-2013), primera ministra del Reino Unido entre 1979 y 1990. Las interpretaciones maliciosas del pensamiento del autor sirvieron para respaldar ideologías científicas, sociales o políticas ultraliberales, como la eugenesia o la eliminación de los más débiles.

6

Meme y memética: una nueva visión de la sociedad humana

El meme, equivalente cultural del gen

En su obra *El gen egoísta*, Richard Dawkins establece un paralelismo entre el gen biológico y el meme sociológico. La teoría del meme está considerada hoy en día por la comunidad científica y filosófica como una nueva forma de concebir el mundo, portadora de nuevos mecanismos de transmisión cultural.

Dawkins define el meme como el equivalente cultural del gen: «Una unidad de información contenida en un cerebro e intercambiable dentro de una sociedad». Recuerda que denominamos «meme» a un elemento cultural identificable (creencias, usos sociales, palabras/lenguaje, rituales, modas...) susceptible de transmitirse, de algún modo, por mimetismo, es decir, por imitación del comportamiento o de las expresiones de un individuo.

Para Dawkins, los memes son, de igual manera que los genes, una especie de replicadores; concebidos por analogía, son a la cultura lo que los genes son a la naturaleza: «Encontramos ejemplos de memes en la música, las ideas, las consignas, la ropa de moda, en cómo hacer vasijas o cómo construir arcos».

Con la noción de meme, Dawkins ha creado un nuevo campo

fundamental que me permite, llegados a este punto, señalar cómo los mecanismos y procesos adoptados de la epigenética pueden ayudar a los hombres a construir juntos la sociedad en la que viven. La participación individual y colectiva fue posible gracias al concepto de meme y a la disciplina que estudia su propagación y su influencia: la *memética*.

Esta nueva disciplina vio la luz en la década de 1980, al mismo tiempo que el término que la define, inspirado por una combinación de palabras: *mimesis* («imitación» en griego), *gen*, *meme* (idéntico) y *mem* (abreviatura de memoria). Es interesante señalar que la memética fue creada en Francia en 2003.[1]

Puede decirse que la memética aplica a la cultura humana conceptos y modelos procedentes de la teoría de la evolución. Se inscribe en el ámbito de las ciencias humanas y sociales y desemboca en la evolución de los fenómenos culturales en el tiempo y en el espacio. De este modo, se inscribe en el marco de un darwinismo extendido. Dicho de otro modo, se trata de la aplicación de la teoría de la evolución a ámbitos tan diversos como la producción cultural, la expresión y los soportes mediáticos, las redes sociales, los movimientos asociativos, las comunidades colaborativas, los tipos de representación política, religiosa o filosófica.

Aquí pondría dos ejemplos, uno relativo al ámbito digital y otro al biológico.

Una evolución digital

Los investigadores dedicados al estudio de la inteligencia artificial (IA), que utilizan máquinas capaces de simular la inteligencia, de aprender y de sustituir a los humanos en determinadas funciones, recurren principalmente a los algoritmos genéticos, planteados en 1975 por John Holland, de la Universidad de Michigan y del Santa Fe Institute.[2] Se trata de fragmentos de programas que pueden mutar, asociarse unos con otros y crear, por una evolución de naturaleza darwiniana, nuevas secuencias de programas que permiten adaptarse a la evolución de un sistema complejo. Esta evolución

digital consiste en dejar evolucionar espontáneamente a grupos de programas informáticos que compiten entre sí. Estos deberán proponer la solución que mejor se adapte a un problema determinado. Esta forma de programación tiene actualmente múltiples aplicaciones en sectores muy diferentes: aeronáutica, medio ambiente, microelectrónica, altas finanzas...

Las secuencias de programas son códigos, asimilables a las cadenas de ADN, capaces de formar ramificaciones e injertarse unos a otros. Como los virus informáticos (y como el ADN), pueden duplicarse, cortarse y combinarse nuevamente. Se crea una primera generación de secuencias con el fin de probar su capacidad (aún débil) de resolver un problema planteado. El programa aísla las más eficientes, hace que se reproduzcan (copias automáticas) y, posteriormente, hace que muten mediante la recombinación de ciertas secuencias. Esto da como resultado una segunda generación de programas. El mismo proceso se aplica a esta segunda generación (prueba, selección, reproducción, mutación). Después de miles de generaciones de secuencias obtenidas a la velocidad de la informática, las más eficientes se refuerzan generación tras generación. Las nuevas especies de programas convergen hacia la resolución del problema planteado, fomentando la selección del más capacitado para ganar la competición entre grupos. Los programas de inteligencia artificial y, sobre todo, el *deep learning* («aprendizaje profundo») utilizan estos sistemas de evolución digital para incrementar la capacidad de aprendizaje de sus propios algoritmos y enseñarlos a otros algoritmos. Podemos hablar realmente de evolución digital darwiniana.

En 2016, para vencer a Lee Se-Dol, el campeón surcoreano del juego de Go, a la IA del ordenador AlphaGo, desarrollado por DeepMind, filial de Google, se le introdujeron miles de partidas jugadas por profesionales y aficionados, lo cual le permitió, gracias al *deep learning*, aprender sus estrategias y sus razonamientos lógicos. Actualmente, AlphaGo Zero, también desarrollado por DeepMind, aprende solo a jugar al Go. Se entrena jugando miles de veces contra sí mismo, sin más conocimientos que las reglas del juego. A diferencia del AlphaGo, no necesita enfrentarse a partidas jugadas por humanos para ser invencible: tras solo tres días de entrenamiento

(alrededor de cinco millones de partidas en solitario), venció a la versión de 2006 de AlphaGo.[3]

¿Los virus informáticos están vivos?

Otro ejemplo: gracias a la IA, los ciclos biológicos o tecnológicos de mutación-invencción/selección-amplificación se han acelerado a tal velocidad que las etapas de nacimiento, reproducción, supervivencia y transmisión, reducidas a miles de millones de instrucciones por segundo, se suceden ahora (generación tras generación) en cuestión de minutos. La relación con la biología de los programas autorreproductivos va mucho más allá del vocabulario empleado (virus, antivirus, inmunización, infección, desinfección, epidemia, mutaciones, colonización...).

Numerosos investigadores, incluido el astrofísico británico Stephen Hawking, consideran que los virus informáticos están vivos: tienen vida propia en el silicio de los microprocesadores y las redes de telecomunicaciones. Al igual que los virus biológicos, que infectan células a las que modifican su maquinaria biológica y su metabolismo en su propio beneficio, los virus informáticos (o *infoparásitos*) necesitan del entorno y del metabolismo del ordenador para reproducirse. En una entrevista de la BBC en 2014, Hawking declaró: «Las formas de inteligencia que ya tenemos han demostrado ser muy útiles. Sin embargo, creo que el desarrollo de una inteligencia artificial completa podría traducirse en el fin de la raza humana. Los humanos, que son seres limitados por su lenta evolución biológica, no podrán competir con las máquinas, y serán superados».[4]

El amplio enfoque del meme permite también encontrar los importantes conceptos de fuerza y de flujo, de elementos y enlaces, que representan las bases del funcionamiento y la construcción de las sociedades modernas.[5] Los conceptos de meme y memética, paralelamente a los de gen y epigenética, modifican radicalmente nuestra concepción de la complejidad de las sociedades y del mundo en que vivimos, mediante la incorporación de fluidez y capacidad de transformación evolutiva.

De hecho, el pensamiento científico y sus aplicaciones sociales se han construido en torno a dos conceptos fundamentales: el elemento y la fuerza. Los elementos son las partículas, los átomos, las moléculas, las células, pero también los agentes que actúan en los mercados, los consumidores, los electores, los individuos representados por su voto o sus manifestaciones públicas recogidas por los medios. La fuerza es la de las partes enfrentadas, los armamentos que compiten entre sí, pero también, en el plano científico, la fuerza gravitacional o la fuerza electromagnética.

Hoy en día, podemos constatar que los elementos y la fuerza son reemplazados parcialmente por vínculos y flujo. Se habla de vínculo social, de vínculo humano y también, en internet, de vínculo URL *clicable* que permite encontrarse en otro espacio, mientras que la fuerza da paso al flujo de datos, de informaciones monetarias, financieras, demográficas, turísticas, alimentarias...

Vínculos y flujo conducen a la sustitución de la verticalidad de las estructuras, las organizaciones y los mandos por la horizontalidad y la interrelación. Al tradicional enfoque analítico, secuencial y lineal le sucede un enfoque basado en las interdependencias y los feedbacks que garantiza la evaluación de las acciones emprendidas, mientras que la clásica competencia deja paso a la cooperación, incluso aunque algunas veces se trate de *coopetencia* («cooperación competitiva»). La linealidad en la relación entre causas y efectos se complementa con ciclos de retroacción que permiten, al mismo tiempo, verificar que se alcanzan los objetivos y asegurar la autorregulación de sistemas complejos en tiempo real.

De la competencia industrial a la disrupción

Estos trastornos, vinculados a los memes y la memética, influyen en la democracia representativa, el gobierno ciudadano, la economía colaborativa y cooperativa y la coeducación mediante los nuevos sistemas digitales de intercambio, así como también en el ámbito de la salud y en la distribución de los recursos y la energía en el ecosistema medioambiental y digital

interactivo. Llevan a la disrupción de las organizaciones piramidales y rígidas tradicionales.

Jean-Marie Dru, presidente de TBWA, es el inventor de la *disrupción*, una metodología creativa (y una marca registrada en... 1992). No cabe duda de que él fue el primer sorprendido cuando su concepto empezó a extenderse como un reguero de pólvora. Salvo unos pocos iniciados, ¡nadie conocía esta palabra antes de 2015! Actualmente, es un término —un meme— inevitable a la hora de hablar de innovación, de ruptura y de transición digital. Una innovación radical, puesto que el objetivo del juego, cuyas reglas han sido establecidas por las startups digitales, consiste en redefinir totalmente las organizaciones, los costes, los procesos y las tecnologías con el fin de liberar a los líderes económicos tradicionales que dominaban su sector en el viejo mundo.

Con sus Tesla eléctricos autopilotados y, dentro de poco, sus semirremolques eléctricos autónomos, Elon Musk está *disrumpiendo* la industria del automóvil y del transporte. Adam Jonas, el analista estrella de la banca Morgan Stanley, declaró que se trataba de la evolución más importante desde la invención del transporte por carretera. ¡Mientras que el Hyperloop, su tren futurista que circula sobre bolsas de aire, se dispone a revolucionar por completo los trenes de alta velocidad y los transportes aéreos al alcanzar la velocidad del sonido, Musk —al que, indudablemente, nunca le pillará el tren o ni siquiera el cohete de las nuevas tecnologías— está *disrumpiendo* el mundo aeroespacial anunciando vuelos a la Luna y la colonización de Marte en 2028!

A una escala más modesta, las aplicaciones que permiten el contacto directo entre conductores y usuarios simbolizan la disrupción por excelencia. Seguro que la guerra sin cuartel entre Uber y los taxis no te habrá pasado desapercibida. En el sector turístico, Airbnb exaspera a los hoteleros y a las agencias inmobiliarias al poner directamente en contacto a particulares que quieren alquilar sus apartamentos con turistas a precio de amigo. En Francia, el país líder mundial de vehículos compartidos, BlaBlaCar desafía a la SNCF proponiendo compartir el coche con otros pasajeros para viajar. El líder europeo del *crowdfunding* Ulule, la corporación de micromecenaje

Kickstarter o el KissKissBankBank fastidian a los bancos al proponer a particulares y empresas una financiación participativa (o microcréditos) para ayudarles a poner en marcha nuevos proyectos. Las plataformas colaborativas Doctolib, MonDocteur o Docavenue están *disrumpiendo* el sector sanitario al ofrecer consultas con médicos de cabecera o especialistas sin tener que esperar. Facultativos que temen, a su vez, ser sustituidos por la inteligencia artificial y el *deep learning*, capaces de emitir mejores diagnósticos que ellos...

Cientos de pequeñas startups creativas que se han vuelto poderosas hacen también sombra a las gigantescas, las cuales descubren prácticamente de la noche a la mañana que tienen los pies de barro. Por todas esas razones, es fundamental que protejan su ADN y el Big Data acumulados durante las relaciones con sus clientes o usuarios.

De la genética a la memética

Conviene utilizar la noción de ADN social como una metáfora para ilustrar los medios de almacenaje y de puesta en práctica de las informaciones (el Big Data) para garantizar la memoria y el funcionamiento de las organizaciones complejas. Aunque la metáfora del ADN social sea válida, asegurémonos de todas formas de definir correctamente los límites. Del mismo modo que el gen biológico no es el programa que lo controla todo, el meme social o cultural (integrado en el ADN) no puede considerarse un programa capaz de controlarlo todo. Las interrelaciones (o feedbacks) con su entorno, su ecosistema, son muy reales.

El hombre está abierto en su interdependencia con los demás. La neotenia designa la capacidad del cerebro humano para volverse más complejo, e incluso crecer; esta capacidad del hombre para abrirse, aprender y transformarse subraya la posibilidad de profundización y evolución acumulativa existente en el cerebro humano.

Como hemos visto al examinar las particularidades y las características de la epigenética en el caso del gen, un programa no puede ejecutarse sin los

elementos que garantizan la amplificación o la inhibición de su expresión. Si podemos establecer un paralelismo entre meme y memética, como hemos hecho entre gen y genética, ello se entiende en un contexto diferente. La memética (el estudio de la estructura, el funcionamiento y la transmisión de los memes) no se limita a los individuos biológicos, sean los que sean; se aplica también a los elementos culturales. Por analogía, la memética permite, por tanto, analizar, desde un ángulo global, la evolución de las sociedades y las mutaciones fundamentales que provocan el cambio, tal como explicó Darwin en sus escritos: toda entidad susceptible de ser replicada evoluciona según mecanismos idénticos.

Los sociólogos han identificado distintos tipos de memes que pertenecen a ámbitos muy diferentes. Numerosos elementos, textuales, de audio o de vídeo, pueden ser considerados memes: los eslóganes o imágenes publicitarias, las frases cortas o los tuits de un personaje político, las canciones o rimas pegadizas, las parodias, los refranes, los remedios de la abuela, las imágenes impactantes retransmitidas por las televisiones internacionales, las sintonías, los tópicos, las expresiones, las ideas preconcebidas que se oponen a los nuevos descubrimientos científicos, las recetas, las instrucciones de uso, las prácticas deportivas que imitamos al mirar a los profesionales, etcétera. Estos memes pueden copiarse, amplificarse, transmitirse o memorizarse para ser usados posteriormente.

En mi anterior libro, *Je cherche à comprendre. Les codes cachés de la nature*,^[6] expongo la teoría de una epigenética del ADN de internet. Recuerdo aquí las líneas generales, planteadas rápidamente en la introducción: el ecosistema de información en el que se integra internet posee una especie de ADN social. Aun cuando la metáfora consistente en hablar del ADN de una empresa o de un país pudiera ser discutible, me parece útil para resumir e ilustrar la memoria social y digital de las organizaciones humanas.

La codificación permanente por parte de los humanos (y, dentro de poco, por la inteligencia artificial) de nuevas funciones dentro del ecosistema digital (nuevo software, aplicaciones, herramientas disponibles en internet) es lo que creo que conduce a la aparición de una forma de epigenética de ese ecosistema. La cocreación en el ecosistema digital determina las direcciones

de su evolución y el sentido de su historia. Es precisamente en el campo de la epigenética donde puede tratarse de reinterpretar el funcionamiento global de internet y su reprogramación en el ecosistema digital. Por tanto, las formas de expresión del ADN de internet podrían modificarse desde el interior por el comportamiento de los usuarios.[7] La hipótesis de una forma de ADN social que contenga los códigos transmisibles de los memes y garantice su reproducción plantea, no obstante, algunas preguntas: ¿dónde se encuentra ese ADN social y cómo se expresa?

La capacidad de modificar el ADN social

La memoria y la funcionalidad del ecosistema digital, de sus enlaces y redes, se basan en algoritmos y códigos. Como sucede con los seres vivos, esos códigos de programación (o aplicaciones) son modificables y evolucionan permanentemente. Por lo tanto, el código genético y esta epigenética digital determinan las grandes funciones del sistema y su adaptación a las demandas y limitaciones de los usuarios. Sus mutaciones pueden asimilarse a las innovaciones e invenciones de los programadores y codificadores en pos de una mayor eficacia y una mejor capacidad de respuesta.

Esta propiedad es fascinante. Sin embargo, también puede representar un verdadero peligro. Hay que tener claro que tales mutaciones pueden constituir una amenaza para el futuro de internet y, por consiguiente, para todos los miembros de la civilización digital. Las fuerzas involucradas (las empresas, los grandes grupos de presión —las industrias financiera, farmacéutica, armamentística, farmacológica y energética—, las megaorganizaciones y los sistemas totalitarios) tienen la tentación de acaparar o desviar los recursos y el poder en su propio beneficio dentro de ese ecosistema. Esas organizaciones no dudan en desinformar y actuar sobre la propia información, manipular los precios de la bolsa y del mercado financiero, poner trabas a las empresas de la competencia o identificadas como políticamente incorrectas, o incluso movilizar a piratas informáticos para introducirse en objetivos estratégicos enemigos y espiarlos.

Sin entrar en la teoría de la conspiración, hay que reconocer que esa clase de monopolios sirven principalmente, por naturaleza, a sus propios intereses. Esas incesantes maniobras encaminadas a captar la mayor parte de la riqueza representan una forma de codificación indirecta de las funciones globales de la red. GAFAMA (Google, Apple, Facebook, Amazon, Microsoft, Alibaba) y NATU (Netflix, Airbnb, Tesla, Uber), los nuevos dueños de la red mundial, ejercen un control invisible, aunque muy real y cada vez más opresor e inquietante, sobre los actos de la vida cotidiana, privada o profesional de los internautas. La influencia de estas empresas en internet parece ilimitada. Se trata de organizaciones que no dudan en competir con las políticas nacionales, e incluso en oponerse a ellas.

¿Y si fuera posible modificar en profundidad el ADN de internet, ejercer un control multifuncional y multidimensional y, en definitiva, tomar el poder? Como en el caso de los seres vivos, ¿podría una epigenética de internet garantizar un cocontrol y una correulación de este ecosistema mundial? ¿Y si los «usuarios neuronas» que representan los internautas ostentaran ese poder sin ser todavía conscientes de ello? ¿Y si las modificaciones epigenéticas fueran consecuencia del conjunto de comportamientos de los internautas? Suponiendo que la respuesta sea afirmativa, ¿cómo podemos hacer que los efectos combinados de esos internautas y de sus memes en el organismo de internet sean positivos para la democracia, las libertades humanas y el futuro de la humanidad?

La revolución de la economía colaborativa en una sociedad cada vez más transversal y organizada en red —«la correvolución de la sociedad fluida y del intercambio», como la he descrito en mi ensayo *Surfer la vie*—[8] demuestra que el intercambio y la cooperación pueden conducir a movimientos masivos en internet. Las acciones precedidas por «crowd» en inglés (*crowdsourcing*, *crowdfunding*...) son la prueba de que la inteligencia intuitiva de internet permite resolver problemas complejos, que la capacidad de financiación colectiva puede favorecer la constitución de nuevas empresas, del mismo modo que los paneles de salud personalizados, gracias a los smartphones y, por tanto, a internet, pueden conmocionar industrias tan asentadas como la farmacéutica.

Así es como aparecen los *prosumers* (palabra inglesa formada a partir de *producen*, «productor», y *consumer*, «consumidor», y que podríamos traducir como *prosumidor*). Están *desintermediando* las pirámides globales que controlan actualmente nuestra vida: las de la energía, la banca, los seguros, el turismo, la educación... Podríamos, por tanto, modificar o hacer modificar las reglas y las leyes desde el interior. De ese modo, tendríamos la capacidad de cambiar no solo los genes sociales, sino los memes y, también, según creo, el ADN social.

Pero ¿a qué ADN nos referimos al hablar de un país, de una empresa, de una familia, de un grupo social, de un sindicato o de un equipo deportivo? Cada ADN tiene sus memes, los memoriza, los transcribe, los traduce, los reproduce y los transmite a través de medios y enfoques muy diversos.

¿Dónde se esconde este ADN social?

El ADN social se encuentra en forma de códigos en las bases de datos de las organizaciones (en los textos, los estatutos, las informaciones jurídicas y contables, el organigrama, las descripciones de los cargos, los métodos, los procesos de producción, de comunicación y de marketing, los registros, la carta de valores...). Esa masa de información acumulada, ese Big Data que contiene el conjunto de los códigos vitales, puede considerarse una forma de ADN digital de los órganos estatales, de las empresas públicas o privadas, de las asociaciones o de las fundaciones. En la cultura empresarial, el proyecto común es, como lo definen los propios empleados, «nuestro ADN», el patrimonio genético de la empresa compartido por todos.

El ADN de las marcas más conocidas del mundo representa una característica esencial de su identidad y su desarrollo. ¿Qué te sugieren Disney, Lego, Levi's, Coca-Cola, Apple, Chanel o Nike? Los rasgos exclusivos que permiten identificar, apreciar y difundir esas marcas están anclados en tu memoria y en la memoria colectiva. Constituyen la base de una nueva forma de marketing a través del *buzz* y las recomendaciones. Se trata de un proceso que no solamente va de la empresa al futuro cliente, sino

que circula también en sentido inverso, es decir, de los clientes a la empresa.

Los consumidores son muy sensibles a los valores representados por la marca, así como a la calidad de sus productos o servicios. Aun cuando no hayas publicado nunca ningún comentario en las redes sociales o en los blogs de las marcas, es posible que hayas leído valoraciones de internautas satisfechos o, por el contrario, decepcionados. Es posible que miles o incluso millones de internautas lean las opiniones vertidas por otros internautas. Al «provocar el *buzz*», esos posts se convierten en un elemento de los mecanismos de recomendación de las redes sociales. Hemos pasado de la «sociedad de la información», expresión de moda en la década de 1980, a la «sociedad de la recomendación», que refleja mejor, en mi opinión, el papel de los consejos mutuos y la coordinación de los *consumactores* a través de las redes sociales. Esa es también la razón por la cual es claramente más eficaz dirigirse directamente a las marcas a través de su cuenta de Twitter que enviarles una carta de reclamación por correo. Lo que más temen las marcas son los escándalos mediáticos. Un *buzz* negativo circulando por las redes sociales y los grandes medios de comunicación —siempre a la caza de pequeños y grandes escándalos— causará muchos más estragos que una reclamación enviada al servicio de atención al cliente.

Más allá del ADN de las marcas, el ADN de las empresas innovadoras contendría, según algunos, un gen de la innovación. Esto no es lo que opina el inventor de la innovación disruptiva, Clayton Christensen, el cual afirma que un espíritu innovador hace referencia a cualidades que todos poseemos pero no sabemos utilizar. En *El ADN del innovador*,^[9] un libro de entrevistas con Jeff Bezos, Michael Dell o incluso con Rian Tata, Christensen descifra algunas de las cualidades fundamentales del innovador, comunes a los principales creadores del siglo XXI, a saber: el intercambio, el cuestionamiento, la observación, el trabajo en red y la experimentación. En mi opinión, estos grandes disruptores destacan en la ejecución de procesos que conducen a la aparición de sistemas innovadores complejos, y no solamente en el sentido de innovaciones aisladas que todavía conciben la innovación muchos empresarios y políticos.

En cuanto al ADN social de un país, este puede localizarse en la

constitución, los códigos legislativos, los reglamentos, los procedimientos, los decretos de aplicación de las leyes, el código civil, el código penal, el código tributario... del Estado. Puede extraerse también de los programas políticos de los diferentes partidos o candidatos a la presidencia. Durante las elecciones presidenciales francesas de mayo de 2017, los electores tuvieron ocasión de acceder a todas las propuestas de los candidatos en liza y emitir un juicio de valor sobre las mismas. ¿Acaso para los votantes, así como para cada uno de los competidores y de su partido, no es esta la cuestión primordial: cuál es su programa?

De hecho, publicar su programa es una obligación. El programa político es una forma de ADN social que todavía no se habría expresado. Como toda molécula de ADN antes de la *biolectura* del código genético, el ADN biológico del programa tiene que transcribirse, traducirse y expresarse. En este contexto, la transcripción corresponde a las diferentes medidas y a su enumeración en los diversos ámbitos de la vida social: los sectores soberanos de la defensa, la justicia y la educación, así como los del empleo, el medio ambiente o las comunicaciones. Por lo que respecta a la traducción, será el resultado de los decretos de aplicación que garantizan la aplicación de las leyes en las vidas cotidianas de los ciudadanos y las empresas. De hecho, como se supone que nadie debe ignorar la ley, los diferentes textos votados, transcritos y traducidos asegurarán el buen funcionamiento y el control de las sociedades humanas.

Finalmente, el ADN de un equipo está constituido por el estilo, los procedimientos, el arbitraje, los métodos de juego, la táctica o la estrategia, tanto si se trata de investigadores de un laboratorio, futbolistas, jugadores de rugby o ciclistas del Tour de Francia. Este tipo de ADN determinará la manera de reaccionar del equipo ante la confrontación con un adversario sujeto a las mismas reglas del juego. De él dependerán, asimismo, las condiciones económicas del espectáculo en los estadios o en el medio natural, así como la remuneración de los jugadores o su penalización en caso de trampa o dopaje.

Son estas múltiples formas de ADN (país, ciudad, empresa, marca, equipo...) las que permiten a las organizaciones distinguirse unas de otras.

Del mismo modo, el ADN de un ser vivo hace que este sea un ser único y distinto de todos los demás individuos del mundo.

De la epigenética a la epimemética

Según el mismo principio que la analogía genes/memes y genética/memética, ahora explicaré la relación que establezco entre epigenética y epimemética.

Como ya he dicho, por epimemética entiendo la modificación de la expresión de los memes y del ADN social por el comportamiento de las personas en una sociedad, una empresa o cualquier forma de organización humana. Existen estudios que confirman la extrema rapidez de transmisión de los memes implicados para manipular las ideas a gran escala. Gavin Brown, estudiante del Berglund Center for Internet Studies, en Estados Unidos, muestra en un destacable estudio que las redes sociales y los memes son utilizados sistemáticamente por los propagandistas islamistas y por los voceros de la organización supremacista blanca para influir en los internautas.[10] La transmisión de memes (bajo la forma de textos, vídeos, músicas...) aporta cada día, por desgracia, pruebas de su eficacia.

Hemos visto, en el campo de la epigenética, la importancia de ese tipo de interruptores químicos, los ARN no codificantes, que circulan por el organismo, modificando la expresión o la inhibición de determinados genes. Parece que la misma lógica es aplicable al campo epimemético. Existen informaciones codificantes, como las presentes en el ADN social, es decir, en los estatutos, las constituciones, las cartas de valores, los reglamentos internos de las asociaciones. Creo que también existen formas de transmisión de información no codificantes, por ejemplo los rumores,[11] el *qué dirán*, el *buzz*, la desinformación, las *fake news*, las teorías de la conspiración, la retransmisión por televisión de manifestaciones callejeras que incitan a la violencia, los vídeos de atentados o los que muestran compasión durante las ceremonias en recuerdo de las víctimas, etcétera.

Estos mecanismos de modificación epimemética del ADN social intervendrán de manera aún más rápida y masiva si se estimulan las

funciones primordiales de la reactividad de los seres humanos, tales como la indignación y el miedo, a las cuales yo añadiría el instinto de violencia y muerte, el dinero, el escepticismo, la burla sistemática o la duda. Esas emociones humanas, suscitadas individual o colectivamente por una información, una decisión o una toma de posición, intervienen de manera incuestionable en la epimemética.

La influencia de los memes de internet y de los tuits disruptores

Entre las modas rápidas de propagación de los memes, hay que citar a los medios de comunicación modernos como la televisión, la prensa, el cine o las redes sociales. Determinadas condiciones de recepción amplifican la reproducción y la transmisión de los memes, especialmente en el ámbito de las emociones psicosociológicas, tal como constata el filósofo y exministro de Educación Nacional francés Luc Ferry en un artículo publicado en *Le Figaro*: «Las democracias [...] favorecen cuatro sentimientos poderosos que alcanzan a todo el mundo: la cólera, los celos, el miedo por último [...] la indignación. Dado que esas pasiones son las más sencillas y las más universales, dado que mueven tanto a la “Francia de abajo” como a la “de arriba”, son el primer y principal combustible de los índices de audiencia». [12] Todas esas emociones son, asimismo, catalizadores del cambio social. Son muchos los electores que, justo antes de votar, han quedado tan impresionados por un programa o un reportaje emitido en televisión —en el que se mostraban, por ejemplo, casos de violencia contra personas de edad avanzada o niños— que han decidido cambiar el sentido de su voto.

La influencia de numerosos memes propagados por las redes sociales se explica, igualmente, por el sabotaje cultural (*culture jamming*). [13] Basándose en su propia experiencia, Jonah Peretti, sociólogo del MIT y cofundador del *Huffington Post*, observó que los intercambios de correos electrónicos, de posts y de comentarios jugaban un papel muy importante en la propagación de memes.

Este punto de vista es corroborado por el *buzz* viral mundial generado por

sus intercambios epistolares con Nike en 2001, cuando Peretti todavía era un estudiante. Después de que la marca rechazase el empleo del término *sweatshop* («taller de explotación laboral») cuando él lo propuso en el sitio web de Nike para que lo escribieran en sus zapatillas personalizadas — propuesta a la que, evidentemente, Nike se negó—, envió un correo para quejarse (hay que señalar que LinkedIn existe solo desde 2001, Facebook desde 2002 y Twitter desde 2005). ¿Con qué derecho se negaban a cumplir su petición si Nike ofrecía la opción de personalizar sus modelos? Los clientes son libres de escoger sus lemas. Me atrevería a decir que la respuesta negativa de Nike no cayó en saco roto. Circuló entre los (numerosos) amigos de Peretti, los cuales la difundieron en sus redes sociales (véase el vídeo de su historia).[14] El caso adquirió proporciones inesperadas cuando Peretti fue invitado a la televisión para debatir sobre el asunto con un directivo de la marca. Este caso paradigmático ilustra perfectamente la forma en que cada uno puede contribuir a fabricar o vehicular un meme positivo o negativo.

Cabe señalar que, con el auge de las redes sociales, el meme de internet, si podemos aceptar esa variación del término original creado por Dawkins, ha irrumpido en la blogosfera. Todo el mundo recuerda el irritante videoclip «Gangnam Style», de la estrella del pop surcoreana PSY, que lo petó en 2012...[15]

Los contenidos virales, un arma de disrupción masiva

Entre los propagadores de memes, no olvidemos los contenidos virales o *media virus*. Ese término se debe al conferenciante y militante *open source* (en favor del software libre) estadounidense Douglas Rushkoff, el cual publicó un libro con ese mismo título.[16] Por lo general, los tuits provocadores o agresivos del presidente Donald Trump se enmarcan en esta categoría. Una poderosa herramienta de transmisión de memes a escala mundial es utilizada por primera vez por un presidente de Estados Unidos. Puede decirse, por tanto, que ha nacido una nueva forma de acción política de la utilización sistemática de mensajes cortos en Twitter.

Esta otra categoría de memes de internet se difunde, amplifica, deforma (parodia) o reproduce tal cual, sin ser filtrada ni comentada por los periodistas, los cuales supuestamente deberían garantizar una mediación objetiva y necesaria en un contexto de posverdad, e incluso de desinformación. En manos del presidente Trump o de otras personalidades muy influyentes, un tuit de 140 o 280 caracteres puede desacreditar a una persona, a una institución o la política de un país. Por eso se convierte, a mi entender, en un «arma de disrupción masiva» (ADM). Para Rushkoff, Trump es en sí mismo un contenido viral: «Donald Trump es un virus de los medios de comunicación, y nosotros somos los que contribuimos a su contagio».[17] Evidentemente, esta nueva arma crea las condiciones de las modificaciones epimeméticas del ADN social. Tiene la capacidad de hacer cambiar las leyes o decisiones muy importantes en cuanto interviene la presión mediática, institucional, política o ciudadana. Volveré sobre este tema más adelante.

El defecto de las neuronas espejo

¿Cómo contrarrestar el poder de los individuos o las organizaciones que tratan de influir en la modificación del ADN social mediante la epimemética? Esos fenómenos sociales están relacionados en gran medida con la evolución del ecosistema digital y de las actividades humanas en las redes sociales, como hemos visto. Esto plantea la cuestión de las reacciones ciudadanas y de los contrapoderes. La cuestión de la verdadera democracia participativa.

Con el auge de las redes sociales y el desarrollo del ecosistema digital, la duplicación y la transmisión de los memes en la cultura de una sociedad son cada vez más eficaces y rápidas, hasta el punto de asemejarse, en los casos más extremos, a un contagio viral, a una verdadera epidemia. Los rumores, los hechos alternativos se propagan en tiempo récord. En la era de la posverdad, las estadísticas muestran que falsedades, o incluso mentiras descaradas, repetidas constantemente en las redes sociales y la blogosfera, acaban siendo percibidas como verdades. Sobre todo cuando quienes las retransmiten confían en quienes las emiten (instituciones, personalidades

mediáticas o políticas, periodistas...). Como decía Oscar Wilde: «La simple y pura verdad casi nunca es pura y nunca es simple».

A título anecdótico, la expresión «posverdad» se ha extendido a toda velocidad en cuestión de meses, lo cual la ha hecho ser elegida «palabra del año 2016» por el diccionario Oxford, el cual da la siguiente definición: «Relativo a circunstancias en las que los hechos objetivos tienen menos influencia en la opinión pública que las emociones y las creencias personales».

La transmisión de los memes a través de las redes sociales —Twitter, Facebook u otros medios de comunicación instantánea— asegura una forma de reproducción y almacenaje, desempeñando, al mismo tiempo, un papel de caja de resonancia y de amplificador. ¿Por qué usuarios muy diferentes entre sí repiten estos mensajes, copian algunas frases, imitan determinados comportamientos, e incluso ciertas acciones violentas?

Al parecer, una categoría de neuronas —identificada en el córtex cerebral en 1996 por Giacomo Rizzolatti (médico y biólogo, director del Departamento de Neurociencia de la Facultad de Medicina de Parma) y por Corrado Sinigaglia (profesor de Filosofía de la Ciencia en la Universidad de Milán)— favorecen esta propensión a difundir las noticias más emocionantes o impactantes. Los científicos italianos las han denominado «neuronas espejo».[18] Cuando un ser humano (o un animal) observa a un congénere que realiza una acción específica, se activan las mismas áreas del cerebro que si estuviese actuando él mismo. Este gran descubrimiento ha revolucionado la neurociencia, la neurología, la comunicación e incluso la filosofía.

El sistema especular de las emociones permite simular en el cerebro el estado emocional de un interlocutor y, de este modo, identificar mejor las emociones sentidas por las personas de su entorno. Favorece la comprensión de la relación con los demás, e incluso un mejor conocimiento del prójimo, gracias a la intersubjetividad, al hecho de compartir deseos y aversiones, lo cual es la base de la empatía.

El neurólogo Vilayanur Ramachandran, profesor de la Universidad de San Diego, en California, habla de «neuronas empáticas» o «neuronas Gandhi», en referencia a la compasión que exhibía el célebre Mahatma. Así,

la grabación a través del teléfono móvil de sucesos que tienen lugar en la vía pública, especialmente actos de violencia policial o delitos comunes y la posterior retransmisión de esos vídeos en las redes sociales, aumentan la catálisis memética y la circulación de memes. Basta un desencadenante (por ejemplo una imagen) difundido en bucle por las redes sociales o las cadenas de informativos para que la gente salga a la calle decidida a enfrentarse a la policía o a las fuerzas de seguridad.

Durante la última campaña presidencial francesa, ciertos memes (como las expresiones «gabinete negro» o «riesgo de guerra civil») fueron repetidos y analizados profusamente por los medios de comunicación, lo cual les garantizó una gran (y terrible) audiencia. Esto se ha convertido en una práctica habitual y los reflejos miméticos llevan a determinados políticos a introducir en sus discursos o entrevistas diferentes elementos del lenguaje para conseguir que se vuelvan virales. Memes virales, por tanto, que les permitirán difundir una idea o una reacción en el mundo mediático y las redes sociales a través de la amplificación de los comentarios y las reacciones negativas que generen, más fáciles de memorizar masivamente. Una práctica de bajo coste para llegar de manera rápida y generalizada a la población. Antes de la aparición de internet y las redes sociales, los medios de comunicación reproducían las palabras de los políticos. Actualmente, los tuits tienen enormes consecuencias, lo cual justifica calificarlos como armas de disrupción masiva.

Cómo luchar contra los memes tóxicos

Del mismo modo que las células cancerosas eluden la inmunidad natural del cuerpo que supuestamente debería destruirlas, a la inmunidad natural de los grupos sociales le cuesta destruir los memes indeseables que se desarrollan, al amplificarse unos a otros por la transmisión viral. A partir del momento en que existe el riesgo de que las informaciones generen controversia y, por tanto, de elevar los índices de audiencia y aumentar las tiradas de los periódicos apelando a la emoción o a la indignación, los medios informativos,

siempre en busca de *buzz*, se hacen eco. Así, los titulares sensacionalistas que desfilan por las cadenas de informativos son utilizados para retener la atención del público. El suspense, la controversia o el drama despliegan su culebrón para mantener en vilo al espectador. Con anuncios publicitarios intercalados, el ciclo se regenera de forma continua, con ayuda de primicias, conexiones en directo y otras *breaking news*. La retransmisión de esos memes fomenta la desinformación, el escarnio, los ataques personales, las protestas públicas, es decir, cualquier acción susceptible de provocar emociones y reacciones colectivas violentas involucrando a instituciones o personas.

Afortunadamente, también existen fenómenos de inhibición de la transmisión de memes culturales o sociales. Aquí, de nuevo, puede hacerse una analogía con la biología. Del mismo modo que el sistema inmunitario destruye los virus y las bacterias, la sociedad puede producir informaciones capaces de destruir los memes falsos que circulan por las redes sociales. Puede fabricar cierto tipo de anticuerpos digitales capaces de inhibir o bloquear la transmisión de determinados memes. Los Estados y los servicios de inteligencia saben perfectamente cómo hacerlo. Determinadas técnicas (censura, filtración de información...) demostraron su eficacia durante la guerra fría. Sin embargo, el siglo XXI requiere algo más de creatividad.

La contrainformación sigue siendo, sin embargo, una excelente forma de hacer que un meme se vuelva contra sí mismo. Lo vimos la víspera de la segunda vuelta de las elecciones presidenciales francesas de 2017, cuando jóvenes expertos en el ámbito digital y las redes sociales pertenecientes al equipo de campaña de Emmanuel Macron hicieron gala de una gran maestría en la guerra digital. Cuando una *fake news* anunció que el candidato había abierto una cuenta bancaria en las Bahamas, consiguieron, en muy breve plazo (entre las once de la noche y las cinco de la mañana), identificar al autor del rumor, un tal Jack Posobiec, estadounidense militante de la extrema derecha, habitual divulgador de noticias falsas en Twitter y retuiteado habitualmente por Donald Trump. Lo desenmascararon, lo exhibieron ante los grandes medios de comunicación y demostraron cómo las redes francesas de extrema derecha habían propagado informaciones falsas, llegando al

extremo de utilizarlas durante el último debate entre los candidatos de la segunda vuelta. Gracias a un excelente conocimiento de las redes digitales mundiales y de los métodos de difusión de los memes, pudo ponerse freno a la amplificación de esa *fake news*.

Este ejemplo de una aplicación positiva de los mecanismos de la inmunidad digital demuestra que la transmisión rápida de memes puede provocar una modificación del comportamiento de quienes los reciben. Parece, por tanto, que las acciones de los usuarios de un sistema de comunicación, los ciudadanos de un país, los miembros de grupos de presión, los grupos terroristas, los agentes de influencia, los sistemas de inteligencia, pueden provocar una modificación del ADN social o del ADN de una organización compleja (empresa, gobierno...). De nuevo, no se trata de una modificación del código genético en sí, a imagen de un cambio en las letras que constituyen el código del ADN, sino de acciones que consisten en encender, apagar o reducir la expresión de determinados genes, especialmente los que controlan las proteínas y las enzimas que actúan de manera decisiva sobre el funcionamiento metabólico de las células y del cuerpo. Por eso planteo la idea de que la epimemética representa la modulación de la expresión de los memes del ADN social por el comportamiento de los individuos interconectados en un sistema social. Evidentemente, esas modificaciones del ADN social no dejarán de tener consecuencias en el gobierno y la democracia, como veremos a continuación.

7

¿Es posible un gobierno ciudadano?

En las redes sociales, incluso los excluidos del sistema tienen la posibilidad de expresarse en igualdad de condiciones que los dirigentes políticos y económicos para hacer valer sus derechos. Internet sería, por tanto, la herramienta ideal para una democracia participativa, invitando a los ciudadanos, sean cuales sean, a intervenir a su voluntad en el debate público.

Sin embargo, la expresión de la democracia es una moneda de dos caras. Por un lado, las reivindicaciones legítimas y las grandes causas; por otro, los rumores, los chismes, los cotilleos y las charlas de bar. La democracia participativa se ve perturbada por la información masiva que circula por la blogosfera. En mi ensayo *Surfer la vie*,^[1] ya hice referencia al arma de doble filo que representa el comportamiento de los actores del ecosistema digital (internautas y monopolios digitales, los GAFAMA). Efectivamente, los usuarios de redes sociales actúan, a menudo, bajo la presión de su propio interés, por individualismo, voyerismo o exhibicionismo.

En las relaciones grupales, tanto si se trata de grupos humanos tradicionales como de grupos formados en las redes sociales, muchos miembros van en busca de un líder que los inspire, los motive, o incluso que los guíe y los incorpore a un proyecto colectivo con un objetivo claramente definido. ¿Provocan todos estos movimientos una modificación epimemética

del ADN de internet y sus memes más funcionales y copiados? Parece que sí, ya que millones de internautas reorientan sus acciones, sus creaciones, sus grabaciones, sus contactos, sus amistades o sus blogs en función de su valoración personal o del *buzz* del momento.

En ese caso, ¿cómo actuar colectivamente en la red en interés general? ¿Cómo provocar efectos a medio o largo plazo? ¿Cómo provocar reacciones que no sean emocionales y efímeras, sino que tengan influencia a lo largo del tiempo? ¿Cómo difundir valores positivos para unir a los individuos, reforzar la cohesión entre las personas y motivarlas para que actúen librándose del corsé de su ego? En el contexto de estas nuevas modas de acción colectiva ciudadana, ¿quién controla la epimemética?

¿Hacia un golpe de Estado (ciudadano) permanente?

En las páginas precedentes, he explicado que la epigenética era el resultado de la modulación de la expresión de los genes en función de nuestros comportamientos cotidianos y que, por analogía, la epimemética era la modificación de la expresión de los memes del ADN social social resultantes de los comportamientos cotidianos de los seres humanos en el seno de una organización (ciudadanos en la sociedad, empleados de una empresa, miembros de un club, jugadores de un equipo, etcétera). De este modo, las modificaciones epimeméticas pueden difundirse por la sociedad gracias a las redes de comunicación tradicionales y digitales.

Evidentemente, las redes sociales favorecen este fenómeno al permitir que cualquiera, sea quien sea, se exprese en la blogosfera. Los internautas han adquirido la costumbre de reaccionar ante la menor declaración y/o acción de los dirigentes políticos o económicos y de los líderes de opinión de todos los ámbitos de la vida. Los más versados en el tema han comprendido perfectamente cómo utilizar rápida y masivamente estos nuevos medios de expresión para llamar la atención o provocar movilizaciones en torno a una situación determinada. Hacer que un gran número de individuos se unan a su causa dependerá de la labor de reflexión y sensibilización que hayan llevado

a cabo estos agitadores o impulsores del cambio: contestatarios, diseñadores de proyectos innovadores, ideólogos... ¡el nombre que les demos dependerá del punto de vista! Más allá de la concienciación colectiva, la influencia de los líderes dependerá, obviamente, de su habilidad a la hora de promover sus ideas y soluciones.

Algunos ejemplos exitosos de alianza ciudadana demuestran que es posible movilizar a miles, e incluso millones de personas en torno a problemas sociales importantes. Recordemos el escándalo, denunciado por asociaciones de defensa del paciente, del sobreprecio de medicamentos anticancerígenos comercializados por tres gigantes de la industria farmacéutica: la francesa Roche, la estadounidense Pfizer y la sudafricana Aspen.[2] La movilización surtió efecto y las asociaciones ganaron el caso.

Al pertenecer a todos, internet es un bien común que une a miles de millones de personas a escala planetaria. Las redes sociales y el internet de las cosas (la infraestructura global capaz de conectar barrios, ciudades, regiones y continentes a través de un sistema capilar abierto, repartido y colaborativo) ofrecen a cualquier persona, en cualquier lugar y cualquier momento, la posibilidad de acceder al Big Data, mediante la transformación completa de los modelos, las prácticas y la formas de gobierno. Las tecnologías digitales vuelven a poner de moda el *commoning* («la puesta en común»), el derecho ancestral de los habitantes de las comunas a utilizar los bienes comunitarios para satisfacer sus necesidades básicas. Elinor Ostrom, premio Nobel de economía de 2009, ha dedicado su vida a documentar las prácticas del *commoning*. Los anglosajones hablan también de *collaborative commons* («bienes comunes de colaboración»). Efectivamente, todo el mundo es libre de crear y utilizar nuevas aplicaciones que le permitirán dar sentido a su vida cotidiana para un mejor control de sí mismo. Todo el mundo es libre de conectarse a la comunidad mundial de *prosumidores* para intercambiar P2P (entre pares, de persona a persona), sin intermediarios, puesto que todos somos a la vez consumidores y productores de objetos, servicios, aplicaciones, etcétera. Asimismo, todo el mundo es libre de unirse a una comunidad que comparta sus mismos proyectos o sus mismos objetivos. Puede tratarse de grupos de presión, de movimientos ciudadanos o

de iniciativas colectivas diversas.

Podemos pensar, por ejemplo, en la experiencia de SoundCity. Esta aplicación individual y colaborativa a través del teléfono móvil, desarrollada por el INRIA (Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique) y la ciudad de París en 2015, tiene como objetivo medir la contaminación acústica del distrito 18, haciendo partícipes a sus habitantes. A partir de los ruidos captados por los smartphones de los voluntarios, SoundCity cartografía y mide el nivel de exposición sonora de la población. Los habitantes pueden consultar su exposición minuto a minuto, hora a hora, o día a día durante los últimos meses. La información (recopilada de manera anónima) ha contribuido a mejorar la elaboración del mapa de la contaminación acústica de París. La experiencia debería extenderse a otras grandes ciudades para combatir el ruido en el marco de una política de salud pública.

La movilización de la sociedad civil en los asuntos penales es también un buen ejemplo. Estoy pensando, concretamente, en el muy mediático caso de Jacqueline Sauvage, que se ha convertido en un símbolo para la causa de las mujeres maltratadas. Condenada a diez años de prisión por la muerte de su marido violento, la pena impuesta a la sexagenaria señora fue anulada por el presidente François Hollande en 2016. Con el apoyo de personalidades del mundo del espectáculo y de la política, Solidarité Femmes (una red de asociaciones comprometidas con la lucha contra todo tipo de violencia de género) instrumentalizó el caso con gran eficacia y exigió cambios en la ley contra la violencia doméstica. Por su parte, la secretaria de Estado encargada de la asistencia a las víctimas, Juliette Méadel, agradeció al presidente de la República a través de Twitter el oportuno indulto presidencial.

Esta manera de proceder se utiliza cada vez con más frecuencia para influir en las decisiones políticas y judiciales y hay quienes no dudan en calificarla como un intento de golpe de Estado ciudadano. La petición pública a través de la plataforma Change.org, para reclamar la puesta en libertad de Jacqueline Sauvage, llegó a recoger más de 400.000 firmas.

Las peticiones a través de internet, de hecho, representan un contrapoder interesante, aunque sigue siendo limitado, frente a los medios de la política

tradicional cuando no está orquestado dentro de un plan de acción global. Así, las 600.000 firmas de la petición fruto de la iniciativa de la periodista Élise Lucet (*Cash Investigation*) sobre los secretos comerciales no tuvieron demasiado peso frente a los diputados europeos, los cuales aprobaron en comisión un texto que aspiraba a combatir el espionaje industrial.

Más recientemente, la indignación provocada por las artimañas del productor estadounidense Harvey Weinstein y por el acoso sexual en general, ha animado a miles de mujeres a dejar su testimonio en Twitter bajo el hashtag #balancetonporc (denuncia a tu cerdo). Un auténtico tsunami que ha demostrado la gran influencia de la sociedad civil y de la reacción ciudadana, que revela al mismo tiempo el surgimiento de un nuevo riesgo, el de una justicia de las redes sociales, en la que los acusados son denunciados sin presunción de inocencia ni juicio previo por las autoridades competentes. Esos acontecimientos y las consiguientes decisiones —concretamente las nuevas leyes sobre violencia de género y acoso sexual— representan un nuevo ejemplo del impacto epimemético de las emociones compartidas y su influencia en la modificación del ADN social.

La cibversión, ¿una muralla contra los gigantes de la red?

Por tanto, cada uno de nosotros puede participar en la construcción de esta protección ciudadana, siempre que las acciones sean organizadas. Sería interesante llevar a cabo un importante trabajo de investigación para confirmar o descartar la modificación epimemética del ADN de internet. En efecto, al utilizar las redes sociales como un verdadero contrapoder y orientar colectivamente nuestros comportamientos hacia un mismo fin, intervenimos en una corregulación ciudadana participativa. Esto es la base de un verdadero gobierno ciudadano y una auténtica oportunidad para que el ciudadano evalúe las acciones de las personalidades que representan a la sociedad o actúan en su nombre, hayan sido o no elegidas democráticamente. Si este tipo de organización no protege contra las recuperaciones o la instrumentalización por parte de movimientos políticos o poderes centralizados o totalitarios

(como vimos en el caso de los indignados y las diferentes «primaveras»), la utilización inteligente de las redes sociales y de la televisión aliadas con los ciberactivistas y los manifestantes demostró que podía doblegar a los regímenes menos tolerantes. Por tanto, únicamente un enfoque subversivo, con el uso de herramientas digitales mundiales, podrá revitalizar la democracia con un arma especialmente eficaz al alcance de la sociedad civil para luchar contra los poderes totalitarios y los monopolios digitales; un arma a la que he denominado *cibversión*.

La correulación ciudadana participativa debe basarse en las mismas herramientas digitales que las empleadas por los monopolios digitales (GAFAMA) o los regímenes totalitarios, herramientas de *cibversión* o *ciberboicot* llamadas Twitter, Facebook, blogs, páginas web, WhatsApp, Skype, YouTube, Facetime, Instagram o incluso Snapchat. Algunas de ellas han sido utilizadas para denunciar monopolios gigantescos y prácticas totalitarias, pero también a políticos o periodistas corruptos, o incluso para boicotear a empresas petroleras contaminantes. Cada vez más tuits o redes de poder de internet cuestionan situaciones y prácticas intolerables o atentados contra los derechos humanos. Todavía no son suficientemente poderosos para luchar contra los lobbies mundiales o contra el poder piramidal de las dictaduras o los regímenes totalitarios. Sin embargo, constituyen una prueba de que podemos avanzar juntos para poner freno a esos poderes antidemocráticos.

Los mecanismos de decisión colectiva son difíciles de llevar a la práctica, especialmente por lo que respecta a la evaluación colectiva de las decisiones adoptadas por un número considerable de individuos. Desde luego, la correulación ciudadana participativa puede intervenir urgentemente gracias a las redes sociales. Sin embargo, por razones de seguridad o a causa de las emociones que impulsan a las personas a reaccionar individualmente, la cosa va más allá de la armonización del funcionamiento de las estructuras colectivas: es cuestión de modificar la expresión del ADN social mediante los mecanismos epimeméticos.

Me gustaría retomar aquí dos preguntas fundamentales para el futuro de nuestra sociedad, o incluso de la humanidad: ¿cómo puede la correulación

ciudadana modificar desde el interior el código genético, el ADN de internet? ¿Puede crear mutaciones en la propia estructura del código genético de ese ADN social?

A escala mundial, hay fuerzas que actúan para conquistar desde dentro este ecosistema digital planetario con el fin de controlar los engranajes principales. Las armas preferidas de los amos del mundo digital (GAFAMA) son la inteligencia artificial, los robots o el *deep learning*. Están experimentando con una forma de ingeniería genética en el ADN de internet —o más bien en el ecosistema digital— en el que cada uno de nosotros constituye una neurona interconectada a todas las demás. Sin embargo, resulta que, con frecuencia, los intereses de uno son contrarios a los de los otros. Es en ese contexto donde la corregulación ciudadana debe demostrar su eficacia y velar por el interés general. La mayoría de los ciudadanos todavía no es consciente de la magnitud de este poder colectivo. No obstante, depende de cada uno de nosotros actuar de manera conjunta para cumplir esta misión fundamental. Por todas estas razones, tenemos que levantar una muralla que nos proteja contra el dominio de los grandes poderes digitales de internet.

¿Cómo modificar el ADN social *disrumpiendo* la política?

Se sabe que los sondeos de opinión juegan un papel muy importante en el ámbito sociopolítico. Su influencia en la intención de voto está más que demostrada. Este fenómeno ha sido objeto de numerosos estudios psicosociológicos.[3] Pero ¿cómo las nuevas incorporaciones políticas llegan a provocar una disrupción en un sistema que parecía inamovible? Los equipos de campaña del movimiento «En marcha» se inspiraron en técnicas que constituyeron el punto fuerte del expresidente Barack Obama: el espíritu emprendedor, unido a una concepción revolucionaria del puerta a puerta gracias al Big Data, que permitían atraer mejor a los electores, así como campañas de comunicación dirigidas adecuadamente a los medios de comunicación, además de un uso eficaz de la mensajería instantánea y de las

redes sociales digitales. Los nuevos protagonistas de la economía digital aplicaron con éxito una mezcla de innovación, agilidad, encuestas sobre el terreno, escuchar al cliente/ciudadano, espíritu emprendedor, aceptación del riesgo, trabajo en equipo, efecto de red y desintermediación. Todo ello sin olvidarse de hacer soñar a los clientes y ciudadanos con objetivos y valores con los que puedan identificarse fácilmente.

Pero, en la mayoría de los casos, los ciudadanos se reúnen en torno a valores negativos, especialmente en el contexto de los referendos, un medio poderoso de disrupción de las políticas alternativas. Por tanto, por lo que respecta a la participación en referendos, los politólogos distinguen entre el voto de protesta y el voto de convicción. En esos momentos cruciales, la sensación individual de poder intervenir radicalmente en la evolución política de un país influirá claramente en el voto. La perspectiva del voto de protesta es tentadora. Quienes creen que pueden influir individualmente en el curso de la historia serán menos reticentes si los sondeos dan a entender que la suerte ya está echada. Esto puede explicar por qué las consultas públicas con una respuesta binaria, «sí» o «no», esconden con mucha frecuencia un resultado sorprendente. En ese tipo de votación, los electores tienen tendencia a responder a una pregunta más amplia que la que se plantea y aprovechan la ocasión para expresar su descontento general. Esperan (en este caso, con razón) provocar una disrupción en la política propuesta y cambiar el curso de la historia.

¿Por qué las opiniones negativas parecen más inteligentes?

Lo sorprendente es que las intervenciones o justificaciones basadas en argumentos negativos o contestatarios se recuerdan mejor que las que se basan en argumentos positivos o incluso optimistas. Así, las estadísticas demuestran que las reacciones ante un artículo publicado en un diario online, un blog o la página web de una empresa o una asociación son, generalmente, negativas o de queja. Lo que denominamos «trolls» y, en términos generales, los comentaristas anónimos, expresan casi siempre sentimientos, análisis y

opiniones negativos o contradictorios. Se trata de un fenómeno que los psicólogos atribuyen a una necesidad de existir en relación con los demás.

Cuando los trolls, los extremistas y los *haters* contaminan las redes, se crea una especie de círculo vicioso y se genera un malestar social. Por no hablar de los *bots*, los programas-robot que podríamos comparar con unas polillas que se introducen cada vez más en los debates de la red, especialmente en los hilos de Twitter. Un pequeño estudio rápido permite sacar a la luz las cuentas (de marcas, de *haters* profesionales y de profesionales de la manipulación...) que hacen gala de miles de *followers* y utilizan los *bots* como arma de desinformación. Investigaciones más en profundidad, efectuadas por los servicios de inteligencia estadounidenses, han demostrado la influencia de dichas prácticas, especialmente durante las elecciones presidenciales, por parte de piratas informáticos ucranianos o rusos que han sido claramente identificados.

¿Significa esto que Twitter no es más que aire? Tal vez no, pero no cabe duda de que su influencia merecería ser relativizada cuando somos conscientes de la realidad: 48 millones de cuentas de Twitter, de alrededor de 300 millones, serían robots cuyo único objetivo es manipular a la opinión pública. Eso es lo que revelan, en todo caso, recientes estudios estadounidenses y británicos.[4]

En cualquier caso, hay que constatar que los comentarios críticos y negativos son retransmitidos por los periodistas y las personalidades políticas con mucha más rapidez que las opiniones, decisiones o comentarios positivos o constructivos. El psicólogo Clifford Nass, profesor de comunicación de la Universidad de Stanford,[5] ha llevado a cabo diversos estudios sobre un universo de telespectadores, lectores de periódicos e internautas. Las personas o personalidades políticas que expresan opiniones o comentarios negativos o contradictorios parecen, por lo general, más inteligentes que las que se expresan de manera positiva u optimista. Las reacciones positivas son interpretadas a menudo por el público (y por los medios de comunicación) como enfoques ingenuos, utópicos, por no decir «de peluche». De ahí las numerosas críticas recibidas por el libro ya citado de Steven Pinker, por parte

de los profesionales de los medios de comunicación.[6]

La estrategia de comunicación de los informativos se basa en el principio de la novedad, las *breaking news*, la controversia, el debate, la contradicción, el suspense, las noticias dramáticas...[7] Los medios, en general, fomentan el interés casi obsesivo de un determinado público por el espectáculo y el drama, con el cual se les acusa habitualmente de alimentar a las masas, sobrepasando la curiosidad malsana inherente —en diversos grados— a la naturaleza humana. Como me dijo con gran lucidez el difunto Jean Boissonnat (fallecido en septiembre de 2016): «Un gran periodista económico, cuyo nombre no revelaré, prefiere afirmar que una medida política o un proyecto no funcionarán porque, si lo hacen, su afirmación quedará en el olvido, mientras que, en caso contrario, todo el mundo recordará su análisis crítico negativo y será considerado un analista visionario y competente».

Entonces ¿de dónde procede esta fascinación por las catástrofes y otras malas noticias? ¿Somos todos morbosos o tanatófilos, atraídos por la pulsión de la muerte?

El miedo, un mecanismo útil para la supervivencia de la especie

Si las cadenas de informativos son célebres por difundir en bucle las noticias más angustiosas, la prensa escrita también recurre regularmente a artificios para atrapar a la audiencia. Del mismo modo, toda clase de hechos sórdidos son difundidos por las redes sociales en tiempo récord por sus millones de suscriptores del mundo entero. Si no tuviéramos tanta necesidad de informaciones impactantes, los medios de comunicación interrumpirían inmediatamente este exceso de oferta permanente. La audiencia es soberana...

En un artículo publicado en AgoraVox en 2005, ya me preguntaba por la «sociedad de la puesta en escena del miedo», [8] expresión que tomé de Michel Serres, ¡el cual no dudaba en hablar de «índice de audiencia de la muerte»! El filósofo observó, efectivamente, que las noticias catastróficas

dominaban de forma sistemática los veinte primeros minutos de los informativos de la radio y la televisión. A principios de la década de 1970, el canadiense Marshall MacLuhan (1911-1980), eminente sociólogo de los medios de comunicación, señaló que las buenas noticias no eran noticias en el sentido mediático del término: «Good news is no news», expresión de la que se apropió el multimillonario magnate de la comunicación Ted Turner, fundador de la cadena estadounidense CNN.

Podemos criticar esa debilidad de algunos de nuestros semejantes, pero también podemos intentar entender sus motivaciones profundas, casi enfermizas. Recordemos que, según la teoría de la evolución, todo lo que favorece la supervivencia y la reproducción se refuerza al transmitirse de generación en generación. Los mecanismos biológicos de la selección darwiniana nos han enseñado que los seres vivos (humanos, animales e incluso plantas) que recuerden las malas experiencias y la manera de escapar de toda clase de peligros (catástrofes naturales, depredadores, accidentes de la vida y de circulación...) incrementarán sus probabilidades de vivir más tiempo. Solamente los mejor adaptados tendrán tiempo de procrear, de asegurar el desarrollo de su familia y, por consiguiente, de contribuir a garantizar la supervivencia de la especie. En estas condiciones, no es de extrañar que los hechos positivos, incluso si tienen repercusión pública, se olviden con tanta rapidez. Al ser menos útiles para la supervivencia de la especie, se memorizan menos. Contrariamente a los grandes miedos, incluso si, en ocasiones, despiertan momentos de intensa emoción y recuerdos comunes, no provocan ningún trauma en la memoria colectiva.

La historia de un drama vivido por un semejante en el otro extremo del mundo nos afecta sinceramente, porque nosotros somos ese ser. Su sufrimiento o su muerte, que podrían ser los nuestros, nos golpean con fuerza. Las imágenes y las historias de los supervivientes de atentados cometidos por el Daesh en nuestro territorio, igual que los perpetrados en el resto del mundo, afligieron profundamente a los ciudadanos franceses, a pesar de no conocer a las víctimas. Como hemos visto, las neuronas espejo del cerebro, involucradas en el aprendizaje por imitación y los procesos afectivos, hacen de nosotros seres empáticos. Vivir en empatía con nuestros semejantes, e

incluso con otras especies, representa obviamente una ventaja. Por consiguiente, preocuparse por los demás es una ventaja adaptativa y coevolutiva que contribuye a la supervivencia de la humanidad.

A pesar de que saber evitar situaciones potencialmente peligrosas o zafarse de ellas es útil para la creación colectiva, es necesario asumir riesgos. Llevada al extremo, esta atracción por las malas noticias y el miedo que generan podrían paralizarnos, limitar nuestras acciones, hacer que lo viéramos todo negro y, en definitiva, provocarnos la impresión desalentadora de no ser dueños de nuestro destino. También ha sido la presión de los miedos colectivos la que ha llevado a las más altas instancias a introducir el famoso principio de precaución en la Constitución francesa. Se trata de un principio que, si se aplica de manera demasiado sistemática, corre el riesgo de aniquilar la creatividad y, por ende, cualquier deseo de futuro. Así, el futuro ya no sería un campo de posibilidades, sino una *terra incognita* dominada por el miedo a lo desconocido, el miedo a tener miedo... Nunca repetiremos demasiado, citando a Paracelso, que no hay veneno, sino dosis, y que en esta vida todo es cuestión de equilibrio.

Paradójicamente y contrariamente a la creencia popular, los numerosos experimentos realizados por laboratorios de psicología en todo el mundo tienden a demostrar que el público programa los medios de comunicación y los impulsa a difundir malas noticias, no a la inversa. Según los investigadores, nuestro cerebro no solo está programado para la supervivencia (más que para la felicidad), sino que también contiene un sesgo negativo (*negative brain bias*).^[9] Como consecuencia de una situación de estrés, de la emoción que sentimos como reacción a las malas noticias y a la producción de hormonas (adrenalina, cortisol...) que se generan, este sesgo negativo contribuiría a reforzar nuestro sistema de memorización.

«El cerebro funciona como el velcro con lo malo y como el teflón con lo bueno»

Como hemos visto, concretamente al citar a Luc Ferry, la memoria se ve

influida por el contenido emocional de los sucesos. Asociamos automáticamente un riesgo al recuerdo de un único ejemplo traumático sin tener en cuenta el contexto general. Sabemos que los acontecimientos negativos crean un trauma en el cerebro, mientras que los acontecimientos positivos activan los circuitos de recompensa que generan las hormonas del placer y de la felicidad; las endorfinas, la oxitocina, la dopamina o la serotonina.

Las malas noticias provocan estrés, y el aumento del cortisol y de la adrenalina son efectos secundarios. Sin embargo, el estrés provoca al menos un efecto positivo: refuerza la memoria. Esta capacidad de memorizar lo negativo se la debemos a la activación de circuitos cerebrales especializados en el control de las emociones. Recordemos que se trata, sobre todo, de una región del lóbulo temporal interno llamada amígdala que se encuentra justo delante del hipocampo, una zona del cerebro que desempeña un papel fundamental en la memoria. Como reacción ante situaciones de miedo o amenaza, tanto objetivas como subjetivas, el cerebro segrega hormonas de estrés y neurotransmisores. Estos acelerarán los latidos del corazón y la circulación sanguínea, lo cual provoca reacciones fisiológicas de huida, de lucha o de inhibición de la acción.

Los sondeos de opinión realizados por las redacciones de los informativos televisados indican que, por lo general, los individuos recuerdan mejor los acontecimientos dramáticos, las catástrofes, los atentados terroristas, los tsunamis, los incendios... Su memoria queda marcada por los sucesos más impactantes. Para Rick Hanson, «el cerebro funciona como el velcro ante lo malo y como el teflón ante lo bueno».[10] Estas conclusiones son, por cierto, corroboradas por los trabajos de Roy Baumeister y Ellen Bratslavsky, los cuales deducen: «Buscamos constantemente información para reaccionar de manera exagerada y, a continuación, almacenamos esas reacciones en la estructura del cerebro. Por ejemplo, aprendemos más rápido del dolor que del placer y las interacciones negativas nos afectan más».[11]

¡Atrevámonos a pensar de manera positiva!

A riesgo de resultar chocante, creo que hemos contemplado lo que se considera una anomalía, o incluso una perversión, desde el ángulo equivocado. En lugar de sacar provecho de esta particularidad, la hemos estudiado desde un punto de vista simplista y moralizante (vergüenza debería darles a los *voyeurs*, los fatalistas y los pájaros de mal agüero) y, al mismo tiempo, militante (los optimistas contra los pesimistas, los ingenuos contra los cínicos y, en definitiva, los tontos felices contra los realistas). Sería preferible, para extraer verdaderas lecciones, adoptar un ángulo utilitarista. Ya que el miedo es útil, seamos pragmáticos.

Existen soluciones. Por ejemplo, podríamos organizar una correulación ciudadana de la información para ciberboicotear los vídeos de decapitaciones difundidos por el Daesh para avivar el miedo. Millones de personas de todo el mundo sufren cotidianamente la guerra y otros dramas espantosos. Cuando esas imágenes hacen que seamos conscientes de los estragos de la violencia en países no demasiado lejanos, nos sentimos, de repente, muy seguros en nuestro país... Sin embargo, olvidamos demasiado rápido que la paz es también la voluntad de los pueblos.

¿Cómo se puede vivir en paz con la idea de que las desgracias solo les suceden a los demás, si las avivamos para tener más confianza en nuestras propias posibilidades de supervivencia? Curiosamente, cuanto más al borde del caos parece encontrarse el mundo, más confiamos en nuestras probabilidades de hacer que mejore y de ser, por tanto, protagonistas del cambio. Quizá tenía razón el poeta y filósofo alemán Friedrich Hölderlin (1770-1843): «Allí donde crece el peligro, crece también lo que nos salva». El pensamiento positivo no es la negación de la realidad ni la exageración de las cosas positivas. Se trata de poner en perspectiva las informaciones de modo que podamos restablecer el equilibrio entre percepción y realidad, entre hechos negativos y positivos o, como dijo Yuval Noah Harari, entre las historias que nos explicamos sobre el mundo y la realidad.[12] Este dispositivo de regulación ciudadana permitiría, con total imparcialidad, llevar a cabo una labor de moderación, es decir, permitiría ver las cosas en perspectiva y recordar que, según la teoría de las probabilidades, los hechos y acontecimientos negativos son la excepción y no la regla.

Si los ciudadanos dan ejemplo y si partimos del principio de que es el público el que incita a los periodistas a alimentar su curiosidad malsana con malas noticias, quizá los medios acepten también desempeñar su papel regulador. En lugar de obcecarnos en una visión maniqueísta (optimismo contra pesimismo), saldremos ganando si mostramos un poco de audacia.

Atrevámonos a pensar de manera positiva, constructiva, pragmática y realista para así desear construir juntos el futuro y ayudar a las nuevas generaciones a descubrir el entusiasmo de la creación y el intercambio. Es más que un deseo, es un deber. Al intervenir de manera positiva para cambiar las situaciones perjudiciales para la creatividad, para la iniciativa y para las libertades individuales, los ciudadanos pueden contribuir a modificar colectivamente el ADN social. Veamos cómo.

8

Modificar colectivamente la expresión del ADN social

Las redes sociales son generalmente animadas e impulsadas por las generaciones nacidas en la era de internet. Esta población joven ha entendido perfectamente que ostentaba un auténtico poder: organizarse colectivamente. Sin embargo, con la multiplicación de los puntos de vista contradictorios expuestos en la red, adoptar una postura común no es sencillo. Por eso hablamos de democracia participativa. La participación y la cogestión que conllevan la responsabilización y la cooperación ciudadanas representan, de hecho, la manera de modificar el funcionamiento o las estructuras de una organización social.

Para respaldar esta afirmación, plantearé dos enfoques complementarios: el enfoque estructural y las acciones individuales en un ecosistema digital en el que intervienen las redes sociales.

Aquí veremos de nuevo las nociones de interdependencia y cooperación; los procesos y mecanismos típicos de la epimemética descritos anteriormente. Creo que los movimientos cooperativos y las asociaciones tienden, por naturaleza, a otorgar más poder a los actores del interior de un sistema o de una organización compleja para modificar la expresión del ADN social. Ofrecen a los ciudadanos la posibilidad de ser protagonistas en el contexto de

una democracia participativa organizada y deseada por los dirigentes.

Estamos acostumbrados a un enfoque heredado de una visión geométrica de la sociedad. Según esta visión, el poder es ejercido por un pequeño número de responsables de la toma de decisiones situados en la cima de la pirámide como consecuencia de unas elecciones, una cooptación o una sucesión. No obstante, el cambio epimemético entra en acción. Trastoca el enfoque geométrico de las organizaciones. Surgen nuevas estructuras cooperativas, tales como los congresos ciudadanos, la gestión colaborativa de las comunas o la participación de los ciudadanos en la administración de su ciudad.

El ejemplo de la economía social y solidaria (ESS) ilustra este enfoque.

La economía social y solidaria: el win-win social en la práctica

En Francia, el poco conocido sector de la ESS está arrojando excelentes resultados, al tiempo que impulsa la economía colaborativa. Como buena economía de la transformación y de la innovación, la ESS agrupa a más de 200.000 empresas repartidas entre asociaciones, mutuas, cooperativas y fundaciones. Presente en todos los sectores de actividad, esta economía alternativa representa el 10 por ciento del PIB francés, con más del 12 por ciento de los empleos privados [...]. Según el informe sobre el empleo publicado por Recherche & Solidarité en junio de 2015, los efectivos más importantes se encuentran en los ámbitos de la acción social, las actividades financieras y de seguros, la enseñanza y la sanidad.

Dentro del sistema de la ESS, las sociedades cooperativas de producción (SCOP), que permiten a los empleados reactivar su empresa, especialmente bajo la forma de una cooperativa, presentan un índice de sostenibilidad impresionante [...]. La ley de ESS de julio de 2014 recuerda que este modelo alternativo no tiene por objeto principal obtener beneficios a cualquier precio. Se trata, en cierto modo, de una sociedad con ánimo de lucro limitado, basada en un modelo de gestión democrático que invita a todos los empleados a participar en las decisiones estratégicas.

[...] Protagonistas de la innovación y del desarrollo sostenible, las SCOP, ninguneadas durante mucho tiempo por los economistas, han dado pruebas de su rentabilidad. Basadas en el principio de equidad, reportan, como mínimo, el 33 por ciento de los beneficios (en forma de dividendos) a los socios y al menos el 25 por ciento a los asalariados (los cuales detentan al menos el 51 por ciento del capital), quedando el 16 por ciento para las reservas no compartibles que constituyen los fondos propios de la sociedad cooperativa.

Entre las grandes empresas cooperativas francesas con buenos resultados, podemos citar las siguientes: BPCE, Caisse d'Épargne, CASDEN, Crédit Agricole, Crédit Coopératif, Crédit Mutuel, E. Leclerc, Limagrain, Système U, el grupo Up [...]. La primera empresa de

su sector en ser evaluada por su responsabilidad social, el grupo Up declara orgullosamente en su web que «es posible alcanzar el éxito económico haciendo las cosas de manera diferente».

La economía social y solidaria representa entre el 10 por ciento y el 65 por ciento de los empleos en seis sectores principales de actividad: sanidad, educación, deportes y ocio, actividad económica y social. El éxito de determinadas empresas de la ESS explica su presencia, a veces dominante, en sectores muy diferentes. Con más de 14.000 establecimientos cooperativos y más de 5.000 mutualidades, los sectores de la banca y los seguros son actores protagonistas de la economía social y de la vida de los territorios, lo que supone un activo a ojos de los consumidores. Los bancos mutualistas se desmarcan de los bancos clásicos al aspirar a invertir prioritariamente en proyectos de vocación ciudadana y prometer al mismo tiempo transparencia, ética, democracia y una presencia en todo el territorio [...]. Debían compensar los excesos de un capitalismo desbocado, lo cual generó una enorme pobreza y el aislamiento de los territorios rurales.

Cabe señalar que, de los 60 millones de cuentas bancarias abiertas en Francia, el 65 por ciento corresponden a bancos mutualistas, presentes en las zonas más atrasadas del país. En 2014, había 91 bancos mutualistas entre los 258 bancos reconocidos por la Autoridad de Supervisión Prudencial y de Resolución.^[1] Las cuatro principales redes mutualistas (Crédit Agricole, Banque Populaire, Caisse d'Épargne y Crédit Mutuel) han generado por sí solas unos beneficios de 54.000 millones de euros, lo cual representa alrededor de un 25 por ciento de la financiación bancaria de la economía.

El modelo cooperativo: garantía de una sociedad más armoniosa, responsable y ética

¿Cómo podemos hacer coincidir los intereses de todos? El sistema cooperativo es una posible respuesta: preserva el interés general y los valores sociales, puesto que el consumidor puede ser, a la vez, miembro de la cooperativa y copropietario (accionista) de la empresa, o incluso empleado. La empresa cooperativa no cotiza en bolsa, por tanto, no sufre ninguna presión por parte de los accionistas. Además, debido a la no remuneración (o remuneración limitada) del capital, sus beneficios no repartidos en dividendos son indivisibles. Los beneficios (o reservas) no son propiedad de nadie en concreto, sino que corresponden equitativamente a todos. Incrementan los fondos propios de la empresa y contribuyen así a su sostenibilidad.

Sobre todo, al ser propietarios de una parte del capital de la empresa, los

cooperativistas-accionistas se sienten mucho más implicados en su estrategia. Efectivamente, los miembros de la cooperativa son, al mismo tiempo, clientes y socios, copropietarios de su institución bancaria o aseguradora, y no accionistas. Según el principio de «un hombre = un voto», cada socio del banco titular de acciones está invitado a hacer oír su voz en las asambleas generales. En ese sentido, todos pueden modificar el ADN de la empresa. Todas las categorías socioprofesionales están representadas: docentes, directores de pequeñas o grandes empresas, artesanos, comerciantes, agricultores... Los conceptos de justicia y de poder compartido y democrático adquieren pleno significado.

Este tipo de organización responde a la inquietud de reintroducir el factor humano y la democracia en las empresas y la sociedad. Es la respuesta humanista a la globalización de la economía de mercado basada en la búsqueda de beneficios y a sus prácticas, en ocasiones predatorias.[2] Se trata, también, de adquirir conciencia de las ventajas de la cooperación (actuar juntos) en un mundo a menudo demasiado dominado por la competencia. Cooperar y confiar en lugar de dominar sigue siendo un comportamiento poco habitual. ¿Cómo es posible provocar un cambio de mentalidad y hacer que los individuos (asalariados, consumidores, accionistas...) y estructuras de todo tipo (empresas, organizaciones internacionales, partidos políticos, naciones, Estados...) entiendan que es esencial dar prioridad a esta lógica?

Cuando las relaciones ya no están basadas en la dominación ni en un capitalismo desbocado, cuando la ética se convierte en el elemento fundamental de la cultura empresarial, es más sencillo hacer converger los intereses de todo el mundo. Al optar por la igualdad y la cooperación, la transparencia, el reparto equitativo de los frutos del trabajo, al ofrecer el mejor producto o servicio al precio más justo, las estructuras cooperativas representan una alternativa a las organizaciones piramidales y jerárquicas, las cuales fomentan las relaciones de dominación, la competencia y el ejercicio en solitario del poder.

Esto es válido también para las cooperativas agrícolas, las cuales permiten a los profesionales compartir los medios de producción comunes a

su profesión. Del mismo modo, las Asociaciones para el Mantenimiento de una Agricultura Sostenida por la Comunidad (AMAP, por sus siglas en francés) prestan un gran servicio al poner en contacto a un productor con un grupo de consumidores. Juntos, llegan a un acuerdo en cuanto a la variedad, la cantidad y el precio de los productos de temporada (fruta, verdura, huevos, leche, queso, carne...), así como sobre los métodos agrícolas a aplicar. El intercambio es equitativo, ya que el productor cubre sus gastos de producción y obtiene unos ingresos dignos, mientras que el consumidor se beneficia de productos de excelente calidad a un precio muy asequible. Tal vez algunos de vosotros adquiráis productos de las AMAP que disponen de puntos de venta locales, en las propias granjas, o en tiendas de distribuidores. Absolutamente ajenas al concepto de agricultura industrial, las AMAP contribuyen así a la lucha contra la contaminación, además de promover una gestión responsable de los bienes comunes.

En mi libro *Surfer la vie*,^[3] ya hice hincapié en los beneficios del altruismo, la empatía y la confianza para contribuir juntos al surgimiento de una sociedad menos centrada en la captación de riqueza, en el poder y en las relaciones de fuerza. Por todas esas razones, el modelo cooperativo representa una de las estructuras más adecuadas para fomentar la modificación de la expresión de un ADN social, ya sea de un país, una empresa o una asociación.

Francia, líder de las cooperativas y las mutuas

Las organizaciones cooperativas o mutuas existen desde hace mucho tiempo. Francia es uno de los países líderes mundiales en estas organizaciones. El país ostenta el récord del número de sociedades cooperativas y participativas: 2.200 SCOP emplean a más de 50.000 asalariados.^[4] Las 21.000 empresas cooperativas y su millón de empleados representan una facturación anual de 86.000 millones de euros. Pero Francia no está sola: la Unión Europea tiene también 123 millones de cooperativistas y sus 160.000 cooperativas emplean a 5,4 millones de trabajadores.^[5]

Los anglosajones utilizan el término *platform cooperativism* («cooperativismo de plataforma») para referirse a formas de estructuras cooperativas consideradas como una posible alternativa a la *uberización* (todas las plataformas de contacto tipo Uber). Esta sociedad, que plantea una relación sin intermediarios entre conductores de turismos y usuarios, es acusada, aparte de competencia desleal contra los taxis, de imponer su política tarifaria a sus conductores, todos ellos autónomos. La *uberización* consiste en esquivar la legislación laboral en nombre del derecho a la competencia, lo cual entraña la precarización de los empleados, los cuales se ven privados de sus derechos sindicales y de protección social.

La teoría del cooperativismo se sustenta en dos principios: la propiedad común y el gobierno democrático. En las estructuras cooperativas, el elemento central de la organización es el ser humano, no el dinero (el capital) ni el Estado, tal como nos recuerda esta definición de la Alianza Cooperativa Internacional: «Una cooperativa es una asociación autónoma de personas que se unen voluntariamente para satisfacer sus necesidades y aspiraciones económicas, sociales y culturales comunes por medio de una empresa de propiedad conjunta gestionada democráticamente».

Según el quebequés André Martin, profesor asociado y director adjunto del Institut de Recherche et d'Éducation pour les Coopératives et les Mutuelles (IRECUS), «el movimiento cooperativo está impulsado por valores y principios que son sus propias condiciones de éxito y aspiraciones que desea lograr en el ámbito económico. Su premisa básica es el respeto y la valorización de la persona como ser libre que lleva al reconocimiento de la igualdad de los hombres. Promueve la autodeterminación y el sentido de responsabilidad, indispensables para que los cooperativistas puedan asumir sus tareas empresariales. Exige, igualmente, la solidaridad (una acción común en pos de un objetivo común) y la equidad (la noción de justicia en el intercambio, la distribución de los bienes y la percepción de los sobrepagos). La cooperativa es, por tanto, una asociación de personas regida por el poder democrático de sus miembros, los cuales son copropietarios de su empresa».

[6]

Un modelo humanista

Como indican estas definiciones, el movimiento cooperativo, el cual no tiene nada que ver con el principio de *uberización*, otorga un lugar central al elemento humano. No es exagerado afirmar que el éxito de este modelo depende en gran medida de la capacidad de valorar y movilizar a las personas (cooperativistas copropietarios de la empresa y usuarios) en torno a un objetivo común. El espíritu de solidaridad y de responsabilidad, el respeto por el interés general y el ejercicio del poder de manera democrática contribuyen igualmente a su éxito. Sentirse respetado y reconocido como un actor clave en el éxito de un proyecto colectivo genera, de manera natural, efectos positivos. Los cooperativistas se sienten más implicados, más responsables y atentos ante los demás y más preocupados por el interés de todos. Pueden lograr la autodeterminación, por retomar el término utilizado por André Martin.

En su destacable ensayo *Filosofía de la cooperación*, recuerda los orígenes, los valores y los principios de las empresas cooperativas: «Las empresas cooperativas son organizaciones económicas y sociales originales. Surgieron y se desarrollaron durante la primera mitad del siglo XIX, periodo de grandes penurias obreras provocadas en gran medida por el capitalismo organizado. Se constituyeron bajo la presión del socialismo asociacionista y, en ocasiones, bajo el impulso de un cristianismo que descubría sus responsabilidades sociales».[7]

No somos necesariamente conscientes de ello, pero, en la medida en que las estructuras cooperativas y mutualistas forman parte del ADN del país, nuestro sistema favorece el gobierno ciudadano. Este terreno, naturalmente abonado para la epimemética social, no le ha pasado por alto al consultor estadounidense Jeremy Rifkin, el cual hace referencia a esa «ventaja adaptativa» de Francia en su libro en el que aboga por la «sociedad de coste marginal cero» y de las comunidades colaborativas.[8]

Un mundo menos basado en la competencia, aspiración de los *millennials*

Los millennials (los jóvenes de diez años en 2000, nacidos con internet) son partidarios de la economía del intercambio. Parece que son la generación más dispuesta a dirigir esta revolución. Este grupo, totalmente conectado, está acostumbrado a cooperar en las redes sociales. Afirma aspirar a un mundo menos basado en la competencia y pretende hacer evolucionar las mentalidades trastocando el orden establecido. Para ellos, compartir muchas cosas a cambio de prácticamente nada (a un coste marginal cero, es decir, casi nulo) en todo el mundo es un objetivo primordial.

Por tanto, estos ecociudadanos venden, alquilan o intercambian, a través de plataformas colaborativas, la energía limpia producida por ellos mismos, objetos en 3D, cursos en línea, diversos bienes y servicios de la vida cotidiana, así como casas, cocina, tiempo... Utilizan monedas alternativas (bitcoin) o locales, las cuales están experimentando, asimismo, un éxito cada vez mayor. Para ellos, «otro mundo es posible», según la expresión canónica. Un mundo en el que el consumidor obtendría el mejor producto-servicio al mejor precio y el trabajador un salario justo como pago por su esfuerzo que daría, al mismo tiempo, sentido a su actividad. Un mundo más colaborativo e interconectado en el cual el acceso a un objeto o un servicio primaría sobre la propiedad y las relaciones de poder. ¿Una utopía factible?[9] En cualquier caso, aplicable a la ciudad y a su gestión.

Cuando la *smart city* permite a sus habitantes modificar colectivamente el ADN social de su ciudad

El modelo cooperativo tiene, además, la ventaja de ser aplicable en muchos ámbitos de la vida social: económico o asociativo, servicios públicos, instituciones financieras, medios de comunicación, formación y educación, transportes, agricultura... Las asociaciones de barrios o de vecinos, las guarderías cooperativas, las plataformas de intercambio de bienes y servicios o de puesta en común (de coches, bicicletas, herramientas, ropa, espacios, limpieza, refuerzo escolar, cursos de idiomas, bricolaje, cuidado de niños...) se crean de manera espontánea, igual que el *ecointercambio* que se enmarca

en la preocupación por la transición ecológica, al mismo tiempo que participa en el dinamismo económico. Citemos, entre otros, los conocidos Autolib o Vélib, OuiCar o BlaBlaCar, y los más recientes servicios a través de teléfono móvil Gobe (bicicletas de desbloqueo digital) y CityScoot (autoservicio de scooters eléctricos).

Pero ¿qué formas de consulta deberían ponerse en práctica para permitir a los ciudadanos entender mejor las implicaciones y los objetivos de un proyecto que afecta a toda la comunidad? La participación ciudadana (o la democracia participativa) puede expresarse sobre todo de manera local. Implica a los ciudadanos en el proceso de toma de decisiones que tendrán consecuencias importantes en su vida cotidiana. Esto es lo que la ciudad conectada, la *smart city* («ciudad inteligente»), imaginó al situar a los habitantes-usuarios en el centro de las reflexiones en torno a una ciudad más humana y sostenible.

Tanto si se trata de densidad de población, ordenación de espacios, regulación del tráfico, optimización de recursos o consumo de energía, reducción de la contaminación atmosférica, acceso a la educación, a los transportes y a los servicios, sanidad, interacciones sociales o relaciones entre comunidades, este urbanismo participativo permite analizar con la población todas las soluciones posibles para resolver o minimizar las consecuencias negativas de una acción.

Como he mencionado en mis libros anteriores (especialmente en *El macroscopio* o *El hombre simbiótico*), las ciudades son sistemas autogestionados y la ciudad del futuro será una ciudad conectada. Se apoyará en las tecnologías del ecosistema digital y en entornos inteligentes. Por consiguiente, hay que concebir la ciudad como si se tratara de un organismo vivo que consume recursos, evoluciona y se adapta.

La *smart city* utiliza los objetos conectados y el Big Data para desarrollar y optimizar el análisis de los datos recopilados (flujo de tráfico, utilización de los transportes, picos de contaminación, utilización de las plazas de aparcamiento, de los hospitales, picos de consumo de energía, interacciones sociales...) para gestionar los servicios públicos (educación, sanidad, seguridad, transportes, agua, energía, medios de comunicación, vida cultural,

etcétera) de la manera más inteligente posible. Como protagonista principal del gobierno local, cada habitante debe ser instado a participar, a expresarse, a proponer ideas o decidir sobre acciones colectivas. De esta descentralización del poder ciudadano nacerá toda una inteligencia colectiva. Al influir de manera visible en la ciudad, las acciones y decisiones de los habitantes-usuarios contribuirán a modificar su ADN social.

La epigenética y la epimemética para optimizar las políticas sanitarias

Los servicios públicos, como todo servicio relacionado con el bien común, también se beneficiarían del hecho de organizarse en cooperativas para ofrecer el mejor producto al mejor precio y en interés de todos. Además de las estructuras de tipo cooperativo y de las plataformas asociativas, es importante tener en cuenta la acción individual, la cual forma parte del ecosistema digital o surge por intermediación de las redes sociales. Los usuarios conectados a través de las redes sociales tienen una sensación difusa de su poder colectivo. Por consiguiente, este sistema no está organizado conscientemente con el objetivo de establecer relaciones de fuerza con las estructuras de gestión industrial o política de un gobierno.

Tomemos, por ejemplo, las asociaciones de pacientes que contribuyen a modificar las políticas sanitarias gracias a la participación epimemética ciudadana. Las tecnologías digitales representan una ayuda inestimable para tomar las riendas de la salud. Los blogs, las redes sociales y otros espacios de medicina 3.0 han cambiado por completo nuestros hábitos, así como la relación entre los pacientes, actores principales de su salud, y los médicos. Cada vez más pacientes, pero también más médicos, se conectan para buscar e intercambiar información médica. Somos, por tanto, «pacientes aumentados» y, como tales, estamos llamados a desempeñar un papel más importante en la gestión de nuestra salud.

De una medicina de tipo curativo, nos dirigimos cada vez más a una medicina de tipo preventivo. Una medicina que insta a los individuos a ser conscientes y cuidar de su cuerpo mediante métodos naturales (alimentación

equilibrada, ejercicio, meditación, control del estrés...). Las redes sociales ofrecen a estos pacientes la posibilidad de intercambiar sus experiencias y sus buenos consejos sobre medicamentos, vitaminas o suplementos alimenticios.

Estos nuevos usos no están exentos de riesgos, especialmente con la aparición de una *cibermedicina* basada en el autodiagnóstico. Las falsificaciones son otro peligro: en determinados sitios de internet, los internautas corren el riesgo de comprar de buena fe productos falsificados. En adelante, habrá que tener en cuenta las experiencias comunes y los consejos aportados por los internautas, los médicos o los pacientes en páginas especializadas en salud y foros médicos.

Hay que contar también con los pacientes expertos. Este término hace referencia a un antiguo enfermo o a un paciente afectado por una enfermedad, a menudo crónica. El paciente experto no padece la enfermedad; es, ante todo, protagonista de su salud y, como conocedor de su patología, permite que otros pacientes que sufren la misma dolencia se aprovechen de su experiencia en cuanto a tratamientos o efectos secundarios. Los acompaña y les proporciona apoyo para ayudarles a vivir con su patología. En Francia, existe incluso una titulación universitaria homologada enmarcada en la Ley Hospital, Pacientes, Salud y Territorio. Por supuesto, un paciente experto no sustituirá nunca a los facultativos, pero fomenta el diálogo y la confianza entre los enfermos y el personal sanitario. Al participar en el diseño de los programas de formación terapéutica en las asociaciones de pacientes y también en los hospitales junto a los equipos médicos, los pacientes expertos actúan como auténticos actores del sistema de salud.

De igual manera los médicos reciben asistencia médica e incluso, en algunos casos, les hacen más o menos la competencia en su propio terreno los objetos conectados y los sistemas expertos, esas máquinas que los sustituyen parcialmente cuando les proponen analizar sus datos personales (tensión arterial, azúcar en sangre, colesterol, peso, trastornos del sueño, problemas cardiovasculares, problemas respiratorios, fatiga, dolores...). El Big Data se ha involucrado en la relación médico-paciente: se nos informa en tiempo real de nuestro estado de salud y, a la menor alerta, nos anima a consultar.

Estos dispositivos cuestionan, asimismo, el equilibrio financiero de todo

el sistema de salud, ya que la medicina se vuelve cada vez más predictiva. Ya hemos hablado de la democratización de la decodificación del genoma. Gracias a ella, miles de millones de informaciones sobre nuestra salud actual o futura nos permitirán detectar los riesgos de enfermedad genética o de desarrollar determinadas patologías según nuestro perfil genético en función de nuestra edad, peso, modo de vida y, de esa forma, proponer tratamientos cada vez más personalizados.

No perdamos el tren de la salud 3.0

Hasta la fecha, las políticas sanitarias tradicionales exigían acudir a la consulta del médico, el cual emitía su diagnóstico basándose en los síntomas de una posible dolencia y, a continuación, prescribía un tratamiento. El paciente presentaba su receta en la farmacia para obtener medicamentos, generalmente reembolsados por la Seguridad Social. Al final de la cadena, el laboratorio obtenía como beneficio el margen existente entre el coste de producción y el precio de venta en la farmacia. Por otra parte, no se preocupaba por saber qué le sucedía al paciente. Que este tomase correctamente sus medicamentos o interrumpiese el tratamiento al cabo de algunos días no le importaba demasiado. Salvo escándalo sanitario grave, ignoraba igualmente si había sufrido efectos secundarios que no habrían sido detectados durante los ensayos clínicos. Este sistema bien engrasado no se interesaba demasiado por la evolución del estado del paciente. El ecosistema digital ha trastocado por completo esas prácticas. A partir de ahora se proponen suscripciones para supervisar y personalizar su salud.

Las suscripciones son un tema de capital importancia para los operadores de telecomunicaciones. La suscripción garantiza un pago regular y representa una renta para los editores de software o de licencias informáticas como Microsoft. No obstante, la industria farmacéutica parece ver pasar el tren digital sin darse cuenta de que le puede abrir nuevos mercados. ¡Hoy en día sus márgenes siguen procediendo de los productos reembolsados por el seguro médico! El elevado nivel de reembolso de los productos decretados

terapéuticamente válidos por la Agencia Nacional de Seguridad del Medicamento no hace más que alentar esta situación. Sin embargo, es bien sabido que entre el 50 por ciento y el 80 por ciento de esos productos reembolsados son *me-too products*.^[10] La industria farmacéutica aún está a tiempo de subirse al tren digital en marcha gracias a la participación y al feedback de los ciudadanos.

¿Cómo se puede reemplazar el modelo clásico que funciona a la inversa, es decir, desde la receta al reembolso de los medicamentos y los beneficios de la industria farmacéutica? En realidad, ya sabemos la respuesta. En los últimos años hemos sido testigos del nacimiento de un nuevo sistema de salud, posibilitado por la epigenética y por dispositivos de evaluación definidos en el concepto de la medicina 4P (personalizada, preventiva, participativa y predictiva). La epigenética allana el camino a una prevención cuantificable. Sí, ahora es posible hacer algo por uno mismo para mantener el mejor estado de salud posible. Esto también puede medirse gracias a los *trackers* y biosensores de la *e-salud*, a la cual se denomina también «salud conectada».

Propongo que cada uno se convierta en un experto en su propia salud gracias a un programa al que denomino PMS, o Programa de Mantenimiento de la Salud.^[11] Por curioso que pueda parecer, contrariamente a lo que sucede con nuestros automóviles, nuestro cuerpo no se beneficia de un mantenimiento regular personalizado. Nos limitamos a llevar a cabo un automantenimiento. Por ejemplo, tenemos cuidado con lo que comemos, de vez en cuando compramos productos ecológicos y evitamos abusar de los productos industriales. Practicamos un poco de deporte o de yoga. Pero, por otra parte, no hay ningún tipo de mantenimiento asistido por profesionales. Sin embargo, sería fácil poner en marcha un programa de mantenimiento de la salud. Bastaría con que una gran empresa farmacéutica se asociara con una compañía de seguros para crear un servicio al que denomino *farmaseguro* personalizado.

El PMS, basado en el principio del contrato de seguros, permitiría a todo el mundo apuntarse a un control personalizado de su salud mediante el pago de una suscripción. Se trata de una magnífica oportunidad estratégica para la

gran industria farmacéutica. Los laboratorios tienen la posibilidad de transformarse en operadores de salud. No obstante, todavía tienen que ser conscientes de los retos y adaptarse a la revolución de la «salud conectada». Este nuevo mercado ofrece perspectivas de ingresos combinando servicios y productos curativos, preventivos, predictivos y participativos. La verdadera revolución consistiría en ofrecer un mayor seguimiento y más prevención para recetar menos medicamentos, ya que el dispositivo ayudaría a conocerse mejor y a tomar medidas más eficaces para la propia salud.

Además de su influencia en el sistema de salud, soy consciente de que un cambio de esta índole tendría también consecuencias considerables en la industria farmacéutica. Desde el punto de vista comercial, el margen sería sustituido por la renta. Pero convertirse en operador de salud mediante la propuesta de programas multidimensionales de mantenimiento de la salud, a la vez preventivos y participativos, implica también un acercamiento al consumidor, a lo cual puede contribuir la epimemética.

Ya existen programas de ayuda al diagnóstico y de vigilancia domiciliaria. Podemos citar el Cordiva, un dispositivo de teleseguimiento y una solicitud de *e-salud* para asistir a los pacientes con insuficiencia cardíaca. Probado ya por más de 60.000 pacientes en Estados Unidos y en Alemania, Cordiva ha reducido el índice de rehospitalización un 28,3 por ciento. En Francia, el programa Osicat, desarrollado bajo la dirección del hospital universitario de Toulouse y destinado a optimizar la supervisión ambulatoria de los pacientes de insuficiencia cardíaca mediante telecardiología, podría ser reembolsado por el seguro médico. El programa de seguimiento domiciliario Santinel, desarrollado por Ipact, una startup tolosana, permite reducir la duración de la hospitalización acompañando a los pacientes durante su enfermedad. Esta aplicación segura permite al equipo médico conocer la evolución del estado de salud del paciente e intervenir si es necesario.

En el contexto de su asociación con el laboratorio abierto y ciudadano La Paillasse, el laboratorio Roche ha desarrollado, además de la diversidad entre expertos y amateurs, el programa de colaboración Epidemium. El Challenge4Cancer propone a equipos multidisciplinarios utilizar el Big Data y otros algoritmos de *machine learning* para «plantear nuevos enfoques de

tratamiento de los pacientes, nuevas vías de prevención o nuevos tratamientos para establecer vínculos entre factores como las conductas sexuales, el clima o la alimentación y el riesgo de cáncer». En la medida de lo posible, se trata también de prevenir la aparición de la enfermedad.

Obviamente, estas nuevas oportunidades provocan cambios radicales en la manera de curar y contribuyen, por tanto, a modificar el ADN social del universo médico. El sector de la salud está viviendo un auténtico cambio de paradigma. Es necesario comprender y administrar estas nuevas prácticas epimédicas si queremos una transición relevante y equitativa, con respeto por las personas y las libertades individuales. Una evolución así, alimentada por los avances de la epigenética y de la prevención cuantificable, requiere la implementación de nuevos modelos de salud.

Esta transición de los sistemas de salud en la que estamos inmersos ofrecerá nuevas perspectivas positivas para todos. Sin embargo, debemos permanecer atentos: la desintermediación y la *uberización* de los sistemas de salud, o el riesgo de una salud a dos velocidades, como algunos temen, son muy reales. Por supuesto, todo esto no se producirá sin desestabilizar la industria farmacéutica y los médicos tradicionales.

«Que tu alimento sea tu medicina»

Un mejor conocimiento de las expectativas de las diferentes poblaciones en materia de alimentación cotidiana permitiría también a la industria agroalimentaria evolucionar hacia la producción y la distribución de productos beneficiosos para la salud.

Ya hemos visto que determinados alimentos ponen en marcha mecanismos epigenéticos que pueden ser evaluados por los sistemas digitales de la salud conectada (o *e-salud*). Esta revolución ya ha empezado. El éxito de los productos ecológicos o la concienciación por parte de los consumidores de la importancia de desarrollar una sinergia entre los productos naturales consumidos regularmente lo atestiguan. Como hemos visto, gracias a la alimentación es posible reducir los riesgos de contraer

enfermedades y ralentizar el envejecimiento. Tengamos en cuenta la recomendación de Hipócrates: «Que tu alimento sea tu medicina». Y, de hecho, la conducta de los consumidores en el ámbito de la alimentación ilustra la posibilidad de modificación de la expresión del ADN social e industrial.

«Un cambio en la conciencia colectiva»

Las plataformas de contacto no monopolísticas (cuya responsabilidad y propiedad son compartidas por los usuarios) o incluso el blockchain constituyen otras formas de cooperativas digitales. Derivado de la moneda bitcoin (creada en 2008), el blockchain se basa en la transparencia y la seguridad de las transacciones y permite que dos partes (particulares o empresas), que no necesariamente se conocen, realicen transacciones con plena confianza, sin intermediarios y sin la presencia de un órgano central de control. Tanto si es de acceso público como si se trata de una red privada, el sistema se apoya en una base de datos compartida que contiene el registro histórico de las transacciones. Esto permite que todos los usuarios involucrados verifiquen la validez de cada componente (o bloque) de la cadena (de ahí la denominación «blockchain»).

Los medios de comunicación también podrían transformarse. Para garantizar una mayor independencia editorial, nada les impide crear una cooperativa en el seno de la cual los accionistas-lectores-cooperativistas puedan decidir la estrategia empresarial a seguir. Parece evidente que, si los consumidores de periódicos de papel o por internet, radios, cadenas de noticias y otros soportes fuesen también accionistas de los medios de los que son asiduos, podrían hacer valer todo su peso en las decisiones estratégicas de los grupos de prensa, los programas, la publicidad o la política comercial. La independencia de los grupos informativos quedaría garantizada. Cada lector tendría la capacidad de modificar el ADN social de un periódico.

La misma afirmación es válida para los partidos políticos. Si los militantes perteneciesen a un partido organizado como un movimiento

cooperativo, también podrían servir a los intereses de los ciudadanos mediante la cooperación en determinados proyectos en lugar de enfrentarse de manera sistemática. Todos los proyectos encaminados a preservar el bien común a nivel nacional, europeo o incluso mundial verían aumentar sus probabilidades de éxito si se llevaran a cabo en el marco de estructuras cooperativas regidas directamente por sus miembros.

Según esta misma lógica, Europa podría también tomar un nuevo impulso. ¿Y si los países miembros fomentasen la cooperación en lugar de la competencia, la mutualización en lugar de un capitalismo ultraliberal? En la Unión Europea no se incentivan los enfoques mutualistas y cooperativos, sospechosos de perjudicar a la competencia. Como recuerda en su blog Marie-Anne Kraft, autora del ensayo *La Révolution humaniste*:[\[12\]](#) «Europa ha evitado fusiones de empresas europeas que se habrían convertido en buques insignia empresariales, e incluso ha perdido a algunas, vendidas a los estadounidenses y a los asiáticos (Péchiney-Alcan, Arcelor-Mittal, AlcatelLucent, por ejemplo). Incluso la bolsa Life-Euronext se ha fusionado con la NYSE [New York Stock Exchange] estadounidense en lugar de hacerlo con la Deutsche Börse (actualmente bajo dominio americano)».

Impulsadas por una política voluntarista en la era de la sociedad colaborativa, las organizaciones cooperativas podrían entrar en una nueva dimensión.

Conclusión

«Sí, podemos hacer algo por nosotros mismos.» Esta frase, repetida a menudo en este libro, pone en primer plano la responsabilidad que tenemos frente a nuestra comunidad de destino y el sentido que podemos dar personalmente a nuestra vida. Solo tenemos una vida. Por tanto, más vale tener una vida original, sin copiar las vidas de personalidades políticas, mediáticas, artísticas o deportivas, que es a lo que aspiran con demasiada frecuencia jóvenes desorientados carentes de referencias o de valores.

Pero, para que la vida sea original, no basta con conocer determinados principios científicos básicos, como la epigenética; también hay que ser capaz de referirse a valores como el reconocimiento de la diversidad, el intercambio, la solidaridad, el altruismo o la empatía, asociados a la voluntad de hacer el bien a nuestro alrededor. Se trata de valores asumidos desde hace siglos por las principales religiones, pero, sin practicar ninguna, es posible promoverlos, compartirlos y aplicarlos fomentando la cooperación humanista para construir un futuro deseable en lugar de someterse al futuro impuesto.

Con el auge del ecosistema digital, de las redes sociales y de las herramientas personales para interactuar con nuestro entorno inteligente, surgen nuevos poderes ciudadanos. Ahora, solo depende de nosotros aprovechar esa oportunidad y participar —mediante actos cotidianos como la alimentación, el deporte, la gestión del estrés, el placer de emprender o de crear, la armonía de las redes familiares o profesionales— en la modulación

de la expresión de nuestros genes, para gozar de una mejor salud y retrasar el envejecimiento.

Como he tratado de demostrar, los mecanismos básicos de la epigenética, que permiten incidir en la complejidad de nuestro cuerpo, pueden trasladarse a la complejidad de la sociedad en la que vivimos y trabajamos. De hecho, el ADN social está constituido por genes virtuales a los que denominamos memes, genes culturales transmitidos por mimetismo gracias a los medios de comunicación, a los comportamientos colectivos y a la utilización de herramientas digitales interactivas.

De los genes a los memes, de la genética a la memética. Igual que hablamos de la epigenética, una ciencia por encima de la genética, podemos hablar de epimemética, una ciencia por encima de la memética, que estudia la transmisión de los memes en la sociedad. Se trata de nuevos poderes que las personas pueden utilizar para transformar esta última. Es la demostración de que la ciencia de los mecanismos físicos, biológicos y antropológicos fundamentales puede influir ahora en la gestión y la planificación de las sociedades modernas.

Sin embargo, conviene ser prudente a la hora de transmitir principios y mecanismos biológicos a la sociedad. Hemos sido testigos de desviaciones provocadas por la utilización por parte de algunos círculos políticos de principios biológicos mal entendidos, reformulados en nombre de una ideología para crear diferencias entre las personas y justificar políticas de *apartheid* o de discriminación. Cuando usamos la epimemética en la gestión de sistemas complejos, como pueden ser nuestras ciudades y nuestras sociedades, se trata fundamentalmente de aplicar los principios de la *sistémica* en la que se basa la biología, es decir, la interdependencia de los elementos, sus enlaces en red y la consideración de las propiedades emergentes.

Parece cada vez más necesario que las políticas se basen en razonamientos científicos comprobados para practicar lo que Edgar Morin llama «antropolítica», y que podría prolongarse con el planteamiento a día de hoy de una «epipolítica», por analogía con la epigenética y la epimemética, favoreciendo la modulación de la expresión y la modificación del ADN

social.

Gracias a los avances científicos y tecnológicos, parece posible construir juntos una sociedad deseada y un futuro deseable, en lugar de seguir predeterminados, hasta programados, por poderes políticos, religiosos o industriales, o incluso por las prescripciones de nuestro médico y los medicamentos de la industria farmacéutica. Podemos «retomar las riendas» y ser los directores de orquesta de nuestro propio cuerpo para interpretar la sinfonía de la vida teniendo en cuenta principios fundamentales confirmados por la ciencia. Una actitud que nos haga más libres y a la vez más responsables y que nos permita intervenir en el mundo de manera positiva y beneficiosa para la humanidad.

Evidentemente, no se trata de imaginar, como hacen algunos utopistas, un gobierno de sabios basado en los principios de la biología o de la epimemética, sino de demostrar cómo unos principios científicos bien asimilados pueden cambiar nuestra vida y, más allá de eso, la evolución de nuestras sociedades humanas.

Estamos tan solo al inicio de este proyecto fundamental y profundo que es la expresión de una verdadera democracia participativa en la que cada uno puede influir en el curso de los acontecimientos en el que se enmarca su propia vida. La responsabilidad, la libertad y la construcción común desembocan en la consideración de valores como la diversidad y el respeto al prójimo.

Como te dirá cualquier político, para gobernar hay que prever, construir juntos y permanecer unidos. Yo añadiría que también hay que regular, en el sentido cibernético del término, más que reglamentar. Ese es precisamente el papel de la epigenética en relación con nuestro cuerpo y el de la epimemética en relación con la sociedad. Regular es utilizar una pequeña cantidad de información para desencadenar acontecimientos de gran importancia. Poner en práctica decisiones colectivas y, sobre todo, la evaluación colectiva de esas decisiones gracias al feedback ciudadano para alcanzar los objetivos deseados y decididos de manera colectiva. Por eso ahora es necesario que las políticas puedan basarse en resultados científicos demostrados, teniendo en cuenta la peculiaridad de la naturaleza humana y las características de nuestro

cerebro. Una política de apertura al mundo, de respeto por la diversidad, de escucha y confianza, que permita a cada uno actuar por sí mismo, por su familia y por la sociedad en la que vive, trabaja y evoluciona.

La generación de los millennials, acostumbrada a compartir en las redes sociales, es más sensible a estos valores de intercambio, solidaridad y empatía. Nos incita a abandonar el poder piramidal y rígido de las sociedades antiguas y evolucionar hacia la sociedad fluida, una sociedad que deja más espacio al altruismo interesado, a la relación *win-win* y a la *coopetencia*, el equilibrio entre competencia y cooperación, y que aplica los principios de la epimemética en la sociedad.

Repito: respaldada por su tradición de cooperativas y mutuas, heredada de las asociaciones obreras clandestinas de principios del siglo XIX, Francia está bien posicionada para convertirse en un ejemplo para el mundo en cuanto a democracia participativa. Ahora depende de cada uno de nosotros que esta excepción francesa allane el camino a nuevos modelos económicos, con nuevas prácticas, nuevas inteligencias colectivas y nuevos modos de gestión.

Desde luego, no veremos de la noche a la mañana el fin del control estatal de los países centralizados ni del capitalismo salvaje que garantiza el monopolio de los amos del mundo digital —los GAFAMA y los NATU citados con frecuencia en este libro—. Ellos se han convertido en un modelo dominante, por no decir depredador, que explota el libre mercado, la incertidumbre jurídica que rodea a las comunidades colaboradoras (el bien común), y esquiva el código laboral. No cabe duda de que seguirán existiendo, ya que los trabajadores precarios, cuya supervivencia depende de la demanda regular de prestaciones mal pagadas y, a menudo, sin futuro de algunas startups digitales son también una realidad. No obstante, entre esos extremos, hay espacio para construir un nuevo modelo basado en la solidaridad mutua y que adquirirá su plena dimensión en la economía colaborativa.

La idea de una tercera vía entre el capitalismo tradicional y el socialismo dirigista, como plantea Jeremy Rifkin, representaría una nueva etapa en la evolución de la humanidad, capaz de transformar radicalmente nuestras formas de organización y nuestra visión del mundo. Un «cambio en la

conciencia colectiva», por citar nuevamente al analista estadounidense, que permitiría poner en práctica los valores universales del altruismo y la solidaridad.

Hay vía libre para llevar a cabo una acción de gobierno ciudadano que conlleve una auténtica participación, una cogestión descentralizada, solidaridad y respeto mutuo. Las grandes decisiones de este gobierno ciudadano no deberían centrarse en la aceleración del crecimiento económico, sino en la distribución planetaria de los conocimientos y las riquezas, y en preservar la diversidad de culturas y libertades, gracias a la valoración de la epigenética para él y de la epimemética para todos. La distribución de los recursos, la solidaridad, la salud equilibrada, envejecer bien y la armonización del tiempo en el respeto a las diferencias compondrán la partitura de la gran orquesta que interpreta la sinfonía de la vida.

Definiciones

ARN, EL MENSAJERO INDISPENSABLE

Nuestro cuerpo se compone de células, cada una de las cuales contiene un núcleo con 23 pares de cromosomas. Cada cromosoma contiene 2 moléculas de ADN (ácido desoxirribonucleico) con forma de doble hélice, las cuales se separarán en el momento de la duplicación (cuando las células se reproduzcan).

El genoma humano se compone de 3.000 millones de letras del código genético, aproximadamente 3.000 genes, creados a partir de cuatro letras químicas, es decir, cuatro moléculas orgánicas designadas por las letras A, T, G y C, que hacen referencia a adenina, timina, guanina y citosina. (A continuación, les he atribuido un color para identificarlas más fácilmente.) Estas cuatro bases químicas se asocian a moléculas de fósforo y de azúcar que constituyen los nucleótidos. La unión de estas cuatro letras permitirá formar —como si se tratara de un poema o una novela— las palabras de una frase y, a continuación, las frases del libro de la vida de las diferentes especies. Estas palabras o estas frases son comparables a lo que denominamos genes. Cada hebra de ADN producirá una secuencia formada por nucleótidos (potencialmente, existen 3.200 millones de pares de nucleótidos) que se transcribirán posteriormente en una molécula de ARN

(ácido ribonucleico), indispensable para la vida, para sintetizar la proteína.

Las cuatro letras formarán la doble hélice del ADN al combinarse en pares complementarios (A-T y G-C). Dicho de otro modo, una base azul (A) se une siempre a una base amarilla (T), igual que una base verde (G) se une obligatoriamente a una base roja (C). De esta manera la doble hélice logra transmitir su mensaje al ARN. Al traducir el mensaje (del libro), de algún modo, el ARN posibilita la producción de una proteína específica. La proteína servirá, por ejemplo, para crear las células del riñón o del corazón y para fabricar los órganos útiles para un ser vivo. El ARN, que tiene muchas funciones, puede transmitir todas las propiedades del ADN.

Cuando la célula se desdobra, forma nuevas hebras, copias perfectas de un mismo código genético. Así, el ADN duplicado es idéntico al original. Se dice que se replica. La proteína que se expresa en la célula transmite entonces una característica (un fenotipo) al organismo. No obstante, puede suceder que la copia presente errores. Por ejemplo, una base roja (C) que no se apareja con una base verde (G) y acaba uniéndose con una base amarilla (T). En ese caso hablamos de mutaciones genéticas.

ACETILACIÓN Y METILACIÓN

La acetilación de las histonas permite añadir o suprimir un pequeño grupo químico que se une a determinados aminoácidos que constituyen la base de las proteínas histonas. Esta modificación podrá acarrear la sobreexpresión de un gen o, por el contrario, su inhibición.

La hiperacetilación de las histonas por las enzimas llamadas «histonas acetiltransferasas» (o HAT) conduce a la activación de la transcripción de un determinado gen al descompactar la cromatina. Esta acción favorece la copia de los genes por el ARN polimerasa, que produce el ARN mensajero, una copia circulante del gen. En cambio, la desacetilación por parte de las enzimas llamadas «histonas desacetilasas» (o HDAC) se asocia a la inhibición de la transcripción.

La activación o la inhibición de los genes en los mecanismos epigenéticos

se produce mediante una especie de etiquetas químicas reversibles. Se habla de grupo metilo (CH₃) y de grupo acetilo (COCH₃). Estos dos grupos representan las llaves para abrir o cerrar los cajones e intervienen en la activación o la desactivación de determinados genes.

Por ejemplo, la acetilación del aminoácido lisina, que se encuentra en el extremo de la cadena de la proteína histona, neutraliza sus cargas positivas y modifica su tamaño, lo cual provoca un cambio en la forma de las proteínas y del tipo de interacción con el ADN. Esto reduce la afinidad entre histonas y ADN y favorece el acceso del gen al ARN polimerasa (que realiza copias del código genético) y a las moléculas de transcripción.

La metilación de las histonas, al impedir de algún modo la apertura del cajón, impide la síntesis de proteínas esenciales. Se dice que el gen es silenciado o inhibido. De este modo, puede entenderse el proceso epigenético de metilación del ADN, en el cual ciertas letras del código genético pueden leerse de manera diferente por la adición de un grupo metilo. Esta modificación de la expresión de los genes se lleva a cabo por enzimas específicas llamadas DNMT (ADN metiltransferasa). Estas enzimas pueden aportar los grupos químicos voluminosos, como los grupos metilo, que se fijan en el ADN y obstaculizan o taponan, así, los sitios que permitirían transcribir el ADN en ARN mensajero. Esta molécula transporta el mensaje hereditario (transmitido de generación en generación) del núcleo de las células al lugar de síntesis de las proteínas.

LOS INTERRUPTORES QUÍMICOS DE LA EPIGENÉTICA

Estos interruptores moleculares móviles que constantemente circulan por el organismo son moléculas funcionales de ARN. Denominadas «ARN no codificante», se transmiten bien a partir del ADN, pero no se traducen en proteínas. El ARN no codificante se divide en dos grupos: los ARN cortos (menos de 30 letras del código genético), en los que distinguimos los micro ARN y los ARN interferentes pequeños (siARN, por los vocablos en inglés *small interfering RNA*); y los ARN largos (más de 200 letras). Los ARN

juegan un papel fundamental en la epigenética, como complemento del proceso de metilación o de acetilación de las histonas. Son capaces de controlar los genes y, de hecho, pueden desencadenar o inhibir los procesos del metabolismo celular. Este reciente descubrimiento es un factor determinante de la comprensión de la epigenética.

¿Cómo un ARN corto silencia un gen? Después de transcribir un gen en ARN mensajero, una molécula de micro-ARN, modificada por la enzima DICER, se une al ARN mensajero, según la secuencia complementaria, y busca una proteína de escisión llamada RISC (Complejo de Silenciamiento Inducido por ARN). La RISC corta el ARN mensajero que no puede traducirse en proteínas, lo cual silencia al gen correspondiente.

Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría dar las gracias por su ayuda en la documentación, redacción y relectura del manuscrito, a Véronique Anger, presidenta fundadora del Forum Changer d'Ère y editora de mi libro *2020, les scénarios du futur*, por sus relecturas atentas, sus sugerencias de reescritura de algunos textos, su ayuda con la bibliografía y su interés por otras obras. A Danielle Gil, ayudante siempre conectada, positiva y pragmática en sus comentarios, por su constante interés en las nuevas ideas durante nuestras discusiones o sus relecturas. A mi esposa, Stella de Rosnay, coautora de *La Malbouffe* y de *Branchez-vous*, por su paciencia, sus críticas constructivas y su papel de ingenua ilustrada. Quiero dar también las gracias por sus valiosos consejos, comentarios y relecturas sucesivas del proyecto del libro a Henri Trubert, editor exigente y constructivo, a Jean Zin, François Vescia e Yves Cumunel por sus opiniones y observaciones oportunas; así como a Tatiana de Rosnay, Nicolas Jolly, Gilles Babinet, Thierry Moulonguet, Alexis Maurice y Jean Baptiste Corteel por su participación en los debates previos al libro y por sus reacciones y apreciaciones sobre los capítulos a medida que los iba escribiendo.

Notas

Introducción

[1] <<https://www.youtube.com/watch?v=XTyhB2QgjKg>>.

[2] Joël de Rosnay, «L'ADN d'Internet est-il modifiable de l'intérieur?», *Les Échos*, 2 de novembre de 2012.

1. Entender las bases de la epigenética

[1] Brian R. Herb *et al.*, «Reversible Switching between Epigenetic States in Honeybee Behavioral Subcastes», *Nature Neuroscience*, vol. 15, 2012, pp. 1371-1373.

[2] Sobre los marcadores químicos, véase el apartado «Definiciones» al final de este libro.

[3] Véase Joël de Rosnay, en colaboración con Fabrice Papillon, *Et l'homme créa la vie. La folle aventure des architectes et des bricoleurs du vivant*, LLL, 2010.

[4] Sobre la relación entre ADN, ARN y proteínas, véase el apartado «Definiciones» al final de este libro.

[5] Véase el apartado «Definiciones» al final de este libro.

[6] Sobre la acetilación y la metilación, véase el apartado «Definiciones» al final de este libro.

[7] Sobre los interruptores químicos de la epigenética, véase el apartado «Definiciones» al final de este libro.

[8] Véase el artículo colectivo de investigadores de Harvard, del MIT y de Stanford, «ADN non codant et épigénomique», *Nature*, vol. 518, 19 de febrero de 2015, pp. 317-330.

[9] Henri Atlan, *La Fin du tout génétique*, INRA Éditions, 1999.

[10] Henri Atlan, *L'Organisation biologique et la théorie de l'information*, Seuil, 2006.

[11] C. H. Waddington, «Canalization of Development and the Inheritance of Acquired Characters», *Nature*, vol. 150, 1942, pp. 563-565. L. Van Speybroeck, «From Epigenesis to Epigenetics: The Case of C. H. Waddington», *Ann N Y Acad Sci*, vol. 981, 2002, pp. 61-81.

[12] Véase el conjunto de referencias citadas en el artículo de P. A. Jones, J. P. J. Issa y S. Baylin, «Targeting the Cancer Epigenome for Therapy», *Nature Reviews Genetics*, vol. 17, n.º 10, 15 de septiembre de 2016, pp. 630-641.

[13] «Abeilles et reines: comment l'abeille devient reine», *Pour la science*, 8 de novembre de 2010.

[14] Wenfu Mao, Mary A. Schuler y May R. Berenbaum, «A Dietary Phytochemical Alters Caste-Associated Gene Expression in Honey Bees», *Science Advances*, vol. 1, n.º 7, 28 de agosto de 2015.

[15] Brian R. Herb *et al.*, «Reversible Switching between Epigenetic States in Honeybee Behavioral Subcastes», art. citado.

[16] E. O. Wilson, «The Origin and Evolution of Polymorphism in Ants», *Q Rev Biol*, vol. 28, 1953, pp. 136-156.

[17] «L'épigénétique pour reprogrammer le comportement social», <<http://www.dictionnaire-amoureux-des-fourmis.fr/E/Epigenetique/Bernanose%20Epigenetique-sante-log.pdf>>.

[18] «How Bees Decide What to Be: Reversible “Epigenetic” Marks Linked to Behavior Pattern», *Science Daily*, 16 de septiembre de 2012.

[19] Peter Wohlleben, *La Vie secrète des arbres*, Les Arènes, 2017; versión castellana de Margarita Gutiérrez, *La vida secreta de los árboles*, Obelisco, Barcelona, 2016.

[20] Mancuso Stefano, *Las raíces de la inteligencia vegetal*, charla TED, julio de 2010. Véase: <https://www.ted.com/talks/stefano_mancuso_the_roots_of_plant_intelligence>.

[21] F. Baluska, «Recent Surprising Similarities between Plant Cells and Neurons», *Plant Signal Behav*, vol. 5, n.º 2, febrero de 2010, pp. 87-89.

[22] Véase Peter Wohlleben, *La Vida secreta de los árboles*, *op. cit.*

[23] Francis Hallé, «Les plantes sont-elles des animaux comme les autres?», *Le Temps*, 16 de marzo de 2016.

[24] Lincoln Taiz, *Plant Physiology*, Sinauer Associates Inc., 1991.

2. Cómo cambiar tu vida: la epigenética en la práctica

[1] Rita Levi-Montalcini y Pietro U. Angeletti, «Essential Role of the Nerve Growth Factor in the Survival and Maintenance of Dissociated Sensory and Sympathetic Embryonic Nerve Cells *In Vitro*», *Developmental Biology*, vol. 7, 1963, pp. 653-659.

[2] «Associations of Fats and Carbohydrate Intake with Cardiovascular Disease and Mortality in 18 Countries from Five Continents (PURE): A Prospective Cohort Study», *The Lancet*, 29 de agosto de 2017.

[3] «Réduisez les glucides plutôt que les graisses», Futura Santé, 30 de agosto de 2017.

[4] «Olive Oil and Cardiovascular Health», Research Gate, octubre de 2009.

[5] Por ejemplo, el libro de Magali Walkowicz, *Céto cuisine*, Thierry Souccar Éditions, 2015, que contiene 150 recetas cetogénicas. La lista de alimentos cetogénicos está disponible en: <<http://regimeketo.com/principe-diete-cetogene/guide-des-aliments-cetogenes>>. Véase también el libro de Laurent Schwartz, *Cancer, un traitement simple et non toxique. Les premiers succès du traitement métabolique* (con prólogo del profesor Luc Montagnier, premio Nobel de medicina), Thierry Souccar Éditions, 2016; versión castellana de Pilar Guerrero, *Cáncer, un tratamiento sencillo y nada tóxico: los primeros éxitos del tratamiento metabólico*, Obelisco, Barcelona, 2017.

3. Nuestros amigos los microbios

[1] Giulia Enders, *Le Charme discret de l'intestin*, Actes Sud, 2015.

[2] Claudine Junien, «Qu'est-ce-que la nutriginétique?»,
<https://www.dailymotion.com/video/x7qtw2_claudine-junienqu-est-ce-que-la-nu_lifestyle>.

[3] Emeran A. Mayer, Rob Knight, Sarkis K. Mazmanian, John F. Cryan y Kirsten Tillisch, «Gut Microbes and the Brain: Paradigm Shift in Neuroscience», *J Neurosci*, vol. 34, n.º 46, 12 de noviembre de 2014.

[4] «Allergies et asthme chez l'enfant en milieu rural agricole», *Revue des Maladies Respiratoires*, vol. 27, n.° 10, décembre de 2010, pp. 1195-1220.

[5] I. Hanski, L. von Hertzen, N. Fyhrquist *et al.*, «Environmental Biodiversity, Human Microbiota and Allergy are Interrelated», *PNAS*, vol. 109, n.° 21, 2012, pp. 8334-8339.

4. Deporte, placer, meditación: las otras claves de la epigenética

[1] C. J. Sundberg *et al.*, «An Integrative Analysis Reveals Coordinated Reprogramming of the Epigenome and the Transcriptome in Human Skeletal Muscle after Training», *Epigenetics*, vol. 9, n.º 12, diciembre de 2014, pp. 1557-1569.

[2] Sobre caminar y el cerebro, véase <<http://neurosciencenews.com/neurobiology-walking-6487>>.

[3] William Glasser, «Positive Addiction», *Journal of Extension*, mayo-junio de 1977.

[4] Matthieu Ricard y Wolf Singer, *Cerveau et méditation: dialogue entre le bouddhisme et les neurosciences*, Allary Éditions, 2017; versión castellana de Vicente Merlo, *Cerebro y meditación: diálogo entre el budismo y las neurociencias*, Kairós, Barcelona, 2018.

[5] Perla Kaliman, María Jesús Álvarez-López, Marta CosínTomás, Melissa A. Rosenkranz, Antoine Lutz y Richard J. Davidson, «Rapid Changes in Histone Deacetylases and Inflammatory Gene Expression in Expert Meditators», *Psychoneuroendocrinology*, vol. 40, febrero de 2014, pp. 96-107.

[6] «Meditation and Heart Health», American Heart Association, mayo de 2017.

[7] Lois M. Collins, «Better than Morphine?», Wake Forest Brain Research Center, 7 de abril de 2011.

[8] «La communication non violente, mode d'emploi», *Psychologies*, 2011. Véase también la entrevista a Marshall Rosenberg, «Tout conflit peut se transformer en un dialogue paisible».

[9] Denyse Beaulieu, John Gottman y Nan Silver, *Les couples heureux ont leurs secrets*, Pocket, 2006; versión castellana de Elisa Sonia Tapia, *Siete reglas de oro para vivir en pareja*, Debolsillo, Barcelona, 2010.

[10] Michael Meaney, «A Mother Touch Can trigger Genes that Shape Stress Response», <<https://www.mendability.com/articles/amothers-touch-can-trigger-genes-that-shape-stress-response>>. Michael Meaney *et al.*, «Frequency of Infant Stroking Reported by Mothers Moderates the Effect of Prenatal Depression on Infant Behavioural and Physiological Outcomes», *PLoS ONE*, vol. 7, n.º 10, 2012.

[11] Bruce Lipton, *The Biology of Belief*, Hay House UK, 2015; versión castellana de Concepción Rodríguez, *La biología de la creencia: la liberación del poder de la conciencia, la materia y los milagros*, La Esfera de los Libros, Madrid, 2016; Dawson Church, *The Genie in Your Genes*, Energy Psychology Press, 2014; versión castellana de Grian, *El genio en sus genes: la medicina energética y la nueva biología de la intención*, Obelisco, Barcelona, 2008.

[12] Versión castellana de Juan Soler, *Los ángeles que llevamos dentro: el declive de la violencia y sus implicaciones*, Paidós, Barcelona, 2012.

[13] «Calidad del aire y salud», informe de la Organización Mundial de la Salud, septiembre de 2016.

[14] Estudio publicado por la Agencia de Salud Pública francesa.

[15] A. B. Csoka y M. Szyf, «Epigenetic Side-Effects of Common Pharmaceuticals: a Potential New Field in Medicine and Pharmacology», *Med Hypotheses*, vol. 73, n.º 5, noviembre de 2009, pp. 770-780.

[16] P. A. Bommarito, E. Martin y R. C. Fry, «Effects of prenatal exposure to endocrine disruptors and toxic metals on the fetal epigenome», *Epigenomics*, vol. 9, n.º 3, marzo de 2017, pp. 333- 350.

[17] «The Florence Statement on Triclosan and Triclocarban», *Environmental Health Perspectives*, vol. 125, n.º 6, junio de 2017, <<https://ehp.niehs.nih.gov/ehp1788>>.

[18] «Smoking, Heavy Alcohol Use Are Associated with Epigenetic Signs of Aging», *Science Daily*, 8 de octubre de 2015.

[19] Marc Montgomery, «Canadian Research Leads to New Discovery in Head and Neck Cancers», *RCI International*, 16 de enero de 2017.

5. Lamarck y Darwin, la reconciliación

[1] *Autobiografía*, versión castellana de Aarón Cohen, Alianza, Madrid, 1977.

[2] Bailey Kirkpatrick, «Epigenetic Tags on Serotonin Transporter Gene Linked to Stress», 6 de agosto de 2014.

[3] Jean-Pierre Changeux, Philippe Courrège y Antoine Danchin, «A Theory of the Epigenesis of Neuronal Networks by Selective Stabilization of Synapses», *Proc Natl Acad Sci USA*, vol. 70, n.º 10, octubre de 1973, pp. 2974-2978.

[4] Jean-Pierre Changeux, *L'Homme neuronal*, Fayard, 1983; versión castellana de Clara Janés, *El hombre neuronal*, Espasa, Barcelona, 1986.

[5] «L'épigénétique est-elle héréditaire?», Fond National Suisse de la Recherche Scientifique, 7 de diciembre de 2016.

[6] El glutamato es un neurotransmisor susceptible de afectar a los cambios estructurales en el cerebro que desempeña un papel fundamental en el proceso de conexión entre neuronas.

[7] C. Nasca *et al.*, «Stress Dynamically Regulates Behavior and Glutamatergic Gene Expression in Hippocampus by Opening a Window of Epigenetic Plasticity», *Proc Natl Acad Sci USA*, vol. 112, n.º 48, 1 de diciembre de 2015, pp. 14960-14965.

[8] Elizabeth A. Heller *et al.*, «Locus-Specific Epigenetic Remodeling Controls Addiction and Depression-Related Behaviors», *Nature Neuroscience*, vol. 17, 2014, pp. 1720-1727. «Sons of Cocaine Using Fathers Have Profound Memory Impairments», *Neuroscience News*, 15 de febrero de 2017, <<http://neurosciencenews.com/memoryimpairment-cocaine-dads-6157>>.

[9] Dawkins es mundialmente conocido por sus teorías científicas, así como por una de sus obras de título provocador publicada en 2006: *El espejismo de Dios*, traducción de Regina Hernández, Espasa, Barcelona, 2009.

[10] Richard Dawkins, *The Selfish Gene*, Oxford University Press, 1976; versión castellana de José Manuel Tola, *El gen egoísta*, Salvat, Barcelona, 2002.

6. Meme y memética: una nueva visión de la sociedad humana

[1] <<https://www.memetique.org>>.

[2] John Holland, *Emergence: From Chaos to Order*, Basic Books, 1999.

[3] Elizabeth Gibney, «Self-taught AI is Best yet at Strategy Game Go», *Nature News*, 18 de octubre de 2017.

[4] Stephen Hawking, «Una inteligencia artificial completa podría traducirse en el fin de la raza humana», BBC, 2 de diciembre de 2014.

[5] Véase Joël de Rosnay, *Surfer la vie. Comment sur-vivre dans la société fluide*, LLL, 2012.

[6] Joël de Rosnay, *Je cherche à comprendre. Les codes cachés de la nature*, LLL, 2016.

[7] Joël de Rosnay, «L'ADN d'Internet est-il modifiable de l'intérieur?», art. citado.

[8] Joël de Rosnay, *Surfer la vie, op. cit.*

[9] Versión castellana de María Cuadrado, *El ADN del innovador: claves para dominar las cinco habilidades que necesitan los innovadores*, Deusto, Barcelona, 2012.

[10] G. Brown, «Web Culture: Using Memes to Spread and Manipulate Ideas on a Massive Scale Interface», *Journal of Education, Community and Values*, vol. 13, 2013, <<http://commons.pacificu.edu/inter13/9>>.

[11] Roy F. Baumeister, Liqing Zhang y Kathleen D. Vohs, «Gossip as Cultural Learning», *Review of General Psychology*, vol. 8, n.º 2, junio de 2004, pp. 111-121.

[12] Luc Ferry, «L'indignation, premier carburant de l'audimat», *Le Figaro*, enero de 2013.

[13] El *culture jamming*, que podría traducirse como sabotaje cultural o desvío cultural, es el acto consistente en subvertir desde el interior el funcionamiento de un medio de comunicación de masas existente, utilizando el mismo método de comunicación empleado por ese medio.

[14] <<https://www.youtube.com/watch?v=vBQa4IUE5f4>>.

[15] Véase <<https://www.technologyreview.com/s/608341/how-the-gangnam-style-video-became-a-global-pandemic>>.

[16] Douglas Rushkoff, *Media Virus*, Ballantine Books, 1996.

[17] Douglas Rushkoff, «Donald Trump is a Media Virus, but we're the Ones Spreading him», Digital Trends, 17 de diciembre de 2016.

[18] Giacomo Rizzolatti y Corrado Sinigaglia, *Les Neurones miroirs*, Odile Jacob, 2008; versión castellana de Bernardo Moreno, *Las neuronas espejo: los mecanismos de la empatía emocional*, Paidós, Barcelona, 2006.

7. ¿Es posible un gobierno ciudadano?

[1] Joël de Rosnay, *Surfer la vie*, *op. cit.*

[2] «Afrique du Sud: Polémique sur la surfacturation de médicaments», RFI Afrique, 15 de junio de 2017.

[3] Véase el informe senatorial de Hugues Portelli y Jean-Pierre Sueur sobre los sondeos en materia electoral, octubre de 2011. Véase también Benjamin Ginsberg, «La transformación de la opinión pública por los sondeos», Center for Advanced Governmental Studies, Johns Hopkins University.

[4] Onur Varol *et al.*, «Online Human-Bot Interactions: Detection, Estimation, and Characterization», Center for Complex Networks and Systems Research, Indiana University, ArXiv, 27 de marzo de 2017, <<https://arxiv.org/pdf/1703.03107.pdf>>. *Et al.*, «The computational propaganda project», Working Papers Oxford, 11 de julio de 2017, <<http://comprop.oi.ox.ac.uk/publishing/working-papers/computational-propaganda-worldwide-executive-summary>>.

[5] Clifford Nass y Corina Yen, *The Man Who Lied to His Laptop: What We Can Learn About Ourselves from Our Machines*, Edition Current, 2012. Véase también Alina Turgend, «Praise Is Fleeting but Brickbats We Recall», *The New York Times*, 23 de marzo de 2012.

[6] Steven Pinker, *Los ángeles que llevamos dentro: el declive de la violencia y sus implicaciones*, op. cit.

[7] Lo ideal para estos medios de comunicación es la evolución en directo de la opinión pública gracias a las empresas de sondeos en relación con entrevistas, reuniones y tuits.

[8] Joël de Rosnay, «Vers une société de mise en scène de la peur», AgoraVox, 28 de octubre de 2005.

[9] Hara Estroff Marano, «Our Brain's Negative Bias: Why our Brains are More Highly Attuned to Negative News», *Psychology Today*, 20 de junio de 2003.

[10] Ray William, «Are We Hardwired to Be Positive or Negative?», *Psychology Today*, 30 de junio de 2014.

[11] Roy F. Baumeister y Ellen Bratslavsky, «Bad Is Stronger than Good», *Review of General Psychology*, vol. 5, n.º 4, 2011, pp. 323-370, <<http://assets.csom.umn.edu/assets/71516.pdf>>.

[12] Yuval Noah Harari, *Homo Deus*, Albin Michel, 2017; versión castellana de Joandomènec Ros, *Homo Deus: breve historia del mañana*, Debate, Barcelona, 2016.

8. Modificar colectivamente la expresión del ADN social

[1] Antoine d'Abbundo, «Les banques mutualistes jouent la carte de la différence», *La Croix*, 15 de febrero de 2016.

[2] Benoît Hamon, entonces ministro responsable de la economía social y solidaria, presentó ante el Consejo de Ministros el 24 de julio de 2013 un proyecto de ley sobre la economía social y solidaria que, en su opinión, podría crear 100.000 empleos. <<https://blogs.mediapart.fr/marianne-kraft/blog/240713/le-modele-cooperatif-une-alternativeau-capitalisme-et-au-socialisme-detat>>.

[3] Joël de Rosnay, *Surfer la vie, op. cit.*

[4] «L'économie sociale et solidaire», 15 de mayo de 2017, <<http://www.gouvernement.fr/action/l-economie-sociale-et-solidaire>>.

[5] Fuentes: Wikipedia y Scop.coop.

[6] <<http://irecus.recherche.usherbrooke.ca>>. André Martin también es profesor asociado de la Facultad de Administración adscrita al Departamento de Gestión y Recursos Humanos de la Universidad de Sherbrooke.

[7] <http://cursus.edu/dossiers-articles/articles/5436/andremartin-philosophie-cooperation/#.WWd7BBjpNp8>.

[8] Jeremy Rifkin, *La Nouvelle Société du coût marginal zéro*, LLL, 2014; versión castellana de Genís Sánchez, *La sociedad de coste marginal cero: el internet de las cosas, el procomún colaborativo y el eclipse del capitalismo*, Paidós Ibérica, Barcelona, 2014. Véase también Les Di@logues stratégiques: <<http://www.lesdialoguesstrategiques.com>>.

[9] Rutger Bregman, *Utopies réalistes*, Seuil, 2017; versión castellana de Javier Guerrero, *Utopía para realistas: a favor de la renta básica universal, la semana laboral de 15 horas y un mundo sin fronteras*, Salamandra, Barcelona, 2017.

[10] Se trata de productos comercializados que imitan, a sabiendas, las principales propiedades de un producto lanzado previamente con éxito por un competidor.

[11] Joël de Rosnay, «Les défis de la santé de demain: vers le patient augmenté», *La Tribune*, 23 de febrero de 2016.

[12] Marie-Anne Kraft, *La Révolution humaniste*, Salvator, 2011.

Bibliografía

- Laurent Alexandre, *La guerre des intelligences*, J. C. Lattès, 2017.
- Jean-Claude Ameisen, *Sur les épaules de Darwin. Les battements du temps*, Actes Sud, 2014.
- Henri Atlan, *La fin du «tout génétique»? Vers de nouveaux paradigmes en biologie*, INRA, 1999.
- , *L'organisation biologique et la théorie de l'information*, Seuil, 2006.
- Jacques Attali, *Vivement après-demain*, Fayard, 2016.
- Gilles Babinet, *Big Data, penser l'homme et le monde autrement*, Le Passeur, 2016.
- , *Transformation digitale: l'avènement des plateformes*, Le Passeur, 2016.
- Rutger Bregman, *Utopies réalistes*, Seuil, 2017; versión castellana de Javier Guerrero, *Utopía para realistas: a favor de la renta básica universal, la semana laboral de 15 horas y un mundo sin fronteras*, Salamandra, Barcelona, 2017.
- Jean-Pierre Changeux, *L'Homme neuronal*, Fayard, 1983; versión castellana de Clara Janés, *El hombre neuronal*, Espasa, Barcelona, 1986.
- Dawson Church, *The Genie in Your Genes. Epigenetic Medicine and the New Biology of Intention*, Energy Psychology Press, 2014; versión castellana de Grian, *El genio en sus genes: la medicina energética y la nueva biología de la intención*, Obelisco, Barcelona, 2008.
- Charles Darwin, *L'Autobiographie*, Seuil, 2008; versión castellana de Aarón

- Cohen, *Autobiografía*, Alianza, Madrid, 1977.
- , *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*, D. Appleton & Company, 1859; versión castellana de Antonio de Zulueta, *El origen de las especies*, Austral, Barcelona, 1998.
- Richard Dawkins, *The Selfish Gene*, Oxford University Press, 1976; versión castellana de José Manuel Tola, *El gen egoísta*, Salvat, Barcelona, 2002.
- , *The God Delusion*, Black Swan, 2006; versión castellana de Regina Hernández, *El espejismo de Dios*, Espasa, Barcelona, 2009.
- Giulia Enders y Jill Ender, *Le charme discret de l'intestin*, Actes Sud, 2015; versión castellana de Núria Ventosa, *La digestión es la cuestión: descubre los secretos del intestino, el órgano más infravalorado del cuerpo humano*, Urano, Madrid, 2015.
- Francis Hallé, *Éloge de la plante. Pour une nouvelle biologie*, Points, 2014.
- Étienne Klein, *Discours sur l'origine de l'univers*, Flammarion, colección Champs Sciences, 2016.
- Marie-Anne Kraft, *La révolution humaniste*, Salvator, 2011.
- Yuval Noah Harari, *Homo Deus. Une brève histoire de l'avenir*, Albin Michel, 2017, versión castellana de Joandomènec Ros, *Homo Deus: breve historia del mañana*, Debate, Barcelona, 2016.
- John H. Holland, *Emergence. From Chaos to Order*, Basic Books, 1999.
- Jean-Baptiste de Lamarck, *Recherches sur l'organisation des corps vivants*, Fayard, 1986; versión castellana de Francisco Iribarnegaray, *Investigaciones sobre la organización de los cuerpos vivos*, KRK Ediciones, Oviedo, 2016.
- Bruce H. Lipton, *The Biology of Belief*, Hay House, 2015; versión castellana de Concepción Rodríguez, *La biología de la creencia: la liberación del poder de la conciencia, la materia y los milagros*, La Esfera de los Libros, Madrid, 2016.
- Rita Levi-Montalcini y Pietro U. Angeletti, *Developmental Biology*, vol. 7, Elsevier, 1963.
- Thomas Robert Malthus, *Essai sur le principe de population*, edición de 1889, Hachette BnF, 2012; versión castellana de José A. Moral, *Ensayo*

- sobre el principio de la población*, Akal, Madrid, 1990.
- Gregor Mendel, *Experiments in Plant Hybridization*, Harvard University Press, 1965; versión castellana de Arturo Burkart, *Experimentos sobre híbridos en las plantas*, KRK Ediciones, Oviedo, 2008.
- Clifford Nass y Corina Yen, *The Man who Lied to His Laptop. What We Can Learn about Ourselves from our Machines*, Current, 2012.
- Steven Pinker, *La part d'ange en nous*, Les Arènes, 2017; versión castellana de Juan Soler, *Los ángeles que llevamos dentro: el declive de la violencia y sus implicaciones*, Paidós, Barcelona, 2012.
- Mathieu Ricard y Wolf Singer, *Cerveau et méditation. Dialogue entre le bouddhisme et les neurosciences*, Allary Éditions, 2017; versión castellana de Vicente Merlo, *Cerebro y meditación: diálogo entre el budismo y las neurociencias*, Kairós, Barcelona, 2018.
- Jeremy Rifkin, *The Zero Marginal Cost Society. The Internet of Things, the Collaborative Commons, and the Eclipse of Capitalism*, Palgrave Macmillan, 2014; versión castellana de Genís Sánchez, *La sociedad de coste marginal cero: el internet de las cosas, el procomún colaborativo y el eclipse del capitalismo*, Paidós Ibérica, Barcelona, 2014.
- Giacomo Rizzolatti y Corrado Sinigaglia, *Les neurones miroirs*, Odile Jacob, 2008; versión castellana de Bernardo Moreno, *Las neuronas espejo: los mecanismos de la empatía emocional*, Paidós, Barcelona, 2006.
- Joël de Rosnay, *Surfer la vie. Comment sur-vivre dans la société fluide*, Les Liens qui Libèrent, 2012.
- , en colaboración con Papillon Fabrice, *Et l'homme créa la vie. La folle aventure des architectes et des bricoleurs du vivant*, Les Liens qui Libèrent, 2010.
- , *Je cherche à comprendre... Les codes cachés de la nature*, Les Liens qui Libèrent, 2016.
- Douglas Rushkoff, *Media Virus*, Ballantine Books, 1996.
- Laurent Schwartz, *Cancer, un traitement simple et non toxique. Les premiers succès du traitement métabolique*, Thierry Souccar Éditions, 2016; versión castellana de Pilar Guerrero, *Cáncer, un tratamiento sencillo y nada tóxico: los primeros éxitos del tratamiento metabólico*, Obelisco,

- Barcelona, 2017.
- Lincoln Taiz, *Plant physiology*, Sinauer Associates Inc., U.S., 6.^a edición, 2014.
- Magali Walkowicz, *Céto cuisine: 150 recettes cétogènes*, Thierry Souccar Éditions, 2015.
- George C. Williams, *Adaptation and Natural Selection. A Critique of Some Current Evolutionary Thought*, Princeton University Press, 1966.
- Peter Wohlleben, *La vie secrète des arbres*, Les Arènes, 2017; versión castellana de Margarita Gutiérrez, *La vida secreta de los árboles*, Obelisco, Barcelona, 2016.

ARTÍCULOS

- Antoine d'Abundo, «Les banques mutualistes jouent la carte de la différence», *La Croix*, 15 de febrero de 2016.
- American Society of Human Genetics, «Smoking, Heavy Alcohol Use Are Associated with Epigenetic Signs of Aging», *Science Daily*, 8 de octubre de 2015.
- Véronique Anger-de Friberg, «Après la Révolution numérique, ou: Le capitalisme se meurt, vive les communaux collaboratifs!», *Les Di@logues Stratégiques*, 28 de septiembre de 2014.
- Ian T. Baldwin y Jack C. Schultz, «Rapid Changes in Tree Leaf Chemistry Induced by Damage: Evidence for Communication between Plants», *Science*, 15 de julio de 1983.
- Karen L. Bales, Ericka Boone, Pamela Epperson, Gloria Hoffman y Sue Carter C., «Are Behavioral Effects of Early Experience Mediated by Oxytocin?», *Frontiers in Psychiatry*, 9 de mayo de 2011.
- František Baluška, «Recent Surprising Similarities between Plant Cells and Neurons», *Plant Signal & Behavior*, febrero de 2010.
- Roy F. Baumeister, Liqing Zhang y Kathleen D. Vohs, «Gossip as Cultural Learning», *Review of General Psychology*, junio de 2004.
- Roy F. Baumeister, Ellen Bratslavsky, Catrin Finkenauer y Kathleen D.

- Vohs, «Bad is Stronger Than Good», *Review of General Psychology*, 2001.
- P. A. Bommarito, E. Martin y R. C. Fry, «Effects of Prenatal Exposure to Endocrine Disruptors and Toxic Metals on the Fetal Epigenome», *Epigenomics*, marzo de 2017.
- Gavin Brown, «Web Culture: Using Memes to Spread and Manipulate Ideas on a Massive Scale», *Interface: The Journal of Education, Community and Values*, 5 de octubre de 2013.
- Jean-Pierre Changeux, Philippe Courrège y Antoine Danchin, «A Theory of the Epigenesis of Neuronal Networks by Selective Stabilization of Synapses», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, octubre de 1973.
- Lois M. Collins, «Better Than Morphine? Even Amateurs Learn to Meditate Pain Away, Says Wake Forest Brain Research», *Deseret News*, 7 de abril de 2011.
- Maria-Isabel Covas, Valentini Konstantinidou y Montserrat Fitó, «Olive Oil and Cardiovascular Health», *Journal of Cardiovascular Pharmacology*, 1 de diciembre de 2009.
- Antoine B. Csoka y Moshe Szyf, «Epigenetic Side Effects of Common Pharmaceuticals: A Potential New Field in Medicine and Pharmacology», *Medical Hypotheses*, noviembre de 2009.
- Hara Estroff Marano, «Our Brain's Negative Bias: Why Our Brains Are More Highly Attuned to Negative News», *Psychology Today*, 20 de junio de 2003.
- Luc Ferry, «L'indignation, premier carburant de l'audimat», *Le Figaro*, 30 de enero de 2013.
- Marie-Céline Jacquier, «Régime: réduisez les glucides plutôt que les graisses», *Futura Santé*, 30 de agosto de 2017.
- Richard A. Friedman, «Infidelity Lurks in your Genes», *The New York Times*, 22 de mayo de 2015.
- Elizabeth Gibney, «Self-Taught AI Is Best yet at Strategy Game Go», *Nature*, 18 de octubre de 2017.
- Benjamin Ginsberg, «Les sondages et la transformation de l'opinion

- publique», Center for Advanced Governmental Studies, Universidad Johns Hopkins, 2001.
- William Glasser, «Positive Addiction», *Journal of Extension*, mayo-junio de 1977.
- Stephen Hawking, «Una inteligencia artificial completa podría traducirse en el fin de la raza humana», BBC, 2 de diciembre de 2014.
- Brian R. Herb, Florian Wolschin, Kasper D. Hansen, Martin J. Aryee, Ben Langmead, Rafael Irizarry, Gro V. Amdam y Andrew P. Feinberg, «Reversible Switching between Epigenetic States in Honeybee Behavioral Subcastes», *Nature Neuroscience*, 16 de septiembre de 2012.
- Marion Hulin e Isabella Annesi-Maesano, «Allergies et asthme chez l'enfant en milieu rural agricole», *Revue des Maladies Respiratoires*, diciembre de 2010.
- Peter A. Jones, Jean-Pierre J. Issa y Stephen Baylin, «Targeting the Cancer Epigenome for Therapy», *Nature Reviews Genetics*, 15 de septiembre de 2016.
- Perla Kaliman, María Jesús Álvarez-López, Marta Cosín Tomás, Melissa A. Rosenkranz, Antoine Lutz y Richard J. Davidson, «Rapid Changes in Histone Deacetylases and Inflammatory Gene Expression in Expert Meditators», *Psychoneuroendocrinology*, febrero de 2014.
- Bailey Kirkpatrick, «Epigenetic Tags on Serotonin Transporter Gene Linked to Stress», *What Is Epigenetics*, 6 de agosto de 2014.
- Sylvie Lapostolle, «Le tabagisme induit des modifications des gènes associés au cancer», Comité National Contre le Tabagisme, 13 de octubre de 2010.
- Catherine Maillard, «La communication non violente mode d'emploi», *Psychologies*, octubre de 2011.
- Emeran A. Mayer, Rob Knight, Sarkis K. Mazmanian, John F. Cryan y Kirsten Tillisch, «Gut Microbes and the Brain: Paradigm Shift in Neuroscience», *Journal of Neuroscience*, 12 de noviembre de 2014.
- Michael Meaney, Helen Sharp, Andrew Pickles, Kate Marshall, Florin Tibu y Jonathan Hill, «Frequency of Infant Stroking Reported by Mothers Moderates the Effect of Prenatal Depression on Infant Behavioural and Physiological Outcomes», *PLOS ONE*, 16 de octubre de 2012.

- Syed M. Meeran, Amiya Ahmed y Trygve O. Tollefsbol, «Epigenetic Targets of Bioactive Dietary Components for Cancer Prevention and Therapy», *Clinical Epigenetics*, 18 de septiembre de 2010.
- Marc Montgomery, «Canadian Research Leads to New Discovery in Head and Neck Cancers», Radio Canada International, 16 de enero de 2017.
- Edgar Morin, «Pour une anthropolitique», *Variations*, 9 de octubre de 2007.
- Carla Nasca, Danielle Zelli, Benedetta Bigio, Sonia Piccinin, Sergio Scaccianoce, Robert Nistico y Bruce S. McEwen, «Stress Dynamically Regulates Behavior and Glutamatergic Gene Expression in Hippocampus by Opening a Window of Epigenetic Plasticity», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1 de diciembre de 2015.
- Jean-Jacques Perrier, «Comment l'abeille devient reine», *Pour la Science*, 8 de noviembre de 2010.
- Alexandre Roberge, «André Martin ou la philosophie de la coopération», *Thot Cursus*, 12 de octubre de 2010.
- Joël de Rosnay, «L'ADN d'Internet est-il modifiable de l'intérieur?», *Les Échos*, 2 de noviembre de 2012.
- , «Vers une société de mise en scène de la peur», *AgoraVox*, 28 de octubre de 2005.
- , «Les défis de la santé de demain: vers le patient augmenté», *La Tribune*, 23 de febrero de 2016.
- Douglas Rushkoff, «Donald Trump Is a Media Virus, but We're the Ones Spreading Him», *Digital Trends*, 17 de diciembre de 2016.
- Gil Sharon, Timothy R. Sampson, Daniel H. Geschwind y Sarkis K. Mazmanian, «The Central Nervous System and the Gut Microbioma», *Cell Press*, 3 de noviembre de 2016.
- Ori Schipper, «L'épigénétique est-elle héréditaire?», *Horizons*, Fondo Nacional Suizo de la Investigación Científica, 7 de diciembre de 2016.
- C. J. Sundberg, M. E. Lindholm, F. Marabita, D. Gomez Cabrero, H. Rundqvist, T. J. Ekström y J. Tegner, «An Integrative Analysis Reveals Coordinated Reprogramming of the Epigenome and the Transcriptome in Human Skeletal Muscle after Training», *Epigenetics*, 7 de diciembre de 2014.

- Stéphanie Torre, «Tout conflit peut se transformer en un dialogue paisible», *Psychologies*, diciembre de 1999.
- Alina Tugend, «Praise Is Fleeting, but Brickbats We Recall», *The New York Times*, 23 de marzo de 2012.
- Linda Van Speybroeck, «From Epigenesis to Epigenetics: the Case of C. H. Waddington», *Annals of the New York Academy of Sciences*, diciembre de 2002.
- Onur Varol, Emilio Ferrara, Clayton A. Davis, Filippo Menczer y Alessandro Flammini, «Online Human-Bot Interactions: Detection, Estimation, and Characterization», Center for Complex Networks and Systems Research, Indiana University Bloomington, 27 de marzo de 2017.
- Conrad Hal Waddington, «Canalization of Development and the Inheritance of Acquired Characters», *Nature*, 14 de noviembre de 1942.
- Mao Wenfu, Mary A. Schuler y May R. Berenbaum, «A Dietary Phytochemical Alters Caste-Associated Gene Expression in Honey Bees», *Science Advances*, 28 de agosto de 2015.
- Ray Williams, «Are We Hardwired to Be Positive or Negative?», *Psychology Today*, 30 de junio de 2014.
- E. O. Wilson, «The Origin and Evolution of Polymorphism in Ants», *Quarterly Review of Biology*, junio de 1953.
- Samuel C. Woolley y Philip N. Howard, «Computational Propaganda Project: Executive Summary», University of Oxford, 11 de julio de 2017.
- «Meditation and Heart Health», American Heart Association, 2 de mayo de 2017.
- «The Florence Statement on Triclosan and Triclocarban», *Environmental Health Perspectives*, junio de 2017.
- «How the “Gangnam Style” Video Became a Global Pandemic», *MIT Technology Review*, 25 de julio de 2017.
- «Locus-Specific Epigenetic Remodeling Controls Addiction and Depression-Related Behaviors», *Nature Neuroscience*, 27 de octubre de 2014.
- «Sons of Cocaine Using Fathers Have Profound Memory Impairments», *Neuroscience News*, 15 de febrero de 2017.
- «Integrative Analysis of 111 Reference Human Epigenomes», *Nature*, 18 de

febrero de 2015.

- «How Walking Benefits the Brain», *Neuroscience News*, 24 de abril de 2017.
- «Environmental Biodiversity, Human Microbiota and Allergy Are Interrelated», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 22 de mayo de 2012.
- «A mother's touch can trigger genes that shape her child's stress response», *Research News*, 2008.
- «Afrique du sud: polémique sur la surfacturation de médicaments», *RFI Afrique*, 15 de junio de 2017.
- «L'épigénétique pour reprogrammer le comportement social», *Santé blog*, 4 de enero de 2016.
- «How Bees Decide What to Be: Reversible "Epigenetic" Marks Linked to Behavior Pattern», *Science Daily*, 16 de septiembre de 2012.
- «Associations of Fats and Carbohydrate Intake with Cardiovascular Disease and Mortality in 18 Countries from Five Continents (PURE): A Prospective Cohort Study», *The Lancet*, 29 de agosto de 2017.
- «L'économie sociale et solidaire», sitio web del gobierno francés, 15 de mayo de 2017.

INFORMES

- «Qualité de l'air ambiant et santé», Organización Mundial de la Salud, informe, septiembre 2016.
- Portelli Hugues y Sueur Jean-Pierre, Informe del Senado sobre las encuestas electorales, 20 de octubre de 2010.

VÍDEOS

- Mancuso Stefano, *Las raíces de la inteligencia de las plantas*, charla TED, julio de 2010. Véase: https://www.ted.com/talks/stefano_mancuso_the_roots_of_plant_intellig

[language=es](#)>.

Junien Claudine, *Qu'est-ce que la nutrigenómica?*, Dailymotion, 16 de diciembre de 2008. Véase: https://www.dailymotion.com/video/x7qtw2_claudine-junien-qu-est-ce-que-la-nu_lifestyle>.

Peretti Jonah, *How BuzzFeed founder Jonah Peretti learned to make things go viral*, YouTube, 9 de enero de 2016. Véase: <https://www.youtube.com/watch?v=vBQa4IUE5f4>>.

Epigenética

Joël de Rosnay

No se permite la reproducción total o parcial de este libro, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio, sea este electrónico, mecánico, por fotocopia, por grabación u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito del editor. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (Art. 270 y siguientes del Código Penal)

Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos) si necesita reproducir algún fragmento de esta obra.

Puede contactar con CEDRO a través de la web www.conlicencia.com o por teléfono en el 91 702 19 70 / 93 272 04 47.

Título original: *La symphonie du vivant*

© 2018, Joël de Rosnay

© 2018, Les Liens qui Libèrent

© 2019, Jorge Paredes Soberón, por la traducción

Diseño de la cubierta: © Planeta Arte & Diseño

Imagen de la cubierta: © Shuoshu/Getty Images

© Editorial Planeta, S. A., 2019

Av. Diagonal, 662-664, 08034 Barcelona (España)

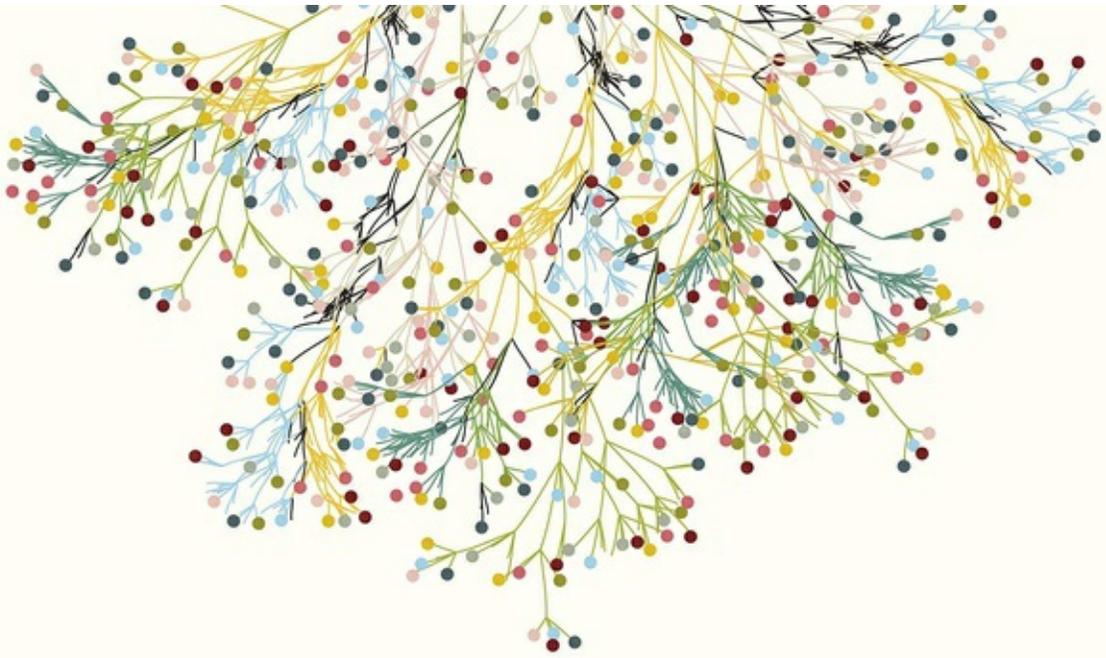
www.editorial.planeta.es

www.planetadelibros.com

Primera edición en libro electrónico (epub): mayo de 2019

ISBN: 978-84-344-3109-6 (epub)

Conversión a libro electrónico: El Taller del Libro, S. L.
www.eltalldellibre.com



JÖEL DE ROSNAY

Epigenética

La ciencia que cambiará tu vida

