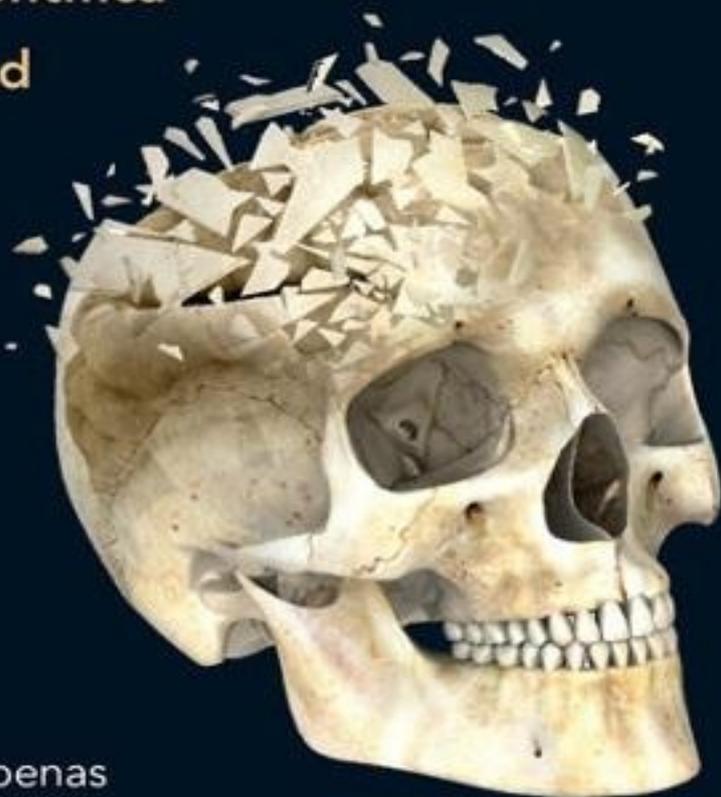


José Luis Cordeiro y David Wood

Prólogo de Aubrey de Grey / Epílogo de Antonio Garrigues Walker

LA MUERTE DE LA MUERTE

La posibilidad científica
de la inmortalidad
física y su
defensa
moral



¿Será la muerte, en apenas
unas décadas, algo opcional?
¿Será posible detener el envejecimiento?
¿Podremos curar el cáncer o el alzheimer?

Lectulandia

Gracias a los avances tecnológicos, a mediados de este siglo seremos capaces de parar el proceso de envejecimiento y extender indefinidamente la esperanza de vida. Algunos científicos como el biogerontólogo Aubrey de Grey están ya empezando a hablar por primera vez en la historia de que el envejecimiento es una enfermedad curable.

La media de la esperanza de vida ha aumentado radicalmente en las últimas décadas gracias a la medicina regenerativa, los tratamientos con células madre, las terapias genéticas, la impresión 3D de órganos, la bioingeniería, la nanotecnología molecular, las drogas antiedad o las hormonas de crecimiento, entre otros progresos. Compañías como Google ya se han dado cuenta de que curar el envejecimiento es posible y por eso están creando empresas como Calico o Human Longevity que investigan sobre ello, pero también empresas sin ánimo de lucro como la Fundación Methuselah.

La prueba de que todo esto es posible es que ya existe en la naturaleza. Algunas células ya son inmortales y las células madre poseen la cualidad de reproducirse indefinidamente, al igual que las células cancerígenas. Y lo mismo ocurre con organismos como las Hydras o algunas especies de medusas, que si no se las mata, no morirían nunca. Los autores sostienen en este libro que en un par de décadas, hacia 2045, llegaremos a la «muerte de la muerte», donde esta será opcional. Moriremos a causa de accidentes, pero nunca por muerte natural.

Nos dirigimos hacia un futuro donde la muerte no tendrá dominio. Casi nadie en el mundo entiende esto, pero los autores lo entienden muy bien, con una perspectiva global y un excelente conocimiento de los nuevos avances científicos.

La muerte de la muerte nos muestra el camino a seguir, a lo largo de los muchos caminos tecnológicos y personales, a la promesa de una vida más larga y más saludable.

Lectulandia

Jose Luis Cordeiro y David Wood

La muerte de la muerte

La posibilidad científica de la inmortalidad física y su defensa moral

ePub r1.0

maherran 17.07.2018

Título original: *La muerte de la muerte*
Jose Luis Cordeiro y David Wood, 2018

Editor digital: maherran
ePub base r1.2

más libros en lectulandia.com

La muerte de la muerte es un libro visionario que nos enfrenta a la terrible realidad del envejecimiento, y sus autores son amigos y conocedores del tema...

Estoy convencido de que el mundo hispanoparlante jugará un papel importante en la guerra contra el envejecimiento en la próxima década. También creo que la descripción autorizada y exhaustiva de esta cruzada que José Luis Cordeiro y David Wood hacen en este excelente libro acelerará este proceso. ¡Adelante!

AUBREY DE GREY, cofundador de la Fundación para la Investigación SENS y coautor de *El fin del envejecimiento*

La muerte de la muerte es un libro que merece la pena leer — espero que así lo haya hecho el lector— con ganas, con un amplio sentido crítico y con algún cuidado. No es un libro suave, ni fácil. Es un libro comprometido y en esta época estos libros son un alimento intelectual necesario.

ANTONIO GARRIGUES WALKER, presidente de honor del despacho de abogados Garrigues

Estamos entrando en un *Viaje Fantástico* hacia la extensión de la vida, cruzando diferentes puentes que nos llevarán a una vida indefinida. *La muerte de la muerte* explica con claridad cómo pronto podremos alcanzar la velocidad de escape de la longevidad y vivir el tiempo suficiente para vivir para siempre.

RAY KURZWEIL, cofundador de Singularity University y autor de *La Singularidad está cerca*

Este maravilloso libro presenta un caso convincente para una extensión de la vida verdaderamente sin precedentes. *La muerte de la muerte* muestra cómo ha llegado el momento de que la Muerte pruebe su propia medicina.

TERRY GROSSMAN, coautor con Ray Kurzweil de

Fantastic Voyage: Live Long Enough to Live Forever

La muerte de la muerte ofrece una visión maravillosa de cómo los impresionantes avances científicos en la investigación sobre el envejecimiento y otros campos pueden abolir la muerte humana por medios científicos y por qué este es el camino correcto para la humanidad.

JOÃO PEDRO DE MAGALHÃES, experto en longevidad de la Universidad de Liverpool

La muerte de la muerte se ocupa de una de las máximas prioridades morales hoy: frenar y detener el envejecimiento y la muerte. A medida que se hace más claro el caso para la viabilidad científica de estos avances, aumenta cada vez más la importancia de explicar y comprender las implicaciones. *La muerte de la muerte* cumple ese importante papel.

ANDERS SANDBERG, profesor del Instituto del Futuro de la Humanidad de la Universidad de Oxford

La muerte de la muerte reúne investigaciones fundamentales y perspectivas nuevas para un futuro en el que viviremos mucho más de lo que creemos que es posible hoy en día.

JEROME GLENN, CEO del Millennium Project y autor principal del *Estado del Futuro*

Es un hecho que la ciencia de la longevidad está alcanzando ahora la aspiración de que la mayoría de las personas puedan disfrutar vidas más largas con buena salud. Muy pronto esto se convertirá en una realidad como explica brillantemente el nuevo libro *La muerte de la muerte*: una lectura obligada para cualquier persona interesada en la evolución de la nueva ciencia que llamo «juvenescencia».

JIM MELLON, emprendedor biotecnológico y coautor de *Juvenescence*

La muerte de la muerte es un libro crítico para cualquiera que esté vivo y quiera permanecer así. Ofrece una visión clara, rica y entretenida de las perspectivas a corto plazo sobre las tecnologías para eliminar el envejecimiento y la muerte. Estoy

convencido de que *La muerte de la muerte* ayudará mucho para avanzar la comprensión internacional sobre cómo la tecnología va a eliminar la muerte, y por qué esto es algo tremendamente bueno para todos.

BEN GOERTZEL, presidente de Humanity+ y CEO de SingularityNET

La muerte de la muerte es, en efecto, un gran libro que todos deberían leer. Sobre todo los más jóvenes, porque ya podrán beneficiarse de los resultados de la investigación que estarán disponibles en un futuro próximo, como maravillosamente describe *La muerte de la muerte*. A pesar de que yo soy ahora una persona mucho mayor, estoy muy feliz de conocer estos desarrollos porque mis hijos y nietos tendrán la gran oportunidad de vivir vidas mucho más largas, si así lo desean.

HEITOR GURGULINO DE SOUZA, presidente de la World Academy of Art and Science

La última frontera que nos queda es derogar la muerte. Unamuno, lleno de amargura, hablaba de la muerte como un «sentimiento trágico». Tal vez no lo sea más en el futuro. *La muerte de la muerte* explica los entresijos de esta batalla y las posibilidades reales de ganarla. Cuando comencé a leer su libro me dominaba el escepticismo. En la medida que fui conociendo sus argumentos e información, el optimismo me conquistó. Hoy creo que es posible, incluso probable, que esta generación se asome a la muerte de la muerte.

CARLOS ALBERTO MONTANER, analista internacional y coautor del *Manual del Perfecto Idiota Iberoamericano*

Me voy a morir, y creo que todos los que conozco van a morir también. Eso no quita que *La muerte de la muerte* sea un libro muy interesante, porque es probable que las siguientes generaciones vivan, en promedio, mucho más de lo que esperan. La tecnología avanza a pasos agigantados (a menos de que estés esperando una cura inmediata), y por tanto es importante el debate de qué hacer con mucho más, y más, vida. Lee *La muerte de la muerte* y ponte a pensar...

JUAN ENRÍQUEZ, autor de *As The Future Catches You* y *Evolving Ourselves*

No tengo la competencia científica para saber si lo que explica *La muerte de la muerte* es viable, pero sí sé que difícilmente encontraremos en nuestros días unos provocadores, soñadores y agitadores de conciencias más temibles que estos autores. Este libro tremebundo, que explica con sencillez asuntos complejos, es la mejor prueba.

ÁLVARO VARGAS LLOSA, analista internacional y coautor del *Manual del Perfecto Idiota Iberoamericano*

La muerte de la muerte es un libro sumamente provocador, que abre un interesante debate sobre el impacto social y ético de la extensión de la vida.

GIUSEPPE TRINGALI, vicepresidente del Consejo Asesor Internacional del IE Business School

Visionario, inspirador y provocador del pensamiento, *La muerte de la muerte* nos lleva a un mundo nuevo, lleno de sorprendentes y excepcionales perspectivas y posibilidades para el ser humano.

Solo leerlo inspira y da la energía para seguir sus consejos para una vida de mayor calidad y mucho más duradera. Asombran la inimaginable diversidad de ramificaciones que tiene la extensión de la vida saludable.

GERARDO SEELIGER, atleta olímpico, cofundador de Seeliger y Conde y presidente del Club Siglo XXI

La muerte de la muerte pone el foco en una de las grandes aspiraciones de la humanidad: la inmortalidad. Basada en datos científicos, abre la esperanza a una vida más larga y en mejores condiciones físicas y mentales. Una eterna juventud que nos plantea interrogantes por cómo vivirla en un planeta que puede tener los recursos limitados. Abre la puerta a interesantes debates éticos y morales sobre el futuro. Lo que parecía una realidad imposible se nos muestra al alcance de la mano y eso siempre da vértigo.

CARMEN SASTRE BELLAS, Directora de
Contenidos Informativos de Radiotelevisión Española
(RTVE)

La muerte de la muerte es una obra sumamente interesante y estimulante que renueva, con sólidos argumentos científicos, nuestra esperanza de alargar y mejorar nuestra vida, ¿quién sabe si algún día para siempre? ¡Larga vida a la vida!

JAVIER VEGA DE SEOANE, presidente de DKV
Seguros y presidente del Club de Empresarios de
España

La muerte de la muerte presenta una propuesta disruptiva sobre la abolición de la muerte e incluye referencias de grandes avances científicos en la investigación sobre el envejecimiento con el fin de vencerla, generando una nueva visión de vida para la humanidad a largo plazo.

ISMAEL CALA, fundador de Cala Enterprises y
pionero del concepto de la felicidad corporativa

Leer *La muerte de la muerte* nos conduce de la incredulidad a la posibilidad de lo impensable. Si observo mi país, Chile, en 1920 la esperanza de vida fue de treinta y dos años y alcanzará ochenta y tres en 2020. Muy pronto será cien. Los antecedentes científicos que entrega el libro convencen que avanzar a los doscientos es posible, y será en plazos cada vez más breves.

SERGIO BITAR, exministro chileno con tres
presidentes y *senior fellow* del Diálogo
InterAmericano

La muerte de la muerte habla de avanzar, de dar respuestas, de querer entender para poder actuar y paliar el sufrimiento y la enfermedad. Son muchas las preguntas que aún están sin responder, y son los científicos, exploradores de lo desconocido, los que con rigor y seriedad nos ayudarán a encontrar las respuestas. Estoy segura de que los avances científicos y tecnológicos a los que estamos asistiendo, nos van a llevar a un futuro próximo apasionante y muy estimulante.

CARMEN SIMÓN MATEO, científica del CSIC y

presidenta de Apadrina la Ciencia

La muerte no existe; ni para los creyentes ni para ciertos biólogos y físicos cuánticos; pero mientras estemos aquí, nuestra obligación como científicos y humanos en su fase neolítica, es cuidar y acariciar la vida, alargar los telómeros hasta donde podamos; perfeccionar los nanochips que potencien memoria, entendimiento y voluntad. Tal vez «criopreservados». *La muerte de la muerte* es un libro singular —nunca mejor dicho—, absorbente, vivificante, sugestivo. Porque los indicios son esperanzadores para matar el tiempo de la muerte. Tal vez yo tenga que utilizar la vía de la resurrección. Y entonces, al regresar de ese sueño, encuentre felices y vitales, a los transhumanistas que la ciencia hubiese podido rescatar del «sueño eterno». Y así será... ¡si Dios quiere!

CARLOS ENRIQUE RODRÍGUEZ JIMÉNEZ, médico
endocrinólogo, presidente de la Escuela de
Pensamiento de Silos, abadía benedictina

Los autores son dos de las principales luces del movimiento futurista mundial. *La muerte de la muerte* considera las tecnologías y las cuestiones éticas que harán que este libro se convierta en una referencia sobre la longevidad humana para educadores y políticos.

MARTINE ROTHBLATT, fundadora de United
Therapeutics y autora de *Virtually Human*

El avance en el conocimiento científico ha permitido incrementar la duración de la vida de moscas, gusanos y ratones, ¿estará cerca su aplicación en humanos? *La muerte de la muerte* es un libro perturbador y desafiante que discute estos temas y las sorprendentes consecuencias médicas, sociales, éticas y económicas que podría tener alcanzar la inmortalidad. Incluso los escépticos como yo lo van a disfrutar: ¡te morirás por leerlo!

INÉS ANTÓN GUTIÉRREZ, científica del CSIC y
directora de Apadrina la Ciencia

La muerte de la muerte es un admirable libro que anticipa un

nuevo paradigma de la especie humana, que entrará en plena simbiosis con las tecnologías disruptivas y la inteligencia artificial, y que permitirá alcanzar una longevidad extrema.

MANUEL DE LA PEÑA, presidente del Instituto Europeo de Salud y Bienestar Social

Decía el moralista francés Jean de La Bruyère que «la muerte no llega más que una vez, pero se hace sentir en todos los momentos de la vida». Por eso *La muerte de la muerte* no es solo un apasionante viaje científico; es también el inicio de una inquietante y estremecedora reflexión sobre la naturaleza misma del ser humano, sobre la ética, la filosofía y la religión, sobre la economía, la política y la forma de estar en el mundo, si es que algún día el hombre puede llegar a decidir no morir.

ENRIQUE SÁNCHEZ DE LEÓN, director general de la Asociación para el Progreso de la Dirección (APD)

Hemos visto avances increíbles en nuestra comprensión del envejecimiento en los últimos años. ¿Qué veremos en los próximos años? ¿Seremos capaces de curar el envejecimiento? Y si es así, ¿cuándo? Si quieres saberlo, *La muerte de la muerte* es tu libro.

ZOLTAN ISTVAN, excandidato presidencial de Estados Unidos y autor de *The Transhumanist Wager*

Leer este libro es la mejor manera de comenzar un nuevo día lleno de vida y de oportunidades. De producirse a corto plazo el rejuvenecimiento, hay que comenzar ya mismo a considerar esta extensión de la vida que los autores nos ofrecen en *La muerte de la muerte*.

DIEGO ARRIA, expresidente del Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas

Con entusiasmo recomiendo *La muerte de la muerte* a nuestros seguidores y también a los escépticos que no se dan cuenta de cuán cerca está la ciencia para erradicar el envejecimiento biológico para siempre.

BILL FALOON, cofundador de Life Extension

Alargar los telómeros podría ser una de las claves para curar el envejecimiento y detener la disminución de la salud. Lee *La muerte de la muerte* y descubre cómo podremos detener y revertir el envejecimiento.

BILL ANDREWS, fundador de Sierra Sciences y
coautor de *Curing Aging*

A medida que la medicina se convierte en una tecnología de la información, las terapias genéticas y celulares nos permiten manipular las células con mayor precisión. Gracias a la aceleración exponencial de estas capacidades, se eliminará el envejecimiento y, con ello, la muerte. *La muerte de la muerte* explica los detalles de esta empresa, y cómo la humanidad pronto vivirá lo suficiente como para vivir para siempre.

ELIZABETH PARRISH, fundadora de BioViva y
«paciente cero» en tratamientos de telomerasa

El envejecimiento es la causa principal de casi todas las enfermedades y la muerte, por lo que acelerar el progreso en la biotecnología de la longevidad es la causa más altruista que cualquiera puede perseguir. Vivimos en el momento más emocionante de la historia de la humanidad, ya que podemos aumentar sustancialmente la longevidad productiva en nuestra vida. *La muerte de la muerte* presenta los muchos argumentos morales y económicos para eliminar la muerte tal como la conocemos y analiza las tendencias recientes en la ciencia que pueden acercarnos a este objetivo. Lee este libro y únete a la revolución contra el envejecimiento: el verdadero emperador de todas las enfermedades.

ALEX ZHAVORONKOV, fundador de Insilico
Medicine y director de Biogerontology Research
Foundation

La muerte de la muerte es una llamada a la acción. Si las nuevas tecnologías de longevidad se pueden desarrollar más rápido, se salvarán muchas vidas. Es un mensaje importante y humanitario que todos deben escuchar.

SONIA ARRISON, cofundadora asociada de
Singularity University y autora de *100 Plus*

¿Es la Fuente de la Juventud un sueño imposible? Sí... hasta ahora. Hoy en día, con las tecnologías exponenciales emergentes, es solo cuestión de tiempo. *La muerte de la muerte* muestra cómo y por qué disfrutar de una juventud indefinida.

DAVID KEKICH, presidente de Maximum Life
Foundation y autor de Life Extension Express

La muerte de la muerte nos deja sin escapatorias: tendremos que aprender a disfrutar de una vida más plena. La longevidad ya no es asunto de ciencia ficción, sino la consecuencia de la investigación científica. Ahora el reto es utilizar todos estos años para desarrollar una existencia con más significado, crear sociedades libres e inclusivas y, por qué no, más felices. *La muerte de la muerte* es un libro magnífico que nos pone frente a la vida. ¡Ojalá sepamos aprovecharla!

PILAR JERICÓ, presidenta de Be-Up y autora de
No miedo: En la empresa y en la vida

La muerte de la muerte es un libro visionario. Algo muy importante si vamos a ganar la guerra contra la muerte, y toda batalla requiere un significado, un «porqué», y este libro nos sirve de inspiración.

JASON SILVA, futurista y presentador de Juegos
Mentales con *National Geographic*

José Luis y David traen la pasión informados por su profundo conocimiento en un campo de florecimiento humano que en su mayoría está inexplorado hoy día, pero esa va a ser una de las características que formará fundamentalmente la civilización mañana. Si planeas vivir en el futuro, y lo harás, entonces debes leer *La muerte de la muerte*.

DAVID ORBAN, inversionista y fundador de
Network Society Ventures

La longevidad extrema es posiblemente una de las mayores —si

no la mayor—disrupción que vamos a vivir en este siglo, y va a exigir una profunda reflexión sobre nuestro marco de creencias, valores, comportamientos y actitudes con un profundo impacto en todas las instituciones, desde la religión, el matrimonio, la enseñanza, la vida laboral y las finanzas. *La muerte de la muerte* nos demuestra con credibilidad cómo de próximo se encuentra este futuro.

NACHO VILLOCH, innovador y autor de *La aventura de Diana: Innovando contra viento y marea*

Lo único cierto en la vida es la muerte, pero ¿y si fuera posible la muerte de la muerte? Eso es lo que buscan muchos científicos, y los avances tecnológicos de la medicina de hoy van cercando su campo de acción y mejorando el bienestar de la humanidad. Este inquietante libro nos abre la mente ante la posibilidad científica de la inmortalidad, pero ¿qué implicaciones tendría esto para la sociedad?, ¿cuál sería su impacto ético, social y económico? *La muerte de la muerte* es una lectura estimulante.

MARÍA LUISA PONCELA GARCÍA, secretaria de Estado de Comercio de España

Nos dirigimos hacia un futuro donde la muerte no tendrá dominio. Casi nadie en el mundo entiende esto, pero los autores lo entienden muy bien, con una perspectiva global y un excelente conocimiento de los nuevos avances científicos. *La muerte de la muerte* nos muestra el camino a seguir a lo largo de los muchos caminos tecnológicos y personales, los de la promesa de una vida más larga y más saludable.

RAYMOND MCCAULEY, científico, emprendedor y profesor fundador de Singularity University

Es necesario que exista un debate sobre un tema tan apasionante y trascendental como la extensión de la vida. *La muerte de la muerte*, con sus mensajes disruptivos, invita a reflexionar sobre un cambio de paradigma que, sin duda, transformará la sociedad.

MARIA BENJUMEA, presidente de Spain StartUp y

fundadora de South Summit y de Infoempleo

Dedicatoria

Este libro está dedicado a la primera generación de humanos inmortales.

Hasta ahora, los humanos hemos estado condenados a la muerte. Afortunadamente, gracias a los grandes avances tecnológicos esperados en las próximas décadas, estamos en el umbral entre la última generación de humanos mortales y la primera generación de humanos inmortales.

Hemos llegado aquí gracias a nuestros ancestros, y nuestros descendientes pronto podrán disfrutar la extensión de la vida como nunca antes fue posible. Viviremos en un mundo mucho mejor con una extensión indefinida de la vida, indefinidamente jóvenes, no indefinidamente viejos. Además, avanzaremos desde la extensión de la vida hacia la expansión de la vida, aumentando nuestras capacidades y posibilidades en este pequeño planeta, y luego mucho más allá de la Tierra.

Nuestros ancestros humanos, con vidas muy limitadas, salieron de África hace miles de años para colonizar el resto del planeta. Nuestros descendientes, con vidas de duración indefinida, continuarán esta colonización, pero saliendo ahora desde la Tierra hacia otras partes del universo.

Este libro está dedicado a los jóvenes y a los viejos, a las mujeres y a los hombres, a los creyentes y a los no creyentes, a los ricos y a los pobres, a todos aquellos que en todo el mundo trabajan para que finalmente podamos alcanzar el desafío más antiguo de la humanidad: la muerte de la muerte.

El control del envejecimiento y el rejuvenecimiento humano pronto serán una realidad. Es nuestro deber ético avanzar lo más rápido posible hacia este noble objetivo. El derecho a la vida es el más importante de todos los derechos humanos. Sin vida no hay ningún otro derecho que valga.

Cada día mueren más de 100 000 personas debido a enfermedades relacionadas con el envejecimiento. Se trata del mayor crimen contra la humanidad, contra todos los humanos, sin distinción de raza, sexo, nacionalidad, cultura, religión, geografía o historia.

Tenemos que parar esta tragedia. Podemos evitarlo ya, y debemos evitarlo ahora. Es nuestra responsabilidad moral, nuestro deber ético, nuestro compromiso histórico. Debemos preservar la vida para evitar más sufrimiento, para eliminar el envejecimiento, para prescindir de la muerte.

Hoy la pregunta ya no es más si será posible, sino *cuándo* será posible. Y cuanto antes, mejor.

Estamos en una carrera contra el tiempo, y el enemigo mortal es el envejecimiento.

Prólogo

El envejecimiento, como el clima, no respeta límites nacionales o étnicos, afecta a cada grupo y subgrupo de la humanidad más o menos por igual. Se habla mucho de las disparidades que existen al respecto; como, por ejemplo, que a pesar de que Estados Unidos es el país que más gasta en salud por habitante, ni siquiera se encuentra en el grupo de los 30 países con mayor esperanza de vida. De todas formas, estas estadísticas no deben llevarnos a engaño ya que las disparidades son numéricamente pequeñas. Así, la esperanza de vida en Estados Unidos es solo cinco años menor que la de Japón.

Es esencial que no haya fronteras en la cruzada contra el envejecimiento. El mundo entero debe unirse y destinar sus mayores esfuerzos a resolver este problema, ya que es el principal reto que afronta la humanidad. La vejez mata a mucha más gente que cualquier otra cosa. El envejecimiento es responsable de más del 70% de las muertes, y la mayoría de estas muertes son precedidas por un sufrimiento indecible, tanto del anciano como de sus seres queridos.

Desafortunadamente, la «guerra contra el envejecimiento» aún no está a la altura de este ideal. Está ganando un impulso considerable en el mundo anglófono, donde los mayores esfuerzos se concentran en Silicon Valley. Además, están surgiendo centros en el resto de Estados Unidos, en el Reino Unido, Canadá y Australia. Alemania también está pasando a primer plano, al igual que Rusia e Israel. Sin embargo, otras partes del mundo están muy atrasadas en este campo. Asia es especialmente preocupante, pues sus países más poblados parecen tener serias dificultades para comprender que el envejecimiento es un problema médico, y más aún que es un problema reparable.

La muerte de la muerte es un libro visionario que nos enfrenta a la terrible realidad del envejecimiento, y sus autores son amigos y conocedores del tema. En los últimos años, José Luis Cordeiro ha ayudado a cambiar esta situación en diferentes partes del mundo, pero su objetivo principal sigue estando, muy acertadamente, en el mundo de habla hispana. Es muy acertado no solo porque el propio José Luis es iberoamericano, sino también porque el nivel de interés por derrotar al envejecimiento en España y América Latina, por lo que yo puedo apreciar, va en aumento.

Estamos ante un libro en español que informa de las realidades biomédicas y humanitarias actuales y futuras de la cruzada contra el envejecimiento, un ensayo de gran valor en este momento, sobre todo por su capacidad de involucrar más al mundo hispanohablante para que aporte su gran energía a la batalla que derrotará al envejecimiento. Algunos expertos españoles y latinoamericanos realizan trabajos de primer nivel en este campo, pero solo unos pocos, algo que debe cambiar. Lo mismo

puede decirse de las fuentes de financiación, tanto filantrópicas como de inversión; es miserable la cantidad de donantes o inversores de habla hispana que hayan hecho aportaciones financieras significativas a este campo de la ciencia.

Dada su extensa experiencia internacional, no hay nadie mejor situado que José Luis para cambiar esta dinámica. Ha estado inmerso en la misión antienvjecimiento durante muchos años, de modo que está excepcionalmente informado, no solo sobre la ciencia de la investigación antienvjecimiento y sus últimos avances, sino también sobre las preocupaciones irracionales y las críticas que con tanta frecuencia se oponen a esta misión, para las cuales José Luis conoce las mejores respuestas para refutar sus argumentos.

El coautor del libro es el británico David Wood, otro reconocido combatiente de la guerra antienvjecimiento, que aporta una perspectiva diferente pero complementaria. David ha transformado el mundo tecnovisionario británico desde su labor al frente de una de sus principales organizaciones. Es difícil imaginar una pareja más potente para darle la autoridad necesaria a un libro sobre el envjecimiento y su (¡ojalá inminente!) derrota.

Estoy convencido de que el mundo hispanoparlante jugará un papel importante en la guerra contra el envjecimiento en la próxima década. También creo que la descripción autorizada y exhaustiva de esta cruzada que José Luis Cordeiro y David Wood hacen en este excelente libro acelerará este proceso. ¡Adelante!

AUBREY DE GREY

Advertencias

El último enemigo que será vencido es la muerte.

1 Corintios, 15:26

Toda verdad atraviesa tres fases:
primero, es ridiculizada;
segundo, recibe violenta oposición;
tercero, es aceptada como evidente.

ARTHUR SCHOPENHAUER, 1819

En el año 2045 alcanzaremos la singularidad tecnológica (y la inmortalidad).

RAY KURZWEIL, 2005

El primero que vivirá 1000 años ya ha nacido.

AUBREY DE GREY, 2005

El título *La muerte de la muerte* puede parecer a algunos una idea ridícula por imposible. El subtítulo *La posibilidad científica de la inmortalidad física y su defensa moral* trata de persuadir de que esta idea es fácticamente posible y de que es, además, éticamente correcta. Nosotros esperamos ver la muerte de la muerte en 2045, a más tardar.

Antes de comenzar, vamos a enumerar algunas advertencias previas para que el lector pueda sacar sus propias conclusiones:

1. Este es un libro destinado al público general, para cualquier persona interesada en saber qué está pasando con el envejecimiento y con el cuerpo humano. No es un libro técnico. Antes al contrario, el objetivo es explicar ideas complejas de la manera más sencilla posible. El tema del envejecimiento afecta a todos en todo el mundo. Hasta el día de hoy no ha existido ningún humano que haya podido escapar del envejecimiento y de la muerte, así que el tema nos atañe a todos.
2. Dado el gran desconocimiento sobre estos temas entre la población en general, el libro tiene carácter divulgativo. Por ejemplo, muy pocos saben que las células del cáncer son biológicamente inmortales pese a que se sabe desde hace bastantes años, concretamente desde 1951. Quizás todavía menos personas saben que las células germinales, que todos tenemos en el cuerpo, tampoco envejecen y se consideran biológicamente inmortales desde que se planteara esta teoría en 1892.

3. Aunque la palabra «inmortalidad» no sea técnicamente correcta, pues nada puede ser completamente inmortal ya que no sabemos lo que pasará en el futuro, hemos decidido usarla porque es el término que usan los médicos y biólogos cuando se refieren al cáncer, y a las células germinales y células madre, que no envejecen, pero que sí mueren cuando muere el cuerpo. Una palabra más acertada sería «amortalidad», es decir, «no mortalidad», pero ese término es muy poco usado o conocido, lamentablemente.
4. Los autores no somos ni médicos ni biólogos. Más bien somos tecnólogos, del Instituto Tecnológico de Massachusetts (José Luis Cordeiro) y de la Universidad de Cambridge (David Wood), pero llevamos años estudiando el tema del envejecimiento y siguiendo los principales avances científicos en esta área. Además, conocemos personalmente y hemos discutido ampliamente con muchos de los líderes mundiales en estas líneas de investigación, quienes sí están trabajando directamente para conseguir controlar y revertir el envejecimiento.
5. Muchas de las ideas, cifras y fechas expresadas aquí no son nuestras, pero las utilizamos cuando estamos de acuerdo con ellas. Por ejemplo, el biogerontólogo inglés Aubrey de Grey es quien dice que «la primera persona que vivirá 1000 años ya ha nacido», y el futurista estadounidense Ray Kurzweil defiende que «en 2045 podremos ser inmortales, a más tardar». Hemos tratado de incluir las referencias, aunque hoy en día es muy fácil verificar rápidamente casi toda la información gracias a internet.
6. La medicina y la biología, como todas las aéreas del saber humano, están sufriendo una gran disrupción gracias a la digitalización de la información y otros avances tecnológicos. De hecho, la secuenciación del genoma humano, el internet de las cosas, el *big data*, los sensores personales y muchos otros avances, están digitalizando la medicina y la biología. Esta es una disrupción enorme que viene de fuera de la industria, y muchos médicos y biólogos tradicionales no la ven, ni la comprenden. Estos avances también resultan perturbadores para parte de la sociedad con una visión conservadora.
7. Grandes compañías como Amazon, Apple, Facebook, Google, IBM y Microsoft, por citar algunas, han entrado en el mundo de la medicina y de la biología, y están acelerando la revolución de la industria. Por ejemplo, Google ha creado Calico (California Life Company) una filial cuyo objetivo es «resolver la muerte»; IBM ha creado un sistema de inteligencia artificial llamado Watson que se ha convertido ya en el mejor oncólogo,

capaz de analizar cualquier cáncer tan bien como, o incluso mejor que, los médicos humanos; y Microsoft ha anunciado que piensa curar en una década el cáncer tratándolo como un virus informático.

8. Los cambios tecnológicos avanzan exponencialmente, aunque nosotros seguimos pensando linealmente. Durante la próxima década no vamos a ver cambios equivalentes a los de la última década. Varios especialistas están convencidos de que vamos a ver cambios enormes, quizás equivalentes a todo lo que vimos en medicina y biología durante el milenio pasado. Las tecnologías digitales avanzan a un ritmo exponencial, así que el mundo lineal del pasado no sirve mucho de referencia frente a la aceleración de los avances tecnológicos.
9. No obstante, los avances que visualizamos no son ineluctables, ni obligatorios. Por un lado, el progreso científico y tecnológico podría ser retrasado, detenido o hasta revertido por decisiones erróneas y catástrofes naturales o humanas. Por otro lado, el uso de las técnicas antienviejimiento y rejuvenecimiento no será forzado ni obligado. Al igual que hoy existen grupos como los amish o los yanomami que se niegan a cambiar su forma de vida, en el futuro también habrá otros grupos que se opongan a estos avances.
10. Analizadas las tendencias actuales, sin embargo, tenemos que dejar de preguntarnos si el rejuvenecimiento será posible y más bien comenzar a preguntarnos cuándo será posible. Diferentes tecnologías se están desarrollando en diferentes partes del mundo y una competencia internacional que incluye todo tipo de entes públicos y privados está en marcha, desde Estados Unidos hasta China, y si los primeros no avanzan más rápido, probablemente los segundos sí lo harán. Gracias a la competencia internacional, estos avances están casi garantizados.
11. Este es solo el primero de los libros que están por venir sobre este apasionante tema. En dos o tres años esperamos contar con mucha más información y evidencias concretas, incluyendo el inicio de terapias y tratamientos aprobados para detener el envejecimiento y para rejuvenecer células, órganos, y quizás seres humanos. Además, habrá que actualizar constantemente parte de la información aquí descrita pues seguiremos viendo avances extraordinarios cada día.
12. No estamos recomendando aquí ningún tipo de terapias o tratamientos, y menos en este primer libro. Nos limitamos a mostrar algunas de las posibilidades actuales y futuras, que describiremos posteriormente en otros

libros. Las tecnologías antienvjecimiento y rejuvenecimiento apenas están comenzando, así que es difícil saber cuáles serán las mejores alternativas, pero es importante estar al corriente de lo que está por venir.

13. Varios de los temas presentados son muy complejos, con muchas posibles aristas y diferentes puntos de vista. Tratamos de ser objetivos, pero defendiendo nuestro punto de vista, en base a los avances científicos que seguimos de forma continuada. En algunos pasajes hemos considerado necesario hacer simplificaciones y generalizaciones, aunque sabemos que la biología, y la vida en general, es sumamente compleja.
14. Sabemos que el libro generará discusión, esperamos que mucha discusión, tanto a favor como en contra. Por un lado, las críticas son siempre bienvenidas y sirven para seguir avanzando, pues nadie está en posesión de la verdad absoluta. Tratándose de temas especialmente revolucionarios, la polémica está servida y conviene no dejarse llevar por las pasiones. Por otro lado, las críticas suelen decir más del propio crítico que del criticado. Esta no debe ser una pelea entre el oscurantismo y el tradicionalismo frente a los utopistas, una discusión de adversarios para ver quién grita más alto.
15. Siempre habrá escépticos, como en todo proceso de adelanto científico, pero lo importante es que todas las partes sepan escuchar y hacer que los datos y no las opiniones indiquen el camino. Sabemos que hay enemigos frente a las nuevas ideas, pero ante la posibilidad científica del rejuvenecimiento humano, ojalá sean pocos los enemigos, aunque prevemos que estarán unidos y serán ruidosos. Los amigos serán muchos más, quizás muchísimos más, pero probablemente no estarán tan coordinados y posiblemente serán menos visibles. Al principio, los cambios de paradigma siempre generan una gran oposición. Es necesario que las nuevas ideas sigan avanzando con el tiempo en base a los descubrimientos científicos y permeen en la sociedad.
16. Para ayudar a acelerar las investigaciones sobre antienvjecimiento y rejuvenecimiento, los autores donamos la totalidad de los *royalties* del libro a la Fundación para la Investigación SENS (SENS Research Foundation) en California, y a Apadrina la Ciencia en España. Por tanto, esperamos que te guste este libro y que lo recomiendes para seguir apoyando a los científicos que trabajan en estos temas. Estamos realmente ante una cuestión de vida o muerte.
17. Somos miembros de la Coalición para la Extensión Radical de la Vida (Coalition for Radical Life Extension) y organizamos anualmente el festival RAAD (Revolution Against Aging and Death, es decir, la Revolución Contra el Envejecimiento y la Muerte). A quienes quieran saber más de las

oportunidades y posibilidades científicas para detener el envejecimiento e iniciar el rejuvenecimiento, sugerimos que nos acompañen en www.RAADfest.com para así conocer en primera persona los últimos avances científicos. Este festival analiza tanto la extensión de la vida como la expansión de la vida.

18. Finalmente, hemos creado una web para el libro (<www.LaMuerteDeLaMuerte.org>), de modo que agradecemos todos los comentarios, correcciones y críticas. Nuestro interés es mejorar las futuras ediciones, así como recopilar sugerencias e ideas para los próximos libros. En la lucha contra el envejecimiento, lo importante es el mensaje, no los mensajeros.

Introducción

El sueño más grande de la humanidad

La muerte debe ser un gran mal, y los dioses están de acuerdo, si no ¿por qué quieren ellos vivir para siempre?

SAFO, c. 600 a. C.

Un viaje de mil millas comienza con un solo paso.

LAO-TSE, c. 550 a. C.

¡Ser o no ser, esa es la cuestión!

WILLIAM SHAKESPEARE, 1600

La inmortalidad ha sido el gran sueño de la humanidad desde sus inicios. El ser humano, a diferencia de la mayoría del resto de seres vivos, es consciente de la vida y, por lo tanto, consciente de la muerte. Nuestros ancestros han creado todo tipo de rituales relacionados con la vida y la muerte desde la aparición del *Homo sapiens sapiens* en África. Nuestros ancestros practicaron estos rituales y crearon muchos otros durante los miles de años de colonización por todo el planeta. Las grandes civilizaciones del mundo antiguo crearon rituales sofisticados para celebrarlos cuando alguien moría, rituales que en muchos casos eran el elemento más importante en la vida de los que les sobrevivían. Pensemos, por ejemplo, en los rigurosos lutos de por vida de muchas de nuestras sociedades.

La búsqueda de la inmortalidad

El filósofo británico Stephen Cave, de la Universidad de Cambridge, escribe en su *bestseller Immortality: The Quest to Live Forever and How It Drives Civilization*^[1]:

Todos los seres vivos buscan perpetuarse a sí mismos en el futuro, pero los humanos buscan perpetuarse para siempre. Esta búsqueda, esta obsesión con la inmortalidad, está en el origen de la consecución de los logros humanos, es la fuente de las religiones, la musa de la filosofía, el arquitecto de nuestras ciudades y el impulso detrás de las artes. Está inmersa dentro de nuestra propia naturaleza, y su resultado es lo que conocemos como civilización.

Los ritos funerarios egipcios eran muy sofisticados. Los rituales más importantes incluían grandes pirámides y sarcófagos dedicados exclusivamente a los faraones.

Los más antiguos *Textos de las Pirámides* son un repertorio de conjuros, encantamientos y súplicas grabados en los pasajes, antecámaras y cámaras sepulcrales en las pirámides del Imperio Antiguo con el propósito de ayudar al faraón en el inframundo y asegurar su resurrección y la vida eterna. Son una recopilación de textos, de creencias religiosas y cosmológicas muy antiguas, escritos con jeroglíficos en las paredes de las tumbas, que se emplearon durante las ceremonias funerarias a partir del año 2400 a. C.

Siglos después, los egipcios compilaron el *Libro de los muertos*, que es el nombre moderno de un texto funerario del Antiguo Egipto que se utilizó desde el comienzo del Imperio Nuevo hacia el año 1550 a. C. hasta el año 50 a. C. El texto no era exclusivo para los faraones y consistía en una serie de sortilegios mágicos destinados a ayudar a los difuntos a superar el juicio de Osiris, el dios egipcio de la muerte y la regeneración, para asistirlos en su viaje a través del inframundo hacia la otra vida. Aunque hoy se habla de ellas como mitologías, la religión y las prácticas egipcias para garantizar la inmortalidad se practicaron durante casi 3000 años, es decir, durante muchos más siglos que el Cristianismo o el Islam hasta hoy^[2].

En Mesopotamia hay documentos todavía más antiguos, realizados hacia el año 2500 a. C. en tablillas de arcilla con escritura cuneiforme. La *Epopéya de Gilgamesh* o el *Poema de Gilgamesh* es una narración sumeria en verso sobre las peripecias del rey Gilgamesh de Uruk, la obra épica más antigua conocida en la historia de la humanidad. El eje filosófico del poema se encuentra en el duelo del rey Gilgamesh tras la muerte de quien fue al principio su enemigo y después su gran amigo Enkidu. La epopeya se considera la primera obra literaria que hace énfasis en la mortalidad humana frente a la inmortalidad de los dioses. El poema incluye una versión del mito mesopotámico del diluvio que aparecería posteriormente en muchas otras culturas y religiones^[3].

En China, parece que los emperadores también estaban obsesionados con la inmortalidad. Después de conquistar el último Estado chino independiente en el 221 a. C., Qin Shi Huang se convirtió en el primer rey de un Estado que dominaba toda China, algo que no tenía precedentes. Ansioso de mostrar que ya no era un simple rey, creó un título que expresara el deseo de unificar el infinito territorio de los reinos chinos, uniendo de hecho el mundo (los antiguos chinos, al igual que los antiguos romanos, creían que su imperio comprendía el mundo en su totalidad^[4]).

Qin Shi Huang se negaba a hablar de la muerte, nunca escribió un testamento y en 212 a. C. comenzó a llamarse a sí mismo como el *Inmortal*. Obsesionado con la inmortalidad, mandó una expedición a las islas orientales (posiblemente Japón) en busca del elixir de la inmortalidad. La expedición nunca regresó, supuestamente por miedo al emperador *Inmortal*, ya que no habían encontrado el elixir deseado. Se cree que Qin Shi Huang murió tras beber mercurio, un elemento que esperaba que le hiciera inmortal. Fue enterrado en un gran mausoleo con los famosos guerreros de terracota, más de 8000 soldados con 520 caballos. El mausoleo, cerca de la actual

ciudad de Xi'an fue descubierto en 1974, aunque su cámara funeraria permanece aún cerrada.

El elixir de la inmortalidad, una legendaria poción que garantizaba la vida eterna, es un tema recurrente en muchas culturas. Fue una de las metas perseguidas por muchos alquimistas, un remedio que curara todas las enfermedades (la panacea universal) y prolongara la vida eternamente. Algunos de ellos, como el médico y astrólogo suizo Paracelso, lograron grandes avances en el campo farmacéutico como consecuencia de esta búsqueda. El elixir mágico se relaciona con la piedra filosofal, una mítica piedra que transformaría los materiales en oro y supuestamente crearía ese elixir vital.

No solo los antiguos egipcios y chinos consideraban la posibilidad de que hubiera un elixir de la vida. Estas ideas llegaron o surgieron de forma independiente en prácticamente todas las culturas. Por ejemplo, los grupos Vedas en India también creían en un vínculo entre la vida eterna y el oro. Una idea que probablemente adquirieron de los griegos tras la invasión de la India de Alejandro Magno en el año 325 a. C. Igualmente es posible que de India haya ido a parar a China, o viceversa. Sin embargo, la idea del elixir de la vida ya no tiene tanta repercusión en India, dado que el hinduismo, la primera religión del país, profesa otras creencias en relación con la inmortalidad.

La fuente de la juventud es otra de esas leyendas que nos remite al deseo por la eternidad. Símbolo de la inmortalidad y la longevidad, esa legendaria fuente supuestamente curaría y devolvería la juventud a quien bebiese de sus aguas o se bañase en ellas. La primera referencia conocida del mito de una fuente de la juventud está en el tercer libro de las *Historias* de Heródoto, del siglo IV a. C. En el Evangelio de Juan se narra el episodio del estanque de Betesda, en Jerusalén, donde Jesús realiza el milagro de curar a un hombre aparentemente lisiado. Las versiones orientales de las *Novelas de Alejandro* cuentan la historia del «agua de la vida», que buscaba Alejandro Magno en compañía de su siervo. El sirviente en esa historia procede de las leyendas de Al-Khidr en Oriente Medio, una saga que aparece también en el Corán. Estas versiones fueron muy populares en España durante y después de la época musulmana, y habrían sido conocidas por los exploradores que viajaron a América.

Las historias de los nativos americanos sobre la fuente curativa estaban relacionadas con la mítica isla de Bimini, un país de riqueza y prosperidad situado en algún lugar del norte, posiblemente en la ubicación de las Bahamas. Según la leyenda, los españoles supieron de Bimini gracias a los arahuacos de La Española, Cuba y Puerto Rico. Bimini y sus aguas curativas eran temas muy populares entonces en el Caribe. El explorador español Juan Ponce de León supo de la fuente de la juventud por los nativos de Puerto Rico cuando conquistó la isla. Insatisfecho con su riqueza material, emprendió una expedición en 1513 para localizarla y descubrió el actual estado de Florida, pero nunca encontró la fuente de la eterna juventud^[5].

En las llamadas religiones occidentales actuales, basadas en las tradiciones abrahámicas monoteístas como el judaísmo, el cristianismo, el islam y el bahaísmo (Fe Bahá'í), por ejemplo, la vía hacia la inmortalidad se consigue principalmente a través de la resurrección. Por otro lado, en las llamadas religiones orientales actuales, basadas en las tradiciones védicas de India como el hinduismo, el budismo y el jainismo, la vía hacia la inmortalidad se produce a través de la reencarnación. Tradicionalmente, en las religiones occidentales hay que enterrar los cuerpos para la resurrección, mientras que en las religiones orientales hay que incinerar los cuerpos para la reencarnación. Pero ni la resurrección ni la reencarnación están comprobadas científicamente, y evidentemente forman parte de las viejas creencias mitológicas de tiempos precientíficos.

El historiador israelí Yuval Noah Harari, de la Universidad Hebrea de Jerusalén, ha estudiado también en profundidad el tema de la inmortalidad en sus dos obras principales: *Sapiens: De animales a dioses*, publicada originalmente en el año 2011, y *Homo Deus: Breve historia del mañana*, de 2016. El primer libro se refiere a la historia de la humanidad desde el principio de la evolución del *Homo sapiens* hasta las revoluciones políticas del siglo XXI. Las religiones y el tema de la muerte son un elemento fundamental en todos estos grandes sucesos históricos.

En su segundo libro, Harari se pregunta cómo será el mundo en los próximos años. Nos veremos enfrentados a una nueva serie de retos e intenta analizar cómo los enfrentaremos gracias a los enormes avances de la ciencia y la tecnología. Harari explora los proyectos, los sueños y las pesadillas que irán moldeando el siglo XXI, desde superar la muerte hasta la creación de la inteligencia artificial. Específicamente, sobre el tema de la inmortalidad, Harari comenta en la sección «Los últimos días de la muerte^[6]»:

En el siglo XXI, es probable que los humanos hagamos una apuesta seria por la inmortalidad. La lucha contra la vejez y la muerte simplemente continuará la lucha consagrada contra el hambre y la enfermedad, y manifestará el valor supremo de la cultura contemporánea: el valor de la vida humana. Constantemente se nos recuerda que la vida humana es lo más sagrado del universo. Todo el mundo lo dice: los maestros en las escuelas, los políticos en los parlamentos, los abogados en los tribunales y los actores en el teatro. *La Declaración Universal de los Derechos Humanos* adoptada por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) después de la segunda guerra mundial —tal vez lo más cercano que tenemos a una constitución global— declara categóricamente que «el derecho a la vida» es el valor fundamental de la humanidad. Ya que la muerte claramente viola este derecho, la muerte es un crimen contra la humanidad, y debemos librar una guerra total contra ella.

A lo largo de la historia, las religiones y las ideologías no santificaron la vida misma. Siempre santificaron algo por encima o más allá de la existencia terrenal, y en consecuencia fueron bastante tolerantes con la muerte. De hecho, algunos de ellos han sido francamente aficionados a la Parca (el «Grim Reaper» en inglés). Debido a que el cristianismo, el islam y el hinduismo insistieron en que el significado de nuestra existencia dependía de nuestro destino en el más allá, vieron la muerte como una parte vital y positiva del mundo. Los humanos murieron porque Dios lo decretó, y el momento de la muerte fue una experiencia metafísica sagrada que explotó con significado divino. Cuando un humano estaba a punto de exhalar su último suspiro, era el momento de llamar a los sacerdotes, rabinos y chamanes para extraer el equilibrio de la vida y abrazar el verdadero papel de uno en el universo. Solo trate de imaginar el cristianismo, el islam o el hinduismo en un mundo sin muerte, que también es un mundo sin paraíso, sin infierno y sin reencarnación.

La ciencia moderna y la cultura moderna tienen una visión completamente diferente de la vida y de la muerte. No piensan en la muerte como un misterio metafísico, y ciertamente no ven la muerte como la fuente del significado de la vida. Por el contrario, para nuestros contemporáneos la muerte es un problema técnico que podemos y debemos resolver.

De la mitología a la ciencia

En las últimas décadas se han hecho avances científicos impresionantes, en todas las áreas, incluyendo la biología y la medicina. En 1953 se descubrió la estructura del ADN, uno de los avances más importantes de la biología. Este proceso se ha acelerado con descubrimientos posteriores como las células madre embrionarias y los telómeros, por ejemplo. En medicina, el primer trasplante de corazón se realizó en 1967, se erradicó la viruela en 1980, y ahora se están produciendo grandes avances en medicina regenerativa, terapias génicas como la edición CRISPR, clonación terapéutica y bioimpresión de órganos.

En los próximos años seremos testigos de avances todavía mayores, cada vez más rápidos, gracias también a la utilización generalizada de nuevos sensores, el análisis de datos masivos (los llamados *big data*) y el uso de inteligencia artificial para interpretar y calcular más rápido y analizar mejor los resultados médicos. Estos avances no están ocurriendo de una manera lineal, sino exponencial. La rapidez con que fue secuenciado el genoma humano es un ejemplo claro de estas tendencias exponenciales.

El Proyecto Genoma Humano comenzó en el año 1990 y en 1997 solo se había logrado secuenciar el 1% del total. Por eso algunos «expertos» pensaban que necesitaríamos siglos para poder secuenciar el restante 99% del genoma. Afortunadamente, gracias a las tecnologías exponenciales, el proyecto concluyó en el año 2003. Como explica el futurista estadounidense Ray Kurzweil, desde 1997 cada año se duplicaba aproximadamente el porcentaje secuenciado, es decir, un 2% en 1998, un 4% en 1999, un 8% en 2000, un 16% en 2001, un 32% en 2002, un 64% en 2003 y listo unas semanas después^[7].

La biología y la medicina se están digitalizando aceleradamente, y esto permitirá avances exponenciales en los próximos años. La inteligencia artificial ayudará cada vez más, lo cual generará una retroalimentación positiva continua para alcanzar más avances en todas las áreas, incluidas la biología y la medicina. Por otro lado, ya se han iniciado experimentos para extender la vida y rejuvenecer diferentes animales modelo, como levadura, gusanos, mosquitos y ratones.

Científicos en diferentes partes del mundo están ya investigando cómo funciona el envejecimiento y cómo revertirlo. Desde Estados Unidos hasta Japón, desde China hasta India, pasando por Alemania y Rusia. También aparecen grupos de investigadores por toda Iberoamérica, desde España hasta Colombia, desde México

hasta Argentina, pasando por Portugal o Brasil. Por ejemplo, un grupo de científicos bajo la dirección de la bióloga española María Blasco, directora del CNIO (Centro Nacional de Investigaciones Oncológicas) en Madrid, ha creado los llamados ratones *Triple*, que viven aproximadamente un 40% más^[8]. Con tecnologías totalmente diferentes, otros científicos como el también español Juan Carlos Izpisúa, investigador experto del Instituto Salk de Estudios Biológicos en La Jolla, California, ha logrado rejuvenecer ratones también un 40%.^[9] Este tipo de experimentos siguen avanzando y es probable que sigamos aumentando la longevidad y el rejuvenecimiento en ratones en los próximos años.

Muchos otros científicos de diferentes partes del mundo, incluyendo varias de las mejores universidades internacionales como Cambridge, Harvard, MIT, Oxford y Stanford, tienen grupos interesados en competir en el Premio del Ratón Matusalén, patrocinado por la Fundación Matusalén en Estados Unidos^[10]. Ya se ha otorgado un premio a científicos que han logrado extender la vida de ratones hasta el equivalente de 180 años humanos^[11], pero el objetivo es llegar casi a mil años humanos equivalentes, como el legendario Matusalén del Viejo Testamento.

Los experimentos con ratones tienen muchas ventajas, pues los ratones tienen vidas relativamente cortas (un año en estado natural, entre dos y tres años en condiciones de laboratorio) y sus genomas son muy parecidos al genoma humano (se estima que compartimos cerca del 90% del genoma con los ratones). Los científicos han experimentado con diferentes tipos de tratamientos y terapias, entre los que podemos mencionar, por ahora, restricción calórica, inyecciones de telomerasa, tratamientos con células madre, terapias génicas y más descubrimientos que seguiremos viendo en los próximos años. Estas investigaciones se hacen no porque adoremos a los ratones y queramos ratones más jóvenes y longevos. Los investigadores, aunque quizás no lo manifiesten así públicamente, podrían llegado el caso implementar estos avances en humanos para hacer de nosotros seres más longevos y jóvenes. Como mucha otra gente, a veces los científicos no pueden decir lo que piensan realmente por temor a perder financiación u otras razones, pero las aplicaciones de estas investigaciones son evidentes.

Hay muchos científicos trabajando con diferentes tipos de animales modelo para detener y revertir el envejecimiento. Otros dos ejemplos de conocidos científicos estadounidenses son Michael Rose, de la Universidad de California en Irvine, que ha logrado multiplicar por cuatro la esperanza de vida de las moscas de la fruta *Drosophila melanogaster*^[12], y Robert J. S. Reis, de la Universidad de Arkansas para las Ciencias Médicas, que ha aumentado hasta 10 veces la longevidad de gusanos nematodos *C. elegans*^[13]. Nuevamente, el objetivo de los científicos no es conseguir moscas y gusanos más longevos, sino usar estos descubrimientos para aplicarlos en su momento en humanos.

Gracias a los importantes avances científicos de estos últimos años, hay grandes y pequeñas empresas que apuestan miles de millones de dólares por el

rejuvenecimiento científico en humanos. La gente empieza a entender que esto es una posibilidad real y cada vez más cercana en el tiempo. La pregunta hoy no es si será posible, sino más bien cuándo será posible. Por eso, multimillonarios como Peter Thiel, famoso desde PayPal, Jeff Bezos de Amazon, Serguéi Brin y Larry Page de Alphabet/Google, Mark Zuckerberg de Facebook, Larry Ellison de Oracle, junto con muchos otros, y cada vez serán más, están invirtiendo en biotecnología contra el envejecimiento y revertirlo. Google creó Calico (California Life Company) en 2013 para «resolver la muerte^[14]», Microsoft anunció en 2016 que va a curar el cáncer en diez años^[15], Mark Zuckerberg y su esposa Priscilla Chan dijeron que donarían prácticamente toda su riqueza para curar y prevenir todas las enfermedades en una generación^[16]. Y podríamos añadir muchos otros ejemplos, y cada día veremos más, pues los avances no se detienen.

Algunos de los mejores científicos del mundo están trabajando abiertamente en tecnologías para el rejuvenecimiento. Solo por poner un ejemplo ampliamente conocido, mencionemos el caso del genetista, ingeniero molecular y químico estadounidense George Church, profesor de genética en la Escuela Médica de Harvard, profesor de Ciencias de la Salud y la Tecnología en Harvard y en el MIT, entre otros muchos cargos tanto académicos como empresariales (pues hay que llevar estas ideas de vida y muerte de la academia a la industria). Church, que fue uno de los pioneros de la secuencia del genoma humano y es considerado un precursor de la genómica personal y la biología sintética, ha dicho recientemente^[17]:

Veremos la primera prueba de reversión del envejecimiento en ensayos con perros en un año o dos. Si funciona, las pruebas en humanos están a dos años de comenzar, y a ocho años de terminar. Una vez contemos con unos pocos ensayos exitosos se entrará en un ciclo de retroalimentación positiva.

Lo cierto es que no hay ningún principio científico que prohíba el rejuvenecimiento y que imponga la necesidad de la muerte. Ni en biología, ni en química, ni en física. Consecuentemente, el distinguido físico estadounidense Richard Feynman, ganador del premio Nobel de Física, explicó en su conferencia de 1964 «El papel de la cultura científica en la sociedad moderna^[18]»:

Una de las cosas más notables en todas las ciencias biológicas es que no haya ninguna pista sobre la necesidad de la muerte. Si alguien dice que se propone hacer una máquina de movimiento perpetuo, ya hemos descubierto suficientes leyes físicas como para saber que es algo absolutamente imposible o que las leyes entonces estarían equivocadas.

Pero no se ha descubierto nada en biología que señale la inevitabilidad de la muerte. Esto indica que la muerte no es inevitable, que solo es cuestión de tiempo que los biólogos descubran qué es lo que nos está generando problemas y curen esa terrible enfermedad universal.

En los últimos años se han creado una serie de publicaciones científicas sobre los avances en nuevas áreas como el estudio del rejuvenecimiento y del antienvejecimiento. Una de ellas es la revista *Aging*, que publicó su primer número en

el año 2009, cuando tres de sus editores, el científico rusoestadounidense Mikhail V. Blagosklonn, la estadounidense Judith Campisi y el australiano David A. Sinclair, escribieron el artículo inaugural, titulado «Envejecimiento: pasado, presente y futuro^[19]»:

En su *Serie de la Fundación*, publicada en la década de 1950, Isaac Asimov imaginó la Civilización capaz de colonizar todo el Universo. Esta hazaña es improbable. Sorprendentemente, Asimov se refería a un hombre de setenta años como un individuo anciano con escasas probabilidades de vivir mucho más tiempo. Por lo tanto, en la fantasía más atrevida de la literatura, el ritmo del envejecimiento no se puede frenar. Sin embargo, dado el ritmo actual de descubrimientos en el campo del envejecimiento, esta hazaña podría convertirse en una realidad dentro de nuestro tiempo de vida, de modo que la ciencia terminará por superar a la ciencia ficción.

PASADO

Una vez August Weismann dividió la vida entre un soma perecedero y una línea germinal inmortal, el soma comenzó a verse como algo desechable. Como escribió Weismann en 1889: «La naturaleza perecedera y vulnerable del soma fue la razón por la cual la naturaleza no hizo ningún esfuerzo por dotar a esta parte del individuo de una vida de duración ilimitada».

PRESENTE

Las primeras búsquedas exitosas de genes que pospusieran el envejecimiento comenzaron a mediados de la década de 1980. A pesar de la opinión general de que era poco probable que existieran genes que controlan el envejecimiento, Klass realizó una búsqueda de mutagénesis para *C. elegans* mutantes de larga vida y encontró candidatos, uno de los cuales fue llamado gen age-1, y fue descrito por Johnson y sus colegas. En 1993, Kenyon y sus colegas, que también seleccionaron *C. elegans* de larga vida, descubrieron que las mutaciones en el gen daf-2 aumentan la longevidad de *C. elegans* hermafroditas en más de dos veces en comparación con los nematodos de tipo salvaje. Daf-2 ya era conocido por regular la formación del estado dauer, una forma de larva con desarrollo detenido e inducido por el hacinamiento y la inanición. Kenyon y sus colaboradores sugirieron que la longevidad del *C. elegans* en estado dauer es el resultado de un mecanismo de extensión de vida regulada. Este descubrimiento proporcionó puntos de entrada para comprender cómo se puede extender la duración de la vida.

Los editores hacen un rápido recorrido sobre la naciente disciplina del estudio del envejecimiento, explicando los inicios científicos a finales del siglo XIX y los grandes avances durante todo el siglo XX, especialmente en las últimas dos décadas. De hecho, fue apenas en la década de 1980 cuando se encontraron unos genes relacionados directamente con el envejecimiento celular en los pequeños gusanos nematodos llamados *C. elegans*. Desde entonces, se ha podido contar con una mayor y mejor comprensión del proceso del envejecimiento, cómo ocurre e incluso cómo revertirlo. Hoy sabemos que es científicamente posible rejuvenecer células, tejidos y organismos. La prueba de que es posible es que ya se ha logrado con organismos simples como estos gusanos.

Ahora bien, que exista ya la prueba de concepto no significa que sepamos cómo hacerlo. De hecho, todavía no sabemos, y por eso se están llevando a cabo numerosos experimentos con diferentes terapias y tratamientos, y en diferentes tipos de organismos, para saber qué funciona y por qué. No es nada fácil, y probablemente no lo será, pero sí sabemos que es posible. De hecho, la pregunta ya no es si es posible, sino cuándo será posible desarrollar y comercializar los primeros tratamientos científicos para rejuvenecer seres humanos. Nosotros no somos gusanos, ni tampoco

ratones, así que muchas de las cosas que descubramos con animales modelo, como gusanos o ratones, probablemente no serán directamente aplicables en humanos. Sin embargo, sí nos indicarán varias posibilidades, que gracias a avances como el manejo de los *big data* y la inteligencia artificial, entre otros, nos ayudarán a avanzar más rápido para encontrar las posibles curas al envejecimiento humano.

Blagosklonn, Campisi y Sinclair parten del pasado y del presente para indicar también lo que podría pasar en el futuro, junto con algunos de los posibles tratamientos y terapias para el envejecimiento y demás enfermedades relacionadas con el envejecimiento. Por ahora, y en el caso de este libro introductorio dirigido a una audiencia general, no es necesario conocer en profundidad los detalles (o siglas como ADN, AMPK, ARN, FOXO, IGF, mTOR, NAD, PI-3K, RC, TOR y muchas otras incluso más enrevesadas). Sin embargo, lo mencionamos aquí como resumen general de los grandes descubrimientos actuales y por venir, como indican los autores en su artículo:

FUTURO

De gran interés y expectación, ahora el envejecimiento parece estar regulado, al menos en parte, por vías de transducción de señales que pueden ser manipuladas farmacológicamente. Prototipos de medicamentos anti-envejecimiento ya están disponibles para tratar enfermedades relacionadas con la edad, y se predice que retrasarán los procesos de envejecimiento. Se han descubierto moduladores de sirtuinas que imitan la RC y mitigan ciertas enfermedades relacionadas con la edad. La vía TOR es otro objetivo. Irónicamente, TOR se descubrió como objetivo de la rapamicina en levadura (Sirolimus o Rapamune), un medicamento disponible clínicamente que se tolera incluso cuando se toma en altas dosis durante varios años. La rapamicina tiene potencial como terapia para la mayoría de las enfermedades no relacionadas con la edad, y la metformina, un fármaco antidiabético y activador de la AMPK, que actúa en la vía TOR, retrasa el envejecimiento y alarga la vida útil de los ratones.

Por lo tanto, los recientes cambios de paradigma en la investigación del envejecimiento han puesto vías de señalización (vías de promoción del crecimiento, respuestas al daño del ADN, sirtuinas) en la etapa inicial, y han establecido que el envejecimiento puede regularse y puede inhibirse farmacológicamente.

En este momento tan oportuno, se lanza *Aging (Impact Journal on Aging o Impact Aging)*. Esta revista abarca la nueva gerontología. Los avances recientes en gerontología se deben a la integración de diferentes disciplinas, como la genética y el desarrollo en organismos modelo, la transducción de señales y el control del ciclo celular, la biología de las células cancerosas y las respuestas al daño del ADN, la farmacología y la patogénesis de muchas enfermedades relacionadas con la edad. La revista se centrará en las vías de transducción de señales (activadas por IGF e insulina, vías activadas por mitógenos y activadas por estrés, respuesta al daño del ADN, FOXO, Sirtuinas, PI-3K, AMPK, mTOR) en la salud y en la enfermedad. Los temas incluyen biología celular y molecular, metabolismo celular, senescencia celular, autofagia, oncogenes y genes supresores de tumores, carcinogénesis, células madre, farmacología y agentes anti-envejecimiento, modelos animales y, por supuesto, enfermedades relacionadas con la edad como el cáncer, la enfermedad de Parkinson, diabetes tipo II, aterosclerosis, degeneración macular, que son algunas de las manifestaciones mortales del envejecimiento. La revista también incluirá artículos que abordan tanto las posibilidades como los límites de la nueva ciencia del envejecimiento. Por supuesto, la posibilidad de que las enfermedades del envejecimiento puedan retrasarse o tratarse con medicamentos que afecten al proceso general de envejecimiento y, por tanto, prolongar potencialmente la vida sana, es el sueño más antiguo de la humanidad.

Cuando en el año 2009 se publicó ese visionario artículo todavía no se conocía prácticamente nada sobre una de las más poderosas tecnologías genéticas de hoy: el famoso CRISPR (descubierto a finales de la década de 1980, sus primeras aplicaciones solo se empezaron a desarrollar a principios de la década de 2010). La secuencia del

genoma humano concluyó oficialmente en 2003, y la oveja clonada Dolly nació en 2006. Las primeras células pluripotentes inducidas (normalmente abreviadas como células iPS, por sus siglas en inglés: «*induced Pluripotent Stem*») se obtuvieron por primera vez en el año 2006, pero los primeros tratamientos no aparecieron hasta la década de 2010. La revista *Aging* ha sido testigo de enormes transformaciones en menos de una década desde que empezara a publicarse en 2009, y será testigo de más cambios aún durante la próxima década. Hay que poner todo esto en perspectiva para comprender el ritmo frenético de los avances, pues lo mismo va a ocurrir en los próximos diez años, o quizás en tan solo cuatro o cinco años, ya que los avances siguen acelerándose. Estamos convencidos de que en dos o tres años veremos avances tan impresionantes que harán que tengamos que rescribir varias partes de este libro.

Otra excelente revista sobre estos temas es *Rejuvenation Research*, inaugurada en 1998 y actualmente bajo la dirección del ya mencionado Aubrey de Grey. En las dos décadas transcurridas desde su creación, la revista ha sido testigo de grandes avances de los que han informado en sus artículos, y esperamos que estos continúen avanzando exponencialmente en los próximos años^[20].

El Apéndice de este libro muestra una extensa cronología que permite poner en contexto histórico los rápidos avances sobre nuestra comprensión de la vida en la Tierra. Esta cronología, además, se atreve a predecir algunas de las fascinantes posibilidades que pueden tener lugar en las próximas décadas gracias a los cambios exponenciales que se avecinan, según la opinión de los autores, además de referencias adicionales de expertos como el famoso y mencionado futurista estadounidense Ray Kurzweil.

De la ciencia a la ética

Ya hemos comentado cómo se ha logrado extender la vida de gusanos y ratones, entre otros tipos de animales modelo. ¿Cuál es la razón por la que experimentamos con ellos? ¿Será que los científicos buscan gusanos y ratones más jóvenes y longevos? Por supuesto que no. Uno de los objetivos es comprender cómo funciona el envejecimiento y el rejuvenecimiento para iniciar ensayos clínicos en humanos en algún momento, como ya hemos comentado y como seguiremos insistiendo a lo largo de estas páginas.

Si ahora aceptamos que será posible extender la vida del ser humano gracias a los próximos avances científicos, entonces debemos discutir si también será ético. Nuestra respuesta es que no solo es ético, sino que además es nuestra responsabilidad moral. Sin embargo, todavía hay gente muy influyente (los llamados «*influencers*»), como el empresario y filántropo estadounidense Bill Gates, que no parecen

convencidos de la prioridad de curar el envejecimiento. Cuando le preguntaron en un acto público en el sitio web Reddit qué pensaba de las investigaciones para extender la vida y conseguir la inmortalidad, Gates respondió^[21]:

Me parece bastante egocéntrico que, cuando aún persisten la malaria y la tuberculosis, los ricos financien cosas para que ellos puedan vivir más tiempo. Aunque admito que sería bueno vivir más tiempo.

Esa misma crítica podría surgir en contra de numerosos programas de investigación médica, como los que están en marcha para curar el cáncer o las cardiopatías. Reparar estas enfermedades también extenderá la vida. Pero mientras la gente aún muere de malaria y tuberculosis, enfermedades que pueden tratarse con un gasto relativamente bajo, podría parecer una prioridad equivocada invertir grandes sumas en la búsqueda de curas para el cáncer y las cardiopatías. Si el criterio es realmente salvar el mayor número de vidas gastando una determinada cantidad de dinero, entonces podríamos preguntarnos: ¿no sería mejor cancelar las iniciativas de investigación del cáncer y, en su lugar, comprar más mosquiteros y garantizar que se distribuyan a todas las áreas que aún padecen malaria? Evidentemente no, algo que muestra que las cosas están lejos de ser blancas y negras.

En realidad, la principal causa de muerte en el planeta no es ni la malaria ni la tuberculosis: es el envejecimiento. Un proyecto de rejuvenecimiento exitoso cumpliría, por lo tanto, con todos los requisitos mencionados. Perseguir ese objetivo está lejos de ser egocéntrico o narcisista. No solo los investigadores (y sus seres queridos y cercanos) se beneficiarán del programa. Los beneficios pueden llegar a todo el planeta, incluidos los ciudadanos de las comunidades más pobres que todavía sufren brotes de malaria y tuberculosis. Al fin y al cabo, estas comunidades también sufren de envejecimiento.

La mayor causa de sufrimiento en el mundo son el envejecimiento y las enfermedades relacionadas con el envejecimiento que conducen a la muerte. Actualmente, en el mundo mueren por causa del envejecimiento alrededor de 150 000 personas cada día, día tras día^[22]. De esa enorme cantidad de muertes, las dos terceras partes se deben a enfermedades relacionadas con el envejecimiento. En los países más avanzados, el número es mucho mayor, cerca del 90% de la gente muere debido al envejecimiento y a las principales enfermedades relacionadas como las dolencias neurodegenerativas, cardiovasculares o el cáncer.

El envejecimiento es una tragedia difícil de comparar con ninguna otra. Más personas mueren en el mundo a diario debido al envejecimiento que del resto de causas de muerte juntas. Concretamente, más del doble muere de envejecimiento que del resto de causas, incluyendo malaria, sida, tuberculosis, accidentes, guerras, terrorismo, hambrunas, etc. El biogerontólogo Aubrey de Grey lo explica de una manera muy clara y directa^[23]:

El envejecimiento realmente es «barbárico» (cruel, despiadado, inhumano). No debería tolerarse. No necesito un argumento ético. No necesito ningún argumento. Es visceral. Dejar que la gente muera es terrible. Yo trabajo para curar el envejecimiento, y creo que tú también deberías, porque pienso que salvar vidas es lo más valioso que alguien puede hacer con su propia vida, y dado que más de 100 000 personas mueren cada día por causas de las cuales los jóvenes esencialmente nunca mueren, salvarás más vidas ayudando a curar el envejecimiento que de cualquier otra manera.

El gran enemigo de la humanidad es la muerte causada por el envejecimiento. La muerte siempre ha sido nuestro peor enemigo. Afortunadamente, hoy han disminuido considerablemente las muertes por guerras y hambrunas, además de las enfermedades infecciosas del pasado como la polio y la viruela. El principal enemigo común de toda la humanidad no son las religiones, la diversidad de grupos étnicos, las distintas culturas, las guerras, el terrorismo, los problemas ecológicos, la contaminación ambiental, los terremotos, la distribución de agua o comida, etc. Sin negar el sufrimiento que pueden generar, en nuestros días, y con mucha diferencia, el mayor enemigo de la humanidad es el envejecimiento y las enfermedades relacionadas con el envejecimiento^[24].

El escritor neozelandés Marc Guedes explica una teoría moral en su artículo «Introducción a la moral inmortalista» en el libro *La conquista científica de la muerte*^[25]:

Cualquier teoría moral tiene que comenzar en algún punto. Empezaremos con lo que conocemos como «intuicionismo moral». El intuicionismo moral es la idea de que algunos preceptos morales se comprenden gracias a la conciencia consciente directa más que por argumentos lógicos. Apelando por tanto a la intuición del lector, el precepto inicial es muy sencillo: «La vida es mejor que la muerte».

¿Puede demostrarse lógicamente que la vida es mejor que la muerte? La pregunta admite debate, pero no es necesario iniciarlo, ya que todos los lectores estarán de acuerdo en que es una buena premisa inicial. No hay que estar de acuerdo en que, en todas las circunstancias, la vida es mejor que la muerte; en algunas ocasiones puede ser preferible morir. Todo lo que se dice es que, en general, la vida es mejor que la muerte, y la mayoría seguramente estará de acuerdo con esta afirmación; de hecho, la preferencia por la vida parece ser universal en la cultura humana. Es casi universal la celebración de nacimientos y el pesar por las muertes.

Apliquemos ahora la idea de que la vida es en general mejor que la muerte a la cuestión ética de la prolongación de la vida. Supongamos que, en algún momento en el futuro, la ciencia encontrará alguna forma de erradicar el envejecimiento y la enfermedad de manera que, exceptuando los accidentes o la violencia, una persona pudiera vivir indefinidamente. Supongamos también que la ciencia no solo puede prolongarnos la vida, sino también revertir por completo cualquier incapacidad y síntoma derivados del envejecimiento, de forma que todos podamos disfrutar del vigor que teníamos con veinte años. Dejando a un lado por ahora la pregunta de si es posible o no, lo que nos preguntamos es si sería ético o no vivir una eterna juventud. ¿Cuánto querrías vivir si tuvieras la oportunidad de vivir de forma saludable?

Se presentan una serie de posibles objeciones a la oferta de la eterna juventud. Estas objeciones se pueden dividir en dos categorías: filosóficas y prácticas. Las prácticas incluirían el problema de la población, la escasez de recursos, la contaminación ambiental, el hecho de que la eterna juventud solo estuviera al alcance de los más ricos, y la acumulación de riquezas y poder por un grupo de inmortales de élite.

No vamos a detenernos ahora en los miles de problemas prácticos que podría causar la prolongación radical de la vida; simplemente haremos constar que la historia sugiere que casi todos los avances científicos o tecnológicos provocaron nuevos problemas prácticos (citemos internet, por ejemplo). En el caso de la extensión radical de la vida es realmente razonable asumir que, si algo así pudiera llegar a suceder, crearía algunos problemas, pero todos ellos tendrían solución. Hemos de examinar las razones

filosóficas que sustentan el deseo de prolongar la vida. Si descubrimos que existen poderosas razones éticas para prolongar la vida, significará que estaríamos más seguros de que esta ampliación ofrecerá un balance positivo, a pesar de los problemas que surjan de ella.

La mayoría de la gente diría hoy que quiere vivir un día más. Mañana dirían probablemente que también quieren vivir otro día más, y así sucesivamente. Es decir, no es fácil concebir cuándo alguien querría decir qué día quiere morir exactamente, teniendo en cuenta que la persona se encontraría en buenas condiciones físicas y mentales. La idea es vivir indefinidamente, pero indefinidamente joven, no indefinidamente viejo. Guedes desarrolla su análisis explicando que las críticas a la longevidad indefinida no son realmente válidas en el mejor de los casos, y suponen un desprecio por la vida en el peor de los casos:

Ya se podría afirmar que tanto las objeciones filosóficas como las prácticas no tienen ningún sentido. Se verá que no solo la lucha por una vida más larga aumenta el valor intrínseco de cada momento, sino que también incentiva el comportamiento moral.

El sufrimiento causado por el envejecimiento a cada persona, a sus familias, y a la sociedad en su conjunto, es difícil de cuantificar, pero enfatizamos que es mucho mayor al de cualquier otra tragedia actual. La vida es considerada «sagrada» por la mayoría de las religiones, y es el primer derecho de la gente, pues sin vida no hay ningún otro derecho, ni deber que valga. El derecho a la vida es un derecho que se reconoce a cualquiera, un derecho que protege de ser privado de la vida por terceros. Este derecho generalmente se reconoce por el simple hecho de estar vivo, se considera un derecho fundamental de la persona y está recogido no solo entre los derechos del hombre sino en la abrumadora mayoría de legislaciones avanzadas de forma explícita.

Legalmente, entre los derechos del hombre sin duda el más importante es el derecho a la vida, pues es la razón de ser de los demás, ya que no tendría sentido garantizar la propiedad, la religión o la cultura si el sujeto al que se le conceden está muerto. Integra la categoría de derechos civiles y de primera generación, y está reconocido en numerosos tratados internacionales: el *Pacto Internacional de los Derechos Civiles y Políticos*, la *Convención sobre los Derechos del Niño*, la *Convención para la Sanción del Delito de Genocidio*, la *Convención Internacional sobre la Eliminación de todas las Formas de Discriminación Racial*, y la *Convención contra la Tortura y otros Tratos o Penas Cruelles, Inhumanas y Degradantes*. El derecho a la vida está claramente plasmado en el tercer artículo de la *Declaración Universal de los Derechos Humanos*^[26]:

Todo individuo tiene derecho a la vida, a la libertad y a la seguridad de su persona.

A modo de comparación trágica, *La fábula del dragón tirano* es una historia que asemeja el envejecimiento humano con un dragón tirano que devora miles de vidas cada día. Nuestro sistema social se ha adaptado a esta fatalidad invirtiendo ingentes

cantidades de dinero y adaptando nuestra psicología a esta tragedia descomunal. La fábula fue originalmente escrita en 2005 por Nick Bostrom, filósofo de la ciencia, director del Instituto del Futuro de la Humanidad (Future of Humanity Institute), perteneciente a la Facultad de Filosofía de la Universidad de Oxford, y cofundador de la Asociación Transhumanista Mundial (World Transhumanist Association, actualmente conocida como Humanity+).^[27]

Una revolución para todos: desde niños a viejos

Como ya hemos adelantado y veremos en los próximos capítulos, la posibilidad científica de la inmortalidad (en realidad, amortalidad) física y su defensa moral es en realidad el mayor reto de la humanidad. Siempre ha sido el sueño más deseado, desde la aparición de los primeros *Homo sapiens sapiens*, pero nunca tuvimos la tecnología para realizar ese sueño inmortal, hasta hoy.

Incluso los niños comprenden que el envejecimiento es malo, que la muerte es la pérdida más terrible que le puede pasar a alguien y a su familia. El escritor bielorrusoestadounidense Gennady Stolyarov II, director del partido transhumanista de Estados Unidos, escribió en 2013 un libro para niños llamado *La muerte está mal*, donde explica^[28]:

Este es el libro que me hubiera gustado tener cuando era niño pero nunca tuve. Ahora que lo tienes, puedes descubrir en menos de una hora lo que me llevó años aprender a plazos. Tú, en cambio, puedes pasar esos años luchando contra el más grande enemigo común: la muerte.

Stolyarov II prosigue con una conversación que mantuvo siendo un niño con su madre, que le estaba explicando que la gente, finalmente, se «muere». El joven pregunta sorprendido a su madre:

—¿Se muere? ¿Qué significa eso? —pregunté—. Eso quiere decir que las personas dejan de existir. Ya no están presentes nunca más —me contestó—. ¿Pero por qué se mueren? ¿Acaso hacen algo malo para merecerlo? —cuestioné—. No, eso le pasa a todos. La gente envejece y después se muere —me dijo—. ¡Qué horror! —exclamé— ¡nadie debería morir!

Afortunadamente, los niños de esta generación pueden formar parte de la primera generación de humanos inmortales (o amortales), como suele decir Aubrey de Grey, o como decimos irónicamente los autores de este libro: «Siempre que los niños se porten bien». Si seguimos avanzando exponencialmente, pronto podremos tener los primeros tratamientos y terapias para el rejuvenecimiento humano. Y cuanto antes, mejor. Como dijo la actriz, cantante, comedianta, guionista y dramaturga estadounidense Mae West: «Nunca eres demasiado viejo para querer ser más joven».

Debemos ser conscientes de que vivimos entre la última generación mortal y la primera inmortal: ¿dónde quieres estar tú? No importa la edad que tengas ahora, te

recomendamos que te unas a esta revolución contra el envejecimiento y la muerte.
Como está escrito en 1 Corintios 15:26 de la Biblia:

Y el último enemigo que será abolido es la muerte.

1

La vida apareció para vivir

Todos los hombres tienen naturalmente el deseo de saber.

ARISTÓTELES, c. 350 a. C.

Tu vida es un milagro.

WILLIAM SHAKESPEARE, 1608

Todas las verdades son fáciles de entender, una vez descubiertas. La cuestión es descubrirlas.

GALILEO GALILEI, 1632

El mundo ha avanzado mucho desde las primeras narraciones históricas sobre la creación del universo propuestas por las culturas primitivas. Hemos pasado de historias mitológicas precientíficas a teorías científicas que pueden validarse en base a la experimentación. De cualquier manera, el origen de la vida todavía continúa siendo un misterio que esperamos algún día se pueda comprender mejor^[29].

El científico ruso Aleksandr Oparin planteó en 1924 sus primeras ideas en su obra *El origen de la vida en la Tierra*. Oparin era un evolucionista convencido, y por ello estableció una secuencia de acontecimientos por la que estas primeras sustancias orgánicas se transformaron gradualmente mediante selección natural hasta formar un organismo vivo en el mar primitivo de la Tierra.

Años más tarde, en 1952, el joven Stanley Miller, estudiante de química en la Universidad de Chicago, junto con su profesor Harold Urey, trataron de probar esta teoría con un sencillo aparato en el que se mezclaba vapor de agua, metano, amoníaco e hidrógeno. Se pensaba que estos gases eran los que existían en la atmósfera terrestre en aquel entonces. Para simular las corrientes eléctricas de tormentas primigenias (aportes de energía) utilizaron electrodos. Con este experimento simulaban las condiciones prebióticas y, gracias al aporte de energía de los electrodos, lograron obtener aminoácidos, algunos azúcares y ácidos nucleicos, pero nunca consiguieron materia viva, solo algunos de sus componentes.

En 1953, los científicos ingleses Francis Crick y Rosalind Franklin y el estadounidense James Watson descubrieron la estructura del ADN. Este hallazgo marcaría para siempre los trabajos y teorías posteriores sobre el origen de la vida. A continuación, el científico español Joan Oró intentó hacer confluir los avances de la química con la creciente importancia de los estudios sobre el ADN, siguiendo los avances en 1955 de su compatriota Severo Ochoa. En 1959 consiguió sintetizar adenina (una de las bases del ADN y ARN) en condiciones que se suponía existían en

la Tierra primitiva. En su libro *El origen de la vida*, Oró escribió^[30]:

Algunos de los procesos prebióticos son reproducibles en líneas generales en el laboratorio, y se ha comprobado que el medio acuoso o líquido es el más idóneo para su desarrollo. Por tanto, es casi seguro que la vida brotó en lo que se ha llamado mar primordial u océano primitivo.

Las bacterias colonizan el mundo

Independientemente de cómo haya sido el origen de la vida en el planeta, y quizás nunca lo sabremos, lo cierto es que los primeros organismos vivos debieron de ser células muy pequeñas y sencillas pero con capacidad para multiplicarse. Estos microorganismos primitivos fueron probablemente bacterias, o algo muy parecido a las bacterias más simples que hoy conocemos^[31].

Las bacterias son los organismos más abundantes del planeta. Son ubicuas, se encuentran en todos los ambientes terrestres y acuáticos; crecen hasta en los hábitats más extremos como los manantiales de aguas calientes y ácidas, en medio de desechos radiactivos, en las profundidades tanto del mar como de la corteza terrestre. Algunas bacterias pueden incluso sobrevivir en las condiciones extremas del espacio exterior, como ya ha sido demostrado por científicos de la ESA y la NASA.

Las bacterias son tan abundantes que se estima que hay en torno a 40 millones de células bacterianas en un gramo de tierra y un millón de células bacterianas en un mililitro de agua dulce. En total, se calcula que hay aproximadamente 5×10^{30} bacterias en todo el mundo, una cifra realmente impresionante que muestra que las bacterias han colonizado exitosamente nuestro planeta durante miles de millones de años^[32]. Sin embargo, menos de la mitad de las especies conocidas de bacterias han sido cultivadas en el laboratorio. Aún más, se estima que una gran parte de las especies de bacterias existentes, quizás hasta el 90%, aún no han sido ni siquiera descritas científicamente.

En el cuerpo humano hay aproximadamente diez veces más células bacterianas que células humanas, especialmente en la piel y en el tracto digestivo. Las células humanas son mucho más grandes, pero las células bacterianas son mucho más abundantes. Afortunadamente, la mayoría de las bacterias presentes en el cuerpo humano son inofensivas o beneficiosas (aunque algunas bacterias patógenas pueden causar enfermedades infecciosas, como el cólera, la difteria, la lepra, la sífilis o la tuberculosis).

Las bacterias son microorganismos muy simples y no tienen un núcleo, por lo que se llaman procariotas (del griego «pro», que quiere decir «antes», y «karyon» que quiere decir «nuez» o «núcleo»). Las bacterias tienen generalmente un solo cromosoma circular, que se encuentra dentro de la pared celular de la bacteria, y no tienen un núcleo como tal. Un cromosoma circular no tiene comienzo ni final, y por

eso tampoco tiene telómeros (del griego «telos», que quiere decir «final», y «meros» que quiere decir «parte»). Por otro lado, las células eucariotas (del griego «eu», que quiere decir «bueno» y «karyon», que quiere decir «nuez» o «núcleo») tienen «partes finales» o telómeros pues sus cromosomas no son circulares. La palabra bacteria («bastón» en griego) fue acuñada por el científico alemán Christian Ehrenberg en 1828, y el biólogo francés Édouard Chatton creó las palabras «procariota» y «eucariota» en 1925 para distinguir los organismos sin un verdadero núcleo, como las bacterias, y los organismos con núcleo, como las plantas y los animales.

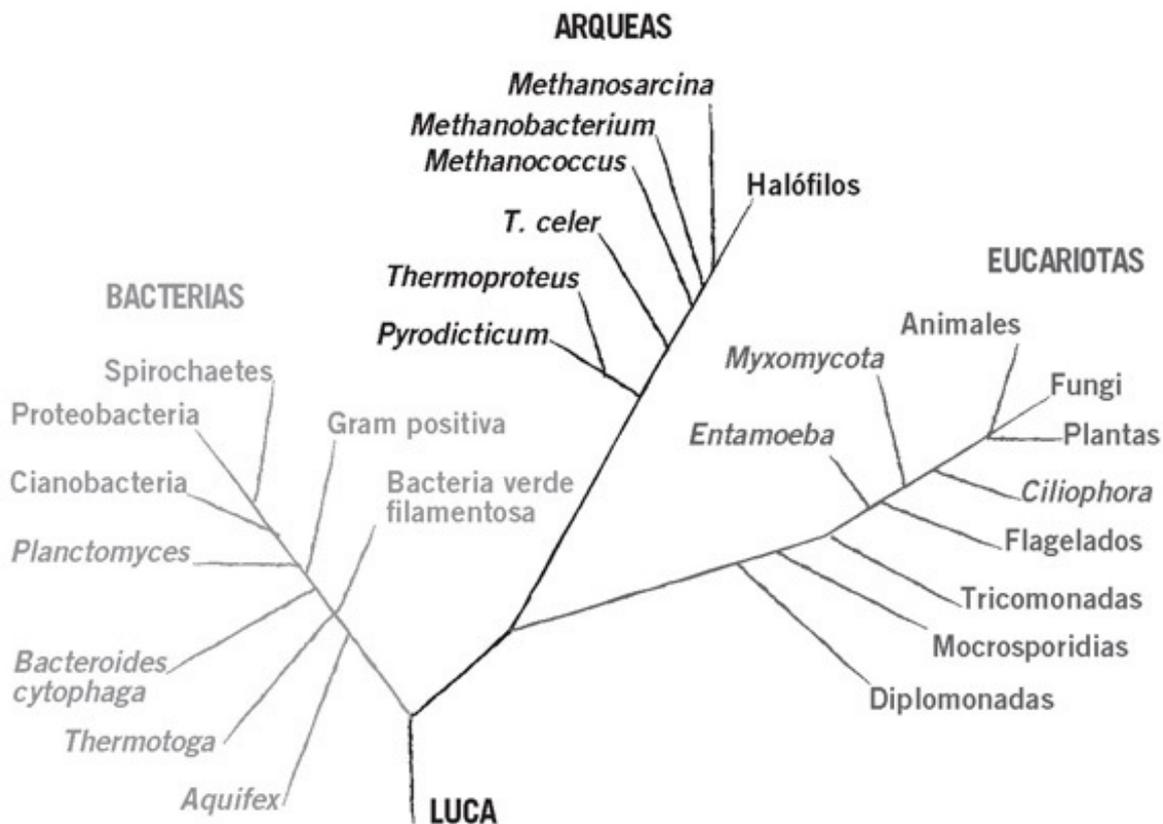
El éxito evolutivo de las bacterias les permitió colonizar básicamente todas las partes del planeta, y generó innumerables especies de bacterias, muchas de las cuales aún se desconocen. De hecho, la evolución de estos organismos, como la evolución del resto de formas de vida, aún continúa. Primero se pensó que las bacterias tenían un solo cromosoma circular, pero luego se encontraron bacterias con más cromosomas, incluso cromosomas lineales y combinaciones de cromosomas circulares y lineales. Realmente es fascinante ver cómo la vida experimenta permanentemente con múltiples posibilidades^[33].

Evolutivamente, las células procariotas (sin núcleo) aparecieron antes que las células eucariotas (con núcleo). Hay otros microorganismos sin núcleo llamados arqueas, menos abundantes y de aparición posiblemente posterior a las bacterias y que junto con ellas forman el grupo de las procariotas. A nivel evolutivo, se estima que existió un último antepasado común universal conocido como LUCA (del inglés «*Last Universal Common Ancestor*»), que debió existir hace cerca de 4000 millones de años, y del cual se derivan todas las formas de vida actuales, primero las procariotas (bacterias y arqueas) y luego las eucariotas (incluyendo animales y plantas actuales). Todos los seres vivos llevamos el material genético básico con ADN del ancestro original LUCA, con un mínimo de 355 genes originales constituidos gracias a cuatro bases de nucleótidos llamados: adenina (A), citosina (C), guanina (G) y timina (T^[34]).

La Figura 1-1 muestra el llamado árbol filogenético de la vida, donde se pueden observar claramente los dos grandes grupos (a veces llamados «dominios», «reinos» o «imperios») de procariotas (principalmente organismos unicelulares: bacterias y arqueas) y de eucariotas (principalmente organismos multicelulares: donde aparecen los hongos o «fungi», los animales y las plantas). La biología es muy compleja, y la evolución ha tenido millones de años para actuar, así que cabe resaltar que también existen procariotas multicelulares, por un lado, y eucariotas unicelulares, por el otro. Sin embargo, la mayoría de los grandes organismos eucariotas son multicelulares y contienen cromosomas lineales con telómeros en los extremos de los cromosomas, dentro del gran árbol filogenético de la vida, con el origen común de LUCA.

FIGURA 1-1

Árbol filogenético de la vida



A nivel reproductivo, las bacterias pueden considerarse biológicamente «inmortales» bajo condiciones ideales de crecimiento. Bajo las mejores condiciones, cuando una célula se divide simétricamente produce dos células hijas, y este proceso de división celular restaura cada célula a un estado joven. Es decir, en este tipo de reproducción asexual simétrica, cada célula hija es igual a la célula madre (excepto alguna posible mutación en la división celular) pero en estado joven. Es decir, las bacterias que se reproducen de esta forma se pueden considerar biológicamente inmortales. Análogamente, las células madre y los gametos de organismos multicelulares pueden considerarse también como «inmortales», según veremos más adelante.

Ricardo Guerrero y Mercedes Berlanga, microbiólogos españoles de la Universidad de Barcelona, explican así la «inmortalidad» procariótica^[35]:

Por extraño que parezca, el envejecimiento y la muerte, que son el destino último de los humanos, no eran necesarios en los albores de la vida, y no lo fueron durante cientos de millones de años. La clásica definición de un ser vivo como aquel que «nace, crece, se reproduce y muere» no puede aplicarse de la misma manera a los organismos procariotas que a los eucariotas.

En una célula procariota en división, el ADN es arrastrado por la membrana a la que está unido a medida que esta crece, hasta que la célula se divide para formar dos células idénticas a la progenitora. Siempre que el entorno lo permita, los procariotas pueden crecer y dividirse sin envejecer. Aunque hay variaciones del modelo general, la división celular típica de las bacterias se produce por «fisión binaria» y da como resultado dos células equivalentes.

Sin embargo, no todas las bacterias se dividen simétricamente con un crecimiento llamado «intercalar» que produce células hijas iguales que se reproducen sin envejecer. Guerrero y Berlanga también aclaran:

Con el crecimiento intercalar, las células, en principio, no mueren. Obviamente, como toda forma de vida, las bacterias pueden «morir» por hambre (ausencia de nutrientes), calor (alta temperatura), alta concentración de sal, desecación o deshidratación, etcétera.

Cabe resaltar que no todas las bacterias se dividen de esta forma. Las bacterias que se dividen asimétricamente por crecimiento «polar» generan bacterias hijas diferentes que eventualmente envejecen y mueren.

Aunque desconocemos muchos detalles sobre la aparición y la evolución de la vida, desde cierto punto de vista podemos decir que: la vida apareció para vivir, la vida no apareció para morir. Por lo menos entre las bacterias que se reproducen simétricamente y que no envejecen, en condiciones ideales, aunque no entre las bacterias que se reproducen asimétricamente, que sí envejecen.

Es obvio que la muerte siempre ha estado presente, pero las primeras formas de vida evolucionaron para poder vivir, quizás indefinidamente jóvenes, bajo condiciones ideales. No obstante, las duras realidades de la vida, como la falta de alimentos o las enfermedades, conducían a la muerte, tanto a los organismos que envejecían como a los que no envejecían.

De procariotas unicelulares a eucariotas multicelulares

Los científicos estiman que los primeros organismos con un núcleo verdadero, es decir, los eucariotas, aparecieron cerca de 2000 millones de años atrás, también descendientes del ancestro común LUCA, con el mismo tipo de ADN que tenemos todas las formas de vida en la Tierra. Los primeros organismos eucariotas fueron también unicelulares, entre ellos los hongos, y específicamente las primeras levaduras, que también son consideradas biológicamente «inmortales».

En un estudio publicado en la revista científica *Cell* en el año 2013, un grupo de investigadores de Estados Unidos y del Reino Unido dieron a conocer los siguientes resultados según sus experimentos con la reproducción de la llamada levadura de división por fisión^[36]:

Muchos organismos unicelulares envejecen: a medida que pasa el tiempo, se dividen más lentamente y finalmente mueren. En la levadura en ciernes, la segregación asimétrica del daño celular resulta en el envejecimiento de las células madre y las hijas rejuvenecidas. Nuestra hipótesis es que los organismos en los que no existe esta asimetría, o que puede modularse, no envejecen.

La extensión de la vida útil también ocurre en mutantes que tienen una mayor capacidad para manejar el daño relacionado con el estrés y en especies que adquirieron mecanismos más eficientes de resistencia al estrés. En los organismos en los que el envejecimiento no está presente, el estrés puede desencadenar el

envejecimiento, ya sea debido a un aumento en la tasa de producción de daños o al cambiar la forma en que se segrega el daño.

El paradigma actual en la investigación del envejecimiento argumenta que todos los organismos envejecen. Hemos desafiado este punto de vista al no detectar el envejecimiento en células (de levadura) cultivadas en condiciones favorables. Hemos demostrado que (la levadura) experimenta una transición entre no envejecer y envejecer, debido a la segregación asimétrica de una gran cantidad de daño. Otros estudios dilucidarán los mecanismos que subyacen a la transición al envejecimiento y su dependencia de los componentes ambientales.

Las células somáticas humanas muestran envejecimiento, se dividen un número limitado de veces *in vitro*, mientras que las células cancerosas, las células germinales y las células madre autorrenovadoras se cree que exhiben inmortalidad replicativa... Estudios comparativos del envejecimiento y las estrategias de vida no relacionadas a través de las especies unicelulares ayudarán a aclarar qué determina el potencial de replicación y el envejecimiento de las células en organismos eucariotas superiores.

Los autores del estudio hacen énfasis en estos hallazgos:

- Las células de levadura de fisión no envejecen en condiciones de crecimiento favorables.
- La ausencia de envejecimiento es independiente de la simetría de división.
- El envejecimiento ocurre después de la segregación asimétrica de daños inducidos por el estrés.
- Después del estrés, la herencia de los agregados se correlaciona con el envejecimiento y la muerte.

Las levaduras unicelulares fueron de los primeros eucariotas, y se presume que conservaron la posibilidad de dividirse sin envejecer en condiciones ideales. La evolución continuó y alrededor de 1500 millones de años atrás aparecen los primeros organismos eucariotas multicelulares. Más tarde, cerca de 1200 millones de años atrás aparece la reproducción sexual junto con las células germinales y las células somáticas dentro de los organismos eucariotas multicelulares. (Como casi todo en biología, siempre hay excepciones, y muchos organismos eucariotas multicelulares se reproducen sexualmente, pero no todos).

A finales del siglo XIX los científicos comenzaron a investigar las células germinales como si fueran totalmente diferentes del resto de las células somáticas (del griego, «soma» significa «cuerpo»). Básicamente los organismos multicelulares están compuestos por muchas células somáticas, pero las pocas células germinales son fundamentales para la continuidad y la supervivencia de la especie. Las células germinales producen los gametos (óvulos y espermatozoides) para la reproducción sexual. Adicionalmente, las células germinales son biológicamente inmortales, es decir, no envejecen. Sin embargo, las células germinales mueren cuando el resto del cuerpo muere, pues el cuerpo está principalmente compuesto por células somáticas que sí envejecen.

Hoy sabemos además que las células madre embrionarias y las células madre

pluripotentes, al igual que las células germinales, también son biológicamente inmortales. Ni las células germinales ni las células madre envejecen, aunque también mueren cuando el cuerpo donde viven envejece y muere.

En general, las células somáticas se dividen por «mitosis» (con una distribución similar del material genético) y originan la mayoría de las células del cuerpo. Las células germinales se dividen por «meiosis» (que en los organismos con reproducción sexual producen los óvulos o los espermatozoides con la mitad del material genético para luego combinarse durante la fecundación entre gametos).

La reproducción sexual tiene muchas ventajas, como permitir una evolución más rápida, pero también muchas desventajas, como solo necesitar que las células germinales sean biológicamente inmortales. Desde un punto de vista biológico, las células somáticas son desechables con la reproducción sexual, mientras que las células germinales no solo son inmortales (es decir, no envejecen en su propia generación), sino que además transmiten su material genético de generación en generación a través de la reproducción sexual.

La selección sexual de organismos eucariotas es un tipo de selección natural (según las ideas del naturalista inglés Charles Darwin) en la cual algunos individuos se reproducen con más éxito que otros en una población debido a la selección intersexual. La reproducción sexual se puede considerar como una «fuerza evolutiva que no existe en las poblaciones asexuales». Por otro lado, los organismos procariotas, cuyas células pueden tener material adicional o transformado debido a mutaciones en el tiempo, se reproducen a través de la reproducción asexual simétrica o asimétrica. (En casos específicos como la transferencia genética horizontal pueden ocurrir procesos llamados conjugación, transformación o transducción, que algunas veces son similares a la reproducción sexual).

Organismos inmortales o con senescencia «negligible»

La biología y la evolución de la vida son tan fascinantes y están tan llenas de sorpresas que hoy podemos decir, como hemos insistido, que la vida apareció para vivir, como lo demuestran las bacterias que se reproducen simétricamente en condiciones ideales. Además de organismos procariotas como las bacterias, también hay organismos eucariotas como las levaduras que pueden ser biológicamente inmortales. También organismos que envejecen demuestran esta característica en células claves para su desarrollo, como lo son las células germinales y las células madre de organismos eucariotas que tampoco envejecen, es decir, son biológicamente inmortales. Desafortunadamente, las células somáticas sí envejecen y arrastran con ellas, cuando mueren, a las células germinales y a las células madre pluripotentes dentro del cuerpo.

Gracias a los continuos avances de la ciencia, hoy también sabemos que hay organismos eucariotas multicelulares que son biológicamente inmortales, no solo sus células germinales, sino también sus células somáticas. Las hidras son un excelente ejemplo de esta capacidad de no envejecer y de regenerarse, y quizás lo sabían los antiguos griegos cuando hablaban de las famosas grandes hidras de su mitología. Su nombre proviene de la criatura mitológica del mismo nombre, de la cual brotarían dos cabezas si se le cortaba una.

La hidra es una especie de los cnidarios que viven en las aguas dulces. Miden unos pocos milímetros y son depredadores, pues capturan pequeñas presas con sus tentáculos cargados de células urticantes. Tienen un asombroso poder de regeneración, se reproducen tanto asexual como sexualmente y son hermafroditas. Todos los cnidarios pueden regenerarse, lo que les permite recuperarse de heridas gracias a que sus células se dividen continuamente. En un artículo pionero del biólogo estadounidense Daniel Martínez publicado en 1998 en la revista científica *Experimental Gerontology* se indica que^[37]:

La senescencia, un proceso de deterioro que aumenta la probabilidad de muerte de un organismo con el aumento de la edad cronológica, se ha encontrado en todos los metazoos donde se han llevado a cabo estudios cuidadosos. Sin embargo, ha habido mucha controversia sobre la posible inmortalidad de la hidra, un miembro solitario de agua dulce del filo *Cnidaria*, uno de los primeros grupos divergentes de metazoos. Los investigadores han sugerido que la hidra es capaz de escapar del envejecimiento al renovar constantemente los tejidos de su cuerpo. Pero no se han publicado datos para respaldar esta afirmación. Para evaluar la presencia o ausencia de envejecimiento en la hidra, se analizaron la mortalidad y las tasas de reproducción de tres cohortes de hidra durante un período de cuatro años. Los resultados no proporcionan pruebas de envejecimiento en la hidra: las tasas de mortalidad han permanecido extremadamente bajas y no hay signos aparentes de disminución en las tasas de reproducción. Es posible que la hidra haya escapado a la senescencia y pueda ser potencialmente inmortal.

Diferentes tipos de medusas también pueden ser considerados como biológicamente inmortales. Por ejemplo, la llamada *Turritopsis dohrnii*, o *Turritopsis nutricula*, es una especie de medusa pequeña que utiliza una forma de transdiferenciación biológica para reponer células tras la reproducción sexual. Este ciclo puede repetirse indefinidamente, volviéndolas biológicamente inmortales. Otros animales similares incluyen la medusa *Laodicea undulata* y los escifozoos *Aurelia*. Un estudio científico del año 2015 indica que^[38]:

El género *Aurelia* es uno de los principales contribuyentes a la proliferación de medusas en las aguas costeras, posiblemente debido en parte a causas hidroclimáticas y antropogénicas, así como a sus características reproductivas altamente adaptativas. A pesar de la amplia plasticidad de los ciclos de vida cnidarios, especialmente los reconocidos en ciertas especies de *Hydrozoa*, las modificaciones conocidas de la historia de vida de *Aurelia* se limitaron principalmente a su etapa de pólipo. En este estudio, documentamos la formación de pólipos directamente a partir del ectodermo de las medusas juveniles degeneradas... Esta es la primera evidencia de una retrotransformación de medusas sexualmente maduras en pólipos en *Aurelia* sp. 1. La reconstrucción resultante del ciclo de vida esquemático de *Aurelia* revela el potencial subestimado de la reversión del ciclo de vida en las medusas, con posibles implicaciones para los estudios biológicos y ecológicos.

Los procesos moleculares que tienen lugar dentro de estas medusas durante su

notable transformación podrían convertirse en partes clave de nuevas terapias con aplicabilidad humana. El investigador japonés Shin Kubota, experto mundial en la llamada «medusa inmortal», ha llevado a cabo una investigación exhaustiva de este animal y tiene grandes esperanzas en lo que podría descubrirse gracias a nuevas investigaciones. Kubota expresa su visión de esta manera en *The New York Times*^[39]:

La aplicación de *Turritopsis* para los seres humanos es el sueño más maravilloso de la humanidad. Una vez que determinemos cómo se rejuvenece la medusa, deberíamos lograr cosas muy positivas. Mi opinión es que evolucionaremos y nos convertiremos en inmortales.

Los gusanos conocidos como *Planarias* pueden cortarse en trozos y cada trozo tendrá la capacidad de regenerar un gusano completo. Las planarias se reproducen tanto sexual como asexualmente. Los estudios sugieren que las planarias parecen regenerarse (es decir, sanar) indefinidamente, y los asexuales tienen una capacidad regenerativa aparentemente ilimitada (gracias al continuo crecimiento de sus telómeros) alimentada por una población de células madre adultas altamente proliferativas. Como describe un artículo científico del año 2012^[40]:

Algunos animales pueden ser potencialmente inmortales o al menos de muy larga vida. Comprender los mecanismos que han evolucionado para permitir que algunos animales sean inmortales puede arrojar más luz sobre las posibilidades de aliviar el envejecimiento y los fenotipos relacionados con la edad en las células humanas. Estos animales deben tener la capacidad de reemplazar células y tejidos envejecidos, dañados o enfermos y, por lo tanto, utilizar una población de células madre proliferativas capaces de hacerlo.

Las planarias han sido descritas como «inmortales bajo el filo del cuchillo», y pueden tener una capacidad indefinida para renovar sus tejidos diferenciados gracias a un grupo de células madre adultas planarias potencialmente inmortales.

Otras investigaciones sugieren que las langostas no se debilitan o pierden fertilidad con la edad, y que las langostas más viejas pueden ser más fértiles que las langostas más jóvenes. Su longevidad puede deberse a la telomerasa, una enzima que repara largas secciones repetitivas de secuencias de ADN en los extremos de los cromosomas, conocidos como telómeros. La mayoría de los vertebrados expresa la telomerasa durante las etapas embrionarias, pero generalmente está ausente durante las etapas adultas de la vida. Las langostas, a diferencia de los vertebrados, expresan la telomerasa en la mayoría de los tejidos del adulto, lo que se ha sugerido que está relacionado con su longevidad^[41]. Sin embargo, las langostas no son inmortales pues crecen mediante muda, lo que requiere cantidades crecientes de energía, y cuanto más grande es la concha, más energía se requiere. Con el paso del tiempo, la langosta morirá probablemente de agotamiento durante una muda. También se sabe que las langostas viejas detienen la muda, lo que significa que la cáscara remanente se dañará, infectará o se desmoronará, provocando la muerte.

El biogerontólogo estadounidense Caleb Finch, profesor emérito de la Universidad del Sur de California, es uno de los expertos mundiales en temas de envejecimiento y en comparaciones entre diferentes especies. Finch acuñó la

expresión «senescencia negligible» («*negligible senescence*») para describir especies en las que^[42]:

No hay evidencia de disfunciones fisiológicas en edades avanzadas, no hay aceleración de la mortalidad durante la vida adulta, y no hay un límite característico reconocido para la esperanza de vida.

La senescencia negligible no significa la completa inmortalidad, pues siempre hay causas de muerte, como la depredación y los accidentes, o limitaciones energéticas y físicas como en el caso de la muda o la destrucción de la cáscara en las langostas, por ejemplo. Como vimos antes, las bacterias son organismos muy frágiles pero que pueden vivir indefinidamente en condiciones ideales, ya sea individualmente o en una colonia.

Existen colonias clonales o grupos de individuos genéticamente idénticos, tales como plantas, hongos o bacterias, que han crecido en un determinado lugar, todos ellos originarios de un solo antepasado por reproducción vegetativa, no sexual. Algunas de estas colonias clonales llevan vivas miles de años. La más grande conocida hasta el momento es una planta acuática gigante descubierta en el año 2006 entre las islas Formentera e Ibiza^[43]:

Se trata de un alga del tipo *Posidonia oceánica* que mide ocho kilómetros de longitud y viva desde hace 100 000 años.

Otro candidato al organismo clonal más longevo del mundo es el conocido como *Pando*, o el *Gigante Temblón*, que surgió a partir de un único álamo temblón masculino (*Populus tremuloides*) localizado en Utah, Estados Unidos. De acuerdo a marcadores genéticos se ha determinado que toda la colonia forma parte de un único organismo viviente con un sistema masivo de raíces bajo tierra. El sistema radicular de *Pando* se considera entre los organismos vivos más viejos del mundo, con una edad aproximada de 80 000 años y se estima que la planta pesa de forma colectiva más de 6600 toneladas, lo que la convierte en el organismo vivo más pesado^[44].

También han sido identificados otros organismos clonales de más de 10 000 años formados por diferentes colonias de plantas y hongos que crecen y se reproducen asexualmente. Como organismos individuales, quizás los más longevos sean los «endolitos» (arqueas, bacterias, fungus, líquenes, algas o amebas) que viven dentro de una roca, coral, exoesqueleto o en los poros entre los granos minerales de una roca. Muchos son extremófilos porque viven en sitios que antiguamente se pensaba que eran inhóspitos para cualquier tipo de vida. Los endolitos (del griego: «dentro de la piedra») son particularmente estudiados por los astrobiólogos, quienes desarrollan teorías sobre medio ambientes endolíticos en Marte y otros planetas como refugios potenciales para comunidades microbianas extraterrestres. En el año 2013, en un gran descubrimiento científico con endolitos marinos, un grupo internacional de científicos^[45]:

Informa haber encontrado bacterias, hongos y virus que viven a unos tres kilómetros bajo el fondo del océano; esos especímenes, según describen, parecen tener millones de años y se reproducen solo cada 10 000 años.

Hay diversos tipos de animales terrestres y acuáticos muy longevos, incluyendo ciertos corales y esponjas. En el caso de árboles longevos, las estimaciones más precisas incluyen el famoso *Prometeo*, que en 1964 fue talado para verificar su edad de cerca de 5000 años, y actualmente su pariente *Matusalén*, que se estima tiene una edad de 4845 años. Además hay otro árbol sin nombre cuya localización no se ha divulgado para evitar que le hagan daño (se estima que tiene unos 5062 años, según la información pública disponible en 2012^[46]). Todos estos árboles son pinos de la especie *Pinus longaeva* y son los organismos individuales más longevos que conocemos hasta hoy. Para ponerlo en perspectiva, pensemos que estos árboles nacieron mucho antes de la construcción de las pirámides de Egipto, por ejemplo^[47].

En Gales existe un árbol llamado el *Llangernyw Yew* con una edad estimada entre 4000 y 5000 años. Se trata de una planta de la especie *Taxus baccata*, localizada en el jardín de una iglesia en el pueblo de Llangernyw, Conway^[48]. En otras partes del mundo, desde Chile hasta Japón existen otras especies de árboles como coníferas y olivos con edades estimadas en dos, tres y hasta cuatro mil años.

Un árbol del tipo higo sagrado, especie *Ficus religiosa*, el llamado *Jaya Sri Maha Bodhi* en Anuradhapura, Sri Lanka, tiene más de 2300 años, pues fue plantado en el año 288 a. C. Por lo tanto, es el árbol plantado por humanos más antiguo conocido hasta la fecha en el mundo, y es un descendiente directo del original árbol *Bodhi* de India, debajo del cual Siddhartha Gautama, conocido como Buda, se sentó a meditar y alcanzó la «iluminación espiritual^[49]».

El microbiólogo portugués João Pedro de Magalhães, profesor de la Universidad de Liverpool, mantiene una base de datos de longevidad y envejecimiento animal (*Animal Aging and Longevity Database*). Se trata de una interesante lista de organismos con una tasa de senescencia negligible (junto con longevidad estimada en medio salvaje) que incluye las edades máximas conocidas hasta ahora para estas especies^[50]:

- Almeja de Islandia (*Arctica islandica*) – 507 años
- Escorpina de Rougheye (*Sebastes aleutianus*) – 205 años
- Erizo del mar rojo (*Strongylocentrotus franciscanus*) – 200 años
- Tortuga de caja oriental (*Terrapene carolina*) – 138 años
- Proteo (*Proteus anguinus*) – 102 años
- Tortuga de Blanding (*Emydoidea blandingii*) – 77 años
- Tortuga pintada (*Chrysemys picta*) – 61 años

En la lista anterior podríamos incluir también las hidras, medusas, planarias, bacterias y levaduras, en condiciones ideales, descritas anteriormente. Además, se ha identificado recientemente que el tiburón de Groenlandia, de la especie *Somniosus microcephalus*, podría vivir 400 años de acuerdo a lo que conocemos de su longevidad. Todas estas son especies con senescencia negligible, de las cuales vamos a seguir aprendiendo mucho en los próximos años^[51].

La situación no es diferente en los humanos, pues tenemos células germinales y células madre pluripotentes que no envejecen, aunque el resto del cuerpo está formado por células somáticas que sí envejecen. El récord de longevidad humano comprobado es el de Jeanne Louise Calment, que nació el 21 de febrero de 1875 y falleció el 4 de agosto de 1997. Calment fue una francesa supercentenaria (centenarios son las personas que viven más de 100 años y supercentenarios son aquellos que viven más de 110 años) confirmada como la persona registrada más longeva de la historia tras alcanzar la edad de 122 años y 164 días. Residió durante toda su vida en la ciudad de Arlés, al sur de Francia, conoció a Vincent van Gogh, y es además la única persona en la historia de la cual se confirmó que alcanzó las edades de 120, 121 y 122 años. Calment mantuvo una vida sumamente activa para su edad, practicó esgrima hasta los 85 años y siguió montando en bicicleta hasta los 100^[52].

Existen grupos de científicos estudiando a los centenarios y a los supercentenarios para comprender más sobre el envejecimiento humano, desde los factores genéticos hasta los factores ambientales, incluyendo la nutrición. Sin embargo, los humanos todavía envejecemos y sufrimos de senescencia, por eso es fundamental aprender de organismos con senescencia negligible.

Las células inmortales de Henrietta Lacks

Henrietta Lacks fue una agricultora tabacalera que nació en Virginia el 1 de agosto de 1920 y falleció en Maryland el 4 de octubre de 1951. Henrietta provenía de una familia pobre afroamericana con el nombre de Loretta Pleasant y se casó con su primo David Lacks en Halifax, Virginia, antes de mudarse cerca de Baltimore, Maryland, donde murió de cáncer.

Su historia la cuenta la periodista científica Rebecca Skloot en su *bestseller La vida inmortal de Henrietta Lacks*, publicado originalmente en 2010 y presente durante dos años en la lista de los libros más vendidos^[53]:

Henrietta Lacks era una madre afroamericana con cinco hijos y treinta y un años cuando murió de cáncer cervical en 1951. Sin su conocimiento, los médicos que la trataban en el Hospital Johns Hopkins tomaron muestras de tejido de su cuello uterino para realizar investigaciones. Así generaron la primera línea celular inmortalizada viable, milagrosamente productiva, conocida como HeLa. Estas células han ayudado en descubrimientos médicos como la vacuna contra la polio o los tratamientos para el sida.

El 1 de febrero de 1951, Lacks fue atendida en el Hospital Johns Hopkins por un doloroso bulto en el cuello uterino y un derrame de sangre de la vagina. Ese día se le diagnosticó cáncer cervical con un tumor de apariencia diferente a los anteriormente vistos por el ginecólogo examinador. Antes de iniciar el tratamiento contra el tumor, le fueron extraídas células del carcinoma con fines de investigación sin el conocimiento o consentimiento de Henrietta (algo normal en la época). En su segunda visita, ocho días más tarde, el doctor George Otto Gey tomó otra muestra del tumor y guardó una parte. Es en esta segunda muestra donde tienen su origen las hoy llamadas células HeLa (del nombre de la paciente Henrietta Lacks).

Lacks fue tratada con radioterapia durante varios días, un tratamiento común para estos tipos de cánceres en 1951. Lacks volvió para continuar el tratamiento de rayos X, pero su condición empeoró y Lacks regresó el 8 de agosto al Hospital John Hopkins, donde permaneció hasta su muerte. Aunque recibió tratamiento y transfusiones de sangre, murió el 4 de octubre de 1951 por insuficiencia renal. Una autopsia parcial posterior mostró que el cáncer había producido metástasis en otras partes del cuerpo.

Las células del tumor de Henrietta fueron cuidadosamente estudiadas por el doctor Gey, quien descubrió que las células HeLa hacían algo que nunca había visto antes: se mantenían vivas y crecían en cultivo celular. Estas fueron las primeras células humanas que podían desarrollarse en un laboratorio y que eran biológicamente «inmortales» (no morían después de algunas divisiones celulares), y podían emplearse para realizar muchos experimentos. Esto representó un enorme avance para la investigación médica y biológica.

Las células HeLa fueron usadas por el médico y virólogo Jonas Salk para desarrollar una vacuna contra la poliomielitis. Para probar la nueva vacuna de Salk, las células se pusieron en reproducción rápida y masiva en lo que se considera la primera producción «industrial» de células humanas. Desde que fueron puestas en producción masiva, las células HeLa han sido enviadas a científicos de todo el mundo para llevar a cabo investigaciones sobre cáncer, sida, los efectos de la radiación y sustancias tóxicas, mapeo genético y un número incontable de fines científicos. Las células HeLa también se han empleado para investigar la sensibilidad humana frente a la cinta adhesiva, los pegamentos, los cosméticos y muchos otros productos que ahora utilizamos habitualmente.

Desde la década de 1950, los científicos han producido más de 20 toneladas de células HeLa, que también fueron las primeras células humanas clonadas en 1955. Hay más de 11 000 patentes que involucran las células HeLa y se han realizado más

de 70 000 experimentos científicos en todo el mundo con ellas. Gracias a las células HeLa se han creado terapias génicas y medicamentos para tratar enfermedades como el Parkinson, la leucemia, el cáncer de mama y otros tipos de cáncer^[54].

Las células HeLa constituyen hoy en día el linaje celular humano más antiguo cultivado *in vitro* y son las células utilizadas con mayor frecuencia. A diferencia de las células no cancerosas, las células HeLa pueden cultivarse en el laboratorio constantemente, de ahí que se haga referencia a ellas como «células inmortales». Gracias a las células HeLa, hoy sabemos que otros tipos de cáncer son también biológicamente inmortales, es decir, las células de cáncer no envejecen.

La línea celular HeLa ha sido muy exitosa para su uso en la investigación del cáncer. Estas células proliferan anormalmente rápido, aún comparadas con otras células cancerígenas. Durante la división celular, las células HeLa tienen una versión activa de la telomerasa, la enzima que previene el acortamiento gradual de los telómeros, implicados en el envejecimiento y muerte de las células. De este modo, como veremos en el próximo capítulo, las células HeLa eluden el llamado límite de Hayflick, que es el número limitado de divisiones celulares que la mayoría de las células normales puede realizar antes de morir en cultivo celular.

La gran tragedia del cáncer, a diferencia de otras enfermedades, es que las células cancerosas no envejecen y además se reproducen continuamente. Esa es la razón por la que al cáncer hay que matarlo, y cuanto antes mejor, pues el cáncer no se muere solo. Todo lo contrario, el cáncer sigue creciendo, reproduciéndose y esparciéndose por todo el cuerpo. Se podría decir que el «cuerpo» se convierte en la comida del cáncer hasta que ocurre una «metástasis» y entonces el organismo entero muere.

¿Es posible la inmortalidad biológica?

Hemos visto que ya existen diferentes organismos que básicamente no envejecen, es decir, organismos que tienen senescencia negligible. También hemos mencionado que las «mejores» células de nuestros cuerpos (las células germinales y las células madre) no envejecen. Igualmente hemos indicado que las «peores» células de nuestros cuerpos (las células de cáncer) tampoco envejecen. Por lo tanto, la pregunta no debería ser si la inmortalidad biológica es posible, porque ya lo es. La pregunta, como hemos comentado ya, debería ser más bien cuándo será posible detener el envejecimiento en los seres humanos.

El biólogo estadounidense Michael Rose, experto de la Universidad de California en Irvine en teorías del envejecimiento, explica cómo la «Inmortalidad biológica» es posible en su artículo con ese mismo título, presente en el libro *La*

conquista científica de la muerte^[55]:

¿Es universal el envejecimiento?

Está claro que no. Si todo envejeciese, hubiera sido imposible que las células productoras de espermatozoides y óvulos (línea germinal) sobrevivieran durante millones de años. La mayor parte de los plátanos que nos comemos a lo largo de la vida proviene de clones inmortales producidos en las plantaciones. Incluso en organismos como los mamíferos, que poseen líneas germinales que se separan muy pronto del resto del cuerpo, la supervivencia y la regeneración de las células responsables de la producción de gametos (células germinales) han continuado durante cientos de millones de años. La vida puede continuar de forma indefinida.

Pero, aunque la vida se pueda prolongar de forma indefinida, ¿existen organismos que no envejecen, que son inmortales biológicamente? Debo ser claro en cuanto a un aspecto de la muerte: no es cierto que el envejecimiento sea necesario para destruir organismos que están en un laboratorio. Demostrar que una especie muere en un laboratorio no es equivalente a demostrar que esa especie no es inmortal. Los accidentes en el laboratorio destruyen muchas plantas, animales y criaturas incipientes microscópicas. Las mutaciones mortales también pueden destruir seres vivos a cualquier edad y en cualquier momento. Y también es imposible mantener a un ser vivo libre de toda enfermedad indefinidamente. No envejecer no implica ausencia completa de muerte. Los «inmortales» biológicos morirán con frecuencia, pero no por un proceso endógeno inevitable y sistemático de autodestrucción. La muerte no es envejecimiento y la inmortalidad biológica no es liberarse de la muerte.

Más bien, la demostración de la inmortalidad requiere constatar que las tasas de supervivencia y reproducción no muestran signos de envejecimiento. Existen muchos casos en los que tales patrones se infieren circunstancialmente en plantas y animales simples, tales como las anémonas. Pero los mejores datos cuantitativos que conozco me los proporcionó Martínez, que estudió los índices de mortalidad en la hidra, animal acuático que se estudiaba en la asignatura de Biología del colegio. Martínez descubrió que su hidra no experimentaba, durante periodos de tiempo muy largos, descensos considerables en los índices que miden la capacidad de supervivencia. Las hidras murieron, pero no como consecuencia de patrones que sugirieran envejecimiento. Otros científicos han obtenido datos semejantes de pequeños animales. Algunas especies eran inmortales y otras no, y las inmortales se reproducían sin sexo.

Además, dada la inmortalidad evolutiva de las formas de vida, es claramente incorrecto invocar las leyes de la termodinámica como causa de los límites de la vida. Siempre se ha considerado poco profesional esta invocación, ya que estas leyes solo se aplican a sistemas cerrados, y la vida en la Tierra no es un sistema cerrado porque recibe un importante aporte de energía solar.

Por tanto, podemos considerar totalmente falsos algunos de los grandes prejuicios de los biólogos profesionales en relación con la inmortalidad. El envejecimiento no es universal. Existen organismos biológicamente inmortales.

Rose es pionero en las investigaciones sobre longevidad con las moscas de la fruta *Drosophila melanogaster*, a las cuales ha conseguido extender cuatro veces la esperanza de vida. En 1991, Rose publicó su libro *Evolutionary Biology of Aging*, donde plantea la hipótesis de que el envejecimiento es causado por genes que tienen dos efectos, uno que se produce temprano en la vida y el otro mucho más tarde. Los genes se ven favorecidos por la selección natural como resultado de sus beneficios en la juventud, y los costes aparecen mucho más tarde como efectos colaterales secundarios que identificamos como envejecimiento. Rose también defiende que el envejecimiento puede detenerse en una etapa posterior de la vida, como ha demostrado gracias a sus experimentos alargando cuatro veces la vida del organismo modelo *Drosophila melanogaster*.

Al igual que Rose, nosotros pensamos que el envejecimiento se puede ralentizar, se puede detener, y seguramente se pueda revertir. La prueba de concepto ya existe con otros organismos y ahora se trata de descubrir cómo lograrlo también con

humanos. Es hora de pasar de la teoría a la práctica.

2

¿Qué es el envejecimiento?

Las razones de que algunos animales tengan larga vida y otros corta vida, y, en una palabra, la causa sobre la duración y brevedad de la vida requiere investigación.

ARISTÓTELES, c. 350 a. C.

El envejecimiento es una enfermedad que debe tratarse como cualquier otra enfermedad.

ELIE METCHNIKOFF, 1903

Envejecer no es nada natural.

MARÍA BLASCO, 2016

El envejecimiento es algo plástico que podemos manipular.

JUAN CARLOS IZPISÚA BELMONTE, 2016

El ser humano podrá llegar a vivir entre 350 y 400 años.

GINÉS MORATA, 2018

El estudio científico del envejecimiento es relativamente reciente, y todavía mucho más reciente el estudio científico del rejuvenecimiento. Para exagerar un poco, podríamos decir que la ciencia moderna del envejecimiento apenas tiene unas décadas, y que la ciencia moderna del rejuvenecimiento apenas tiene unos años. Ambas investigaciones apenas han comenzado a nivel de pruebas en el laboratorio, primero con organismos modelos, para en su momento poder hacerlo con humanos. Afortunadamente, cada vez más gente dentro y fuera de la comunidad científica se da cuenta de que pronto podremos disponer de terapias científicas para frenar el envejecimiento, revertir el envejecimiento e iniciar el rejuvenecimiento en humanos.

En el siglo IV a. C., el filósofo griego Aristóteles fue uno de los primeros que planteó el estudio científico del envejecimiento tanto en plantas como en animales. En el siglo II d. C., el médico griego Galeno propuso que el envejecimiento comenzaba con el cambio y el deterioro del cuerpo desde la más temprana edad. En el siglo XIII, el filósofo y monje inglés Roger Bacon planteó la teoría del desgaste (en inglés: «*wear and tear*»). En el siglo XIX, las ideas del naturalista inglés Charles Darwin abrieron la puerta a las teorías evolutivas del envejecimiento, así como a grandes discusiones sobre el envejecimiento programado frente al envejecimiento no programado^[56].

Formas de envejecimiento, de más envejecimiento y de no envejecimiento

Como ya vimos en el primer capítulo del libro, existen organismos que no envejecen, al igual que células que tampoco envejecen, incluso dentro del propio cuerpo humano. Otros organismos, además, tienen la capacidad de regenerar completamente cualquier parte de su cuerpo, incluso el cerebro^[57]. Es decir, el envejecimiento no puede considerarse como un proceso único o unitario, pues hay algunas formas de vida que no envejecen y otras que muestran senescencia negligible.

Hoy también sabemos que existen organismos de la misma especie que pueden o no envejecer, dependiendo del tipo de reproducción. En términos generales, la reproducción asexual es propensa al no envejecimiento, mientras que la reproducción sexual es propensa al envejecimiento, incluso en individuos hermafroditas de la misma especie.

Además, existen diferencias entre la velocidad del envejecimiento entre individuos de la misma especie, entre organismos femeninos, masculinos o hermafroditas. Las hembras de algunas especies tienen una esperanza de vida distinta de la de los machos, y lo mismo se ve en especies con organismos hermafroditas. También existen diferencias considerables entre el envejecimiento de miembros de colonias de insectos sociables, como la gran diferencia que hay entre las esperanzas de vida de los zánganos, las abejas reina y las abejas obreras.

Las condiciones ambientales también influyen mucho en la esperanza de vida, principalmente en especies como insectos e invertebrados que no controlan su temperatura corporal. Por ejemplo, los niveles de temperatura y la cantidad de comida producen grandes cambios en la esperanza de vida de gusanos y moscas. La disminución de la temperatura y la restricción calórica aumenta la esperanza de vida de varias especies.

Se han encontrado varios genes que controlan parte del proceso de envejecimiento, como el descubrimiento de los genes llamados *age-1* y *daf-2* en los gusanos *C. elegans* y los genes *FOXO* en las moscas *Drosophila melanogaster*. Estos genes, y otros descubiertos más adelante, tienen algunos equivalentes en los mamíferos, así que es fundamental comprender cómo funcionan para poder controlar el envejecimiento humano (ya que hoy comprendemos también que se puede modificar genéticamente el envejecimiento).

Todo el mundo sabe que hay organismos que viven poco tiempo, o mucho tiempo, aunque el tiempo es un concepto relativo. En un extremo tenemos algunos insectos primitivos, como las llamadas *efímeras*, que solo viven un día o menos, y en el otro extremo tenemos a los humanos que pueden vivir un siglo o más (además de especies con senescencia negligible). Hoy también sabemos que hay formas de vida con individuos que han sobrevivido siglos y milenios de los cuales no se conoce el

límite potencial de su longevidad.

Las plantas y los animales también envejecen de una manera distinta, tal y como Aristóteles observó hace siglos. Las células animales y las células vegetales presentan grandes diferencias que tienen consecuencias en el modelo de envejecimiento, o incluso de no envejecimiento o senescencia negligible para algunas especies, como las llamadas «plantas perennes» (por ejemplo, las secoyas). Las bacterias, las levaduras y los hongos, por ejemplo, pueden no envejecer, o envejecer, según su forma de reproducción, simetría de división, tipo de células y cromosomas.

También hay células que viven poco tiempo, y otras que viven mucho, incluso dentro del mismo organismo. Por ejemplo, en los humanos, los espermatozoides tienen una esperanza de vida de 3 días (aunque las células germinales que los producen no envejecen), las células del colon suelen vivir 4 días, las células de la piel 2 o 3 semanas, las células rojas de la sangre 4 meses, las células blancas de la sangre más de 1 año, y las neuronas del neocórtex suelen durar toda la vida. Hoy sabemos, además, que las neuronas de algunas partes del cerebro se pueden regenerar, a diferencia de lo que se pensaba hasta hace poco tiempo, pues también existen células madre en diferentes regiones del cerebro^[58].

Las células con cromosomas circulares, como en la mayoría de las bacterias, suelen ser biológicamente inmortales en condiciones ideales; mientras que las células con cromosomas lineales, como son la mayoría de las células somáticas de organismos multicelulares, suelen ser mortales, a menos que desarrollen cáncer y dejen de envejecer.

Hoy sabemos que las células cancerosas pueden volverse biológicamente inmortales como resultado de mutaciones en células somáticas normales que sí envejecen. Actualmente se estudian las células madre cancerosas para encontrar indicios también sobre la inmortalidad biológica en células somáticas normales. Es decir, a pesar de su malignidad, las células cancerígenas también pueden ayudar a desvelar el misterio del envejecimiento.

Las células cancerosas producen la enzima telomerasa para incrementar la longitud de sus telómeros al final de los cromosomas, al igual que hacen las células germinales y las células madre embrionarias y pluripotentes. Las células somáticas de muchas especies no producen telomerasa en individuos adultos, aunque en algunos casos sí lo hacen y esto permite la regeneración continua a nivel celular, como en el caso de los gusanos planarias y algunos anfibios.

Los ejemplos anteriores demuestran que la biología ha tenido millones de años para experimentar con diferentes formas de vida, diferentes especies de organismos, diferentes maneras de reproducción, diferentes tipos de sexo, diferentes formas de células, diferentes patrones de crecimiento, y diferentes modelos de envejecimiento, incluido el no envejecimiento en algunos casos.

La geriatra rumana Anca Ioviță publicó en 2017 la edición en español de su libro *La brecha del envejecimiento entre las especies*. Ioviță comienza «encontrando el

bosque entre los árboles», según indica^[59]:

El envejecimiento es un rompecabezas a resolver.

Este proceso es tradicionalmente estudiado en un par de modelos biológicos como en las moscas de la fruta, gusanos y ratones. Lo que todas estas especies tienen en común es su rápido envejecimiento. Esto es excelente para el presupuesto del laboratorio. Es una gran estrategia a corto plazo. ¿Quién tiene tiempo de estudiar especies que viven décadas?

Pero las diferencias en la esperanza de vida entre las especies son magnitudes de un orden mayor a la de cualquier variación lograda en el laboratorio. Esta es la razón que me llevó a estudiar incontables fuentes de información en un intento por reunir investigación altamente especializada en un libro fácil de entender. Quería ver el bosque entre los árboles. Quería exponer la brecha del envejecimiento entre las especies en una secuencia lógica y fácil de seguir.

El envejecimiento es inevitable, o eso me han dicho. Nunca fui de esas personas que acepta las cosas solo porque alguna autoridad lo dijera. Así que empecé a cuestionar si el envejecimiento es igual en todas las especies. Buscando las respuestas me sorprendió descubrir la escasa diversidad de modelos biológicos utilizados en gerontología. Me decidí y busqué el más abstruso de los artículos científicos sobre cómo otras especies envejecen y lo que podría diferenciarlas.

Si alguna vez has tenido una mascota, habrás notado que la duración de la vida difiere ampliamente. Existe enorme variabilidad en la duración de la vida tanto entre individuos pertenecientes a las mismas especies como entre las mismas especies. ¿Cuáles son los mecanismos subyacentes a la brecha del envejecimiento entre las especies?

En su libro, Ioviță hace un excelente repaso del conocimiento científico actual sobre el envejecimiento, incluyendo las enormes diferencias entre diversas especies (desde bacterias hasta ballenas), diversas teorías de senescencia, la neotenia (es decir, el mantenimiento de capacidades juveniles como la regeneración en adultos, del griego: «juventud extendida») y la progeria (el envejecimiento prematuro, del griego: «hacia viejo»), y otros temas fundamentales como las células madre, el cáncer, la telomerasa y los telómeros. Ioviță concluye:

El envejecimiento es un fenómeno plástico. Las diferencias en la duración de la vida entre las especies son magnitudes de orden mayor que cualquier variación de las logradas en el laboratorio. Esta es la razón por la que estudié numerosos recursos de información en un intento por reunir una investigación altamente especializada en un libro de lectura ágil. Escribí este libro con palabras simples de forma intencionada. La investigación en envejecimiento es demasiado importante para esconderla tras las rejas del argot científico formal.

La gerontología como ciencia puede progresar estudiando no solo las especies de vida corta como los ratones y gusanos, sino también las de senescencia gradual y especialmente mínima como las esponjas, las ratas topo desnudas, los erizos de mar, proteos y muchos árboles milenarios. Si el envejecimiento es un incremento en los índices de mortalidad y una disminución en los de fertilidad, entonces la existencia de las especies de senescencias mínima indirectamente muestra que el envejecimiento es un accidente de la naturaleza.

Las especies de larga vida a menudo continúan expresando telomerasa en sus tejidos somáticos adultos permitiéndoles regenerar al menos parte de sus órganos. A pesar de la expresión de telomerasa en sus tejidos adultos, tales especies no tienen un índice mayor de cáncer. Probablemente desarrollaron mecanismos alternativos para mantener el cáncer a raya mientras incrementan el control por contacto de sus células. La rata topo desnuda es considerada una especie a prueba de cáncer, a pesar de la abundante expresión de telomerasa en sus células madre somáticas.

La magnitud del proyecto hace de este libro un trabajo en constante evolución. Todavía existen incontables especies por ser descubiertas. Aún existen experimentos de envejecimiento por llevarse a cabo y teorías que formular. El envejecimiento es un accidente de la naturaleza. Y la gerontología, la ciencia del envejecimiento, nació para resolver el rompecabezas.

Orígenes del estudio científico del envejecimiento

A finales del siglo XIX, cuando las entonces ideas revolucionarias sobre la evolución que acababa de proponer Darwin todavía luchaban por imponerse en el mundo científico, el biólogo alemán August Weismann desarrolló en 1892 su teoría sobre la herencia basada en la inmortalidad del plasma germinal. Según esta teoría, el plasma germinal es la sustancia alrededor de la cual se desarrollan las nuevas células. Esta sustancia, constituida por la unión del esperma y el óvulo, establece una continuidad fundamental que no se interrumpe a través de las generaciones^[60].

Esta teoría también se conoció en su momento como Weismannismo y establecía que la información hereditaria solo se transmite a partir de las células germinales de las gónadas (ovarios y testículos) y nunca a partir de células somáticas. La idea de que la información no puede pasar de las células somáticas a las células germinales, contrariamente a la teoría del biólogo francés Jean-Baptiste Lamarck, se llama la barrera de Weismann. Esta nueva teoría de Weismann anticipó el desarrollo de la genética moderna.

Weismann sugirió la inmortalidad del plasma germinal frente al «soma» (cuerpo) mortal. Weismann postuló además que la muerte no es inherente a la vida, sino que es más bien una adquisición biológica posterior necesaria para el desarrollo evolutivo (para disponer de organismos no aptos e inferiores^[61]):

La muerte debe ser considerada como un hecho ventajoso para la especie, como una concesión al resto de condiciones necesarias para la vida, y no como una necesidad absoluta inherente a la vida misma. La muerte, que es el fin de la vida, no es en modo alguno, como se suele suponer, un atributo de todos los organismos.

La muerte misma, y la duración más larga o más corta de la vida, dependen totalmente de la adaptación. La muerte no es un atributo esencial de la materia viva; no está necesariamente asociada con la reproducción, ni es una consecuencia necesaria de ella.

Por otro lado, el biólogo rusofrancés Iliá Méchnikov, ganador del premio Nobel de Fisiología o Medicina en 1908, defendía algunas ideas similares sobre la evolución y la inmortalidad, pero explicaba que no solo las células germinales eran inmortales, sino que los organismos multicelulares también podían llegar a ser inmortales. En ese tiempo, se consideraba que solo los organismos unicelulares eran probablemente inmortales, pero que los organismos multicelulares no lo eran. Fue entonces cuando Weismann explicó que las células germinales sí eran biológicamente inmortales, pero las células somáticas eran mortales, y que la muerte podía jugar un papel en la evolución aunque no fuese necesaria.

Méchnikov trabajaba con el biólogo francés Louis Pasteur y fue quien acuñó la palabra «gerontología» (del griego: «estudio de la vejez»), por lo que es usualmente conocido como el «padre» de la gerontología. Méchnikov estaba de acuerdo con Weismann en que la muerte no es un prerrequisito necesario para la vida, ya que los organismos unicelulares y las células germinales son potencialmente inmortales. Sin

embargo, Méchnikov no creía que la muerte natural pudiera ser una ventaja evolutiva. Según él, el «envejecimiento normal» y la «muerte natural» casi nunca ocurren en la naturaleza. Los organismos debilitados son eliminados por causas externas (depredación, enfermedades, accidentes, competencia) con una mínima posibilidad de que «envejecan naturalmente» o mueran de forma natural. Si el envejecimiento y la muerte natural casi nunca ocurren en la naturaleza, entonces la selección natural no puede operar sobre ellos, y mucho menos seleccionarlos para generar una ventaja competitiva^[62].

Unos años más tarde, el biólogo francoestadounidense Alexis Carrel, ganador del premio Nobel de Fisiología o Medicina en 1912, realizó unos experimentos que parecían demostrar que células somáticas también podían vivir indefinidamente. Carrel no dejó de investigar sobre longevidad, células inmortales y cultivos de tejidos o trasplantes de órganos hasta su muerte en 1944. Tiempo después, en 1961, el microbiólogo estadounidense Leonard Hayflick descubrió que las células somáticas de organismos multicelulares solo se dividían un número determinado de veces antes de morir. Hayflick confirmó que las células germinales (y las celulares cancerosas, incluso trabajando con células HeLa) eran biológicamente inmortales, pero que las células somáticas eran mortales y fallecían después de cierta cantidad de divisiones, número que dependía del tipo de célula y de organismo, pero en ningún caso llegaba a 100 divisiones por célula. Ese descubrimiento es conocido hoy como el Límite de Hayflick^[63].

La historia de los avances científicos en las investigaciones sobre envejecimiento durante el siglo xx es realmente apasionante. Pasamos de teorías principalmente conceptuales a experimentos reales, algunos de los cuales fueron erróneos e irreproducibles. Científicos de Alemania, Rusia, Francia y Estados Unidos estuvieron entre los principales líderes en las investigaciones sobre envejecimiento en el siglo pasado. El investigador rusoisraelí Ilia Stambler detalló cuidadosamente todas esas historias en su libro *Una historia de la extensión de la vida en el siglo xx*. Stambler describe al comenzar los cuatro grandes capítulos de su extenso libro, publicado en 2014^[64]:

Este trabajo explora la historia de la extensión de la vida en el siglo xx. El término «extensión de la vida» pretende describir un sistema ideológico que afirma que la extensión radical de la vida (mucho más allá de la esperanza de vida actual) es deseable desde el punto de vista ético y es posible lograrlo a través de esfuerzos científicos conscientes. Este trabajo examina las principales líneas del pensamiento de extensión de la vida, en orden cronológico, a lo largo del siglo xx, enfocándose en las obras fundamentales y representativas de cada tendencia y período a través de autores como Elie Metchnikoff, Bernard Shaw, Alexis Carrel, Alexander Bogomolets y otros. Sus obras se consideran en su contexto social e intelectual como parte de un discurso social e ideológico contemporáneo más amplio, asociado a grandes trastornos políticos y patrones sociales y económicos. Se consideran los siguientes contextos nacionales: Francia (Capítulo Uno), Alemania, Austria, Rumania y Suiza (Capítulo Dos), Rusia (Capítulo Tres), Estados Unidos y el Reino Unido (Capítulo Cuatro).

Este trabajo persigue tres objetivos principales. El primero es intentar identificar y rastrear a lo largo del siglo xx varios métodos biomédicos genéricos cuyo desarrollo o aplicaciones se asociaron con esperanzas radicales de extender la vida. Más allá de la mera esperanza, argumenta este trabajo, el deseo de prolongar radicalmente la vida humana a menudo constituyó una motivación formidable, aunque nunca reconocida,

para la investigación y el descubrimiento biomédicos. Se muestra que los campos novedosos de la ciencia biomédica han tenido a menudo su origen en búsquedas de gran alcance de la extensión radical de la vida. Se enfatiza la dicotomía dinámica entre los métodos reduccionistas y holísticos.

El segundo objetivo es investigar los antecedentes ideológicos y socioeconómicos de los defensores de la extensión radical de la vida, a fin de determinar cómo la ideología y las condiciones económicas motivaron a los extensionistas de la vida y cómo afectaron a la ciencia que perseguían. Para ese propósito, se estudian las biografías y escritos clave de varios prominentes defensores de la longevidad. Sus premisas ideológicas específicas (actitudes hacia la religión y el progreso, el pesimismo u optimismo con respecto a la perfectibilidad humana y los imperativos éticos) así como sus condiciones socioeconómicas (la capacidad de conducir y difundir investigaciones en un entorno social o económico específico) se examinan en un intento de averiguar qué condiciones han alentado o desanimado el pensamiento de la extensión de la vida.

El tercer objetivo, más general, es recopilar un amplio registro de trabajos de extensión de la vida y, sobre la base de ese registro, establecer rasgos comunes y objetivos definitivos de la extensión de la vida, como la valoración de la vida y la constancia, a pesar de la diversidad de métodos e ideologías profesados. Este trabajo contribuirá a la comprensión de las expectativas extremas asociadas con el progreso biomédico que apenas han sido investigadas por la historia biomédica.

Teorías del envejecimiento en el siglo XXI

A pesar de los grandes avances del siglo XX, todavía no existe una teoría aceptada por todos acerca del envejecimiento. En realidad, compiten actualmente un gran número de teorías, que pueden dividirse de muchas formas. Por ejemplo, en un curso de la Universidad de California en Berkeley, se consideraron cuatro grandes grupos: teorías moleculares, teorías celulares, teorías sistémicas y teorías evolutivas, cada grupo a su vez con tres o más teorías dentro del grupo. En total, en esos cuatro grupos principales se pueden clasificar más de una docena de teorías: restricción de codificación, error de catástrofe, mutación somática, desdiferenciación, regulación genética, desgaste y desgarró, radicales libres, apoptosis, senescencia, tasa de vida, neuroendocrina, acumulación inmunológica, soma desechable, pleiotropía antagónica y acumulación de mutaciones^[65].

El ya mencionado microbiólogo portugués João Pedro de Magalhães estudia las teorías del envejecimiento basadas en daños y las teorías del envejecimiento programadas, que es una clasificación también estándar^[66]. Algunos biólogos hacen una gran división entre teorías principalmente genéticas y teorías no genéticas. Otros hablan de teorías evolutivas y teorías fisiológicas (divididas a su vez en programadas y estocásticas, o no programadas). El punto común es que cada vez más científicos se están dando cuenta de que debemos investigar sistemáticamente el envejecimiento, como demuestra la siguiente *Carta abierta de científicos sobre la investigación del envejecimiento* firmada en el año 2005 por varios respetados científicos de todo el mundo^[67]:

En muchos tipos dispares de animales (*C. elegans*, *Drosophila*, ratones enanos *Ames*, etc.) se ha ralentizado el proceso de envejecimiento y se ha prolongado la esperanza de vida saludable. De igual forma, si asumimos que existen mecanismos básicos comunes, también debería ser posible ralentizar el

envejecimiento en humanos.

Un mayor conocimiento del envejecimiento debería aportar una mejor gestión de las patologías debilitantes asociadas, tales como el cáncer, las enfermedades cardiovasculares, la diabetes tipo II o el alzhéimer. Las terapias dirigidas a los mecanismos básicos del envejecimiento contribuirán decisivamente a la neutralización de estas patologías relacionadas.

Por lo tanto, esta carta es una llamada a la acción para una mayor financiación e investigación tanto en los mecanismos subyacentes al envejecimiento como en los métodos para su aplazamiento. Tal investigación puede producir beneficios mucho mayores de los que se obtendrían aplicando iguales esfuerzos para combatir las mismas enfermedades relacionadas con el envejecimiento. Conforme los mecanismos del envejecimiento se comprendan mejor, se podrán desarrollar intervenciones cada vez más eficaces que ayudarán a prolongar las vidas útiles, sanas y productivas de mucha gente.

La discusión sobre el envejecimiento ha ido en aumento y se ha globalizado, desde Rusia hasta Estados Unidos, pasando por China. Por ejemplo, un grupo de científicos rusos publicó en el año 2015 un artículo con el título «Teorías del envejecimiento: un campo siempre evolucionando» en la revista científica *Acta Naturae*, donde explican^[68]:

La senescencia ha sido un foco de investigación durante muchos siglos. A pesar de los importantes progresos realizados en el aumento de la esperanza media de vida humana, el proceso de envejecimiento sigue siendo en gran medida complejo y, por desgracia, inevitable. En esta reseña hemos intentado resumir las teorías actuales sobre el envejecimiento y los enfoques para comprenderlo.

En otra parte del mundo, un científico estadounidense de origen chino, el médico Kunlin Jin del Centro de Ciencia Médica de la Universidad del Norte de Texas, publicó en el año 2010 un artículo con el título «Teorías biológicas modernas del envejecimiento» en la revista científica *Aging and Disease*, donde indica^[69]:

A pesar de los recientes avances en biología molecular y genética, los misterios que controlan la vida humana aún no se han aclarado. Muchas teorías (que se dividen en dos categorías principales, las teorías programadas y las teorías de error) se han propuesto para explicar el proceso de envejecimiento, pero ninguna de ellas parece ser plenamente satisfactoria. Estas teorías pueden interactuar entre sí de manera compleja. Entendiendo y probando teorías viejas y nuevas del envejecimiento, será posible comprender con éxito los mecanismos del envejecimiento.

Ante esta avalancha de teorías, unas viejas y otras nuevas, Aubrey de Grey comenzó a trabajar sistemáticamente desde finales del siglo XX para compilar toda la información en un sistema inclusivo sobre el envejecimiento. De Grey estudió primero informática y computación en la Universidad de Cambridge, lo que hace que su visión sea más de ingeniero o tecnólogo que de biólogo o médico. Su enfoque de la extensión de la vida se llama SENS (por sus siglas en inglés: *Strategies for Engineered Negligible Senescence*, y en español: Estrategias para la Senescencia Negligible Ingenierizada). Fue en 2002 cuando presentó por primera vez esas ideas en un artículo publicado junto con otros conocidos médicos y biólogos, tales como Bruce Ames, Julie Andersen, Andrzej Bartke, Judith Campisi, Christopher Heward, Orger McCarter y Gregory Stock^[70].

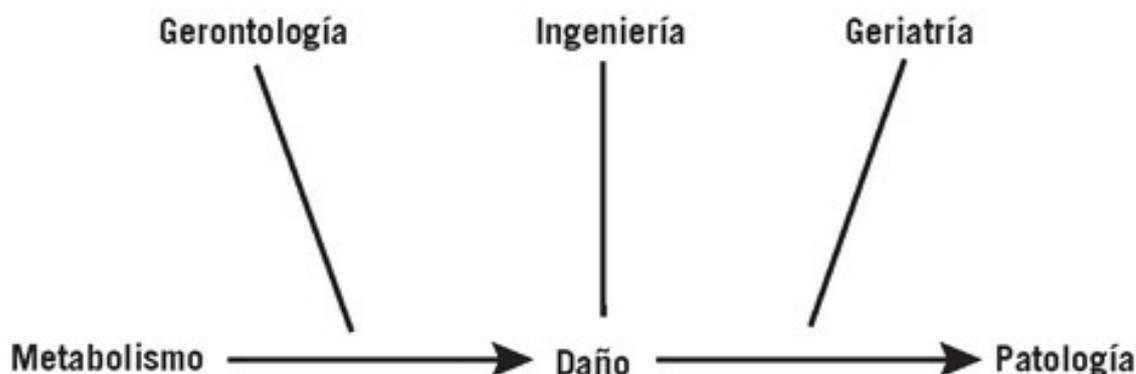
El significado clave de este término es que sería posible desarrollar terapias médicas para revertir el envejecimiento biológico en humanos, de manera que

podamos seguir acumulando años de edad mientras nos mantenemos biológicamente jóvenes. Para eso, de Grey hizo un estudio minucioso de las investigaciones disponibles en cuanto al envejecimiento, y se dio cuenta de que existen siete tipos principales de daño relacionados con el proceso del envejecimiento. También descubrió que todos estos tipos de daño se conocen desde al menos 1982, es decir, desde hace varias décadas.

El campo de la biología ha vivido un progreso inmenso desde entonces, pero los científicos no han descubierto ningún tipo de daño nuevo según de Grey. Esto sugiere que ya conocemos los problemas clave que se combinan para crear la fragilidad y la vulnerabilidad a enfermedades que hoy día asociamos con la edad avanzada. El nuevo enfoque consiste en atacar los daños a través de bioingeniería entre la gerontología para el metabolismo y la geriatría para la patología. La Figura 2-1 muestra la estrategia de SENS.

FIGURA 2-1

Estrategia de SENS para el rejuvenecimiento con biotecnología



Fuente: Aubrey de Grey

¿Cuáles son estas siete causas de la senescencia? ¿Las siete causas letales? Todas ocurren a nivel microscópico, dentro y fuera de las células. Un poco de daño, en general, no te lastimará, pero dicho daño se acumula a lo largo de los años aceleradamente, siendo la razón por la que la gente se vuelve frágil y muere. En su libro *El fin del envejecimiento: Los avances que podrían revertir el envejecimiento humano durante nuestra vida*, de Grey explica esas siete causas^[71]:

1. Desechos extracelulares: Estos desechos consisten en proteínas mal plegadas que se acumulan fuera de las células y hacen daño en lugar de tener una función útil.

2. Reticulación extracelular: la reticulación ocurre cuando dos o más proteínas que solían ser útiles se juntan fuera de las células y se enlazan como esposas policíacas, previniendo que las células funcionen apropiadamente.
3. Células disfuncionales: algunas células individuales también pueden senescer. No solo fallan en realizar la función para la que están predestinadas, sino que también se vuelven tóxicas para las otras células a su alrededor y previenen que las células saludables trabajen como deberían. Eliminar dichas células disfuncionales puede permitir que las células saludables realicen sus funciones correctamente.
4. Agregados intracelulares: estos son productos residuales dentro de las células que se acumulan como consecuencia de problemas en el curso del metabolismo celular (las reacciones químicas que permiten a las células hacer su trabajo). Estos residuos obstruyen la maquinaria celular y previenen su buen funcionamiento.
5. Mutaciones mitocondriales: las mitocondrias son las centrales energéticas de las células al convertir los nutrientes en energía. Desafortunadamente, este proceso también genera subproductos tóxicos que dañan las moléculas de ADN de la mitocondria y dificultan su función.
6. Mutaciones nucleares: el núcleo de las células es donde reside el código genético de una persona. Con el paso del tiempo, ocurren mutaciones en este ADN que provocan que la gente sea más susceptible a desarrollar cáncer y otras enfermedades.
7. Pérdida de células y atrofia de tejidos: con el tiempo, el cuerpo se vuelve menos capaz de reemplazar las células que se dañan por accidentes y desgaste. Algunas células se suicidan después de cierto número de divisiones. Esto puede llevar a músculos débiles, pérdida de neuronas en el cerebro y a un sistema inmune más débil, lo que incrementa la vulnerabilidad a las enfermedades.

Cuando De Grey planteó originalmente sus ideas, mucha gente lo llamó desde charlatán hasta loco. Muchos «expertos» le atacaron asegurando que sus ideas no tenían ninguna base científica. La discusión llegó en el año 2005 hasta la prestigiosa revista *Technology Review*, del Massachusetts Institute of Technology (MIT), donde el editor planteó el desafío, bajo promesa de 20 000 dólares, a la primera persona que demostrara que las estrategias de SENS eran falsas^[72]. A tal efecto se instituyó un jurado con cinco prestigiosos científicos y médicos (Rodney Brooks, Anita Goel, Vikram Kumar, Nathan Myhrvold y Craig Venter) que evaluarían las críticas a las ideas de Aubrey de Grey. A pesar de toda la publicidad y del dinero involucrado, las críticas parecían más ataques personales que argumentos consistentes contra las

estrategias de SENS. Después de varios meses y múltiples intentos, el premio fue declarado desierto, pues nadie pudo demostrar que las ideas de Aubrey de Grey fueran falsas, lo que no impidió que algunos «expertos» siguieran atacándola en base a prejuicios personales^[73].

El mundo ha cambiado mucho desde 2005. Se han producido grandes avances científicos en los últimos años que más bien refuerzan en vez de contradecir las ideas originales de Aubrey de Grey. En un artículo de la revista científica *Smithsonian* en 2017 se menciona uno de los artículos escritos en contra de Grey en *MIT Technology Review* (con el título «Pseudociencia para la Extensión de la Vida y el Plan SENS^[74]»):

Los nueve coautores, todos gerontólogos de gran prestigio, tuvieron un grave problema con la posición de Grey. «Es brillante pero no tiene experiencia en la investigación del envejecimiento», dice Heidi Tissenbaum, una de las firmantes del documento y profesora de biología molecular, celular y cáncer en la Facultad de Medicina de la Universidad de Massachusetts. «Estábamos alarmados, ya que afirmó saber cómo prevenir el envejecimiento basándose en ideas, no en resultados científicos experimentales rigurosos».

Más de una década después, Tissenbaum ve ahora SENS de una manera más positiva. «Enhorabuena, Aubrey», dice diplomáticamente. «Cuanta más gente hable sobre la investigación del envejecimiento, mejor. Le estoy agradecida por atraer atención y dinero al sector. Cuando escribimos ese artículo estaban solo él y sus ideas, sin investigación detrás, nada. En cambio, ahora está llevando a cabo gran cantidad de investigaciones básicas y fundamentales, comparables a las de cualquier otro laboratorio».

Aunque algunos siguen tachando a De Grey de charlatán y loco, hay cada vez más resultados positivos, muchos de ellos gracias a sus esfuerzos. De Grey cofundó en 2003 la Fundación Matusalén, que creó el Premio del Ratón Matusalén para alentar las investigaciones para retrasar radicalmente e incluso revertir el envejecimiento. El Premio Matusalén, o simplemente Premio M, debe su nombre a Matusalén, el patriarca de la Biblia que supuestamente vivió casi mil años. Gracias a ese premio y otros incentivos se ha logrado expandir significativamente la vida de ratones. Por ejemplo, ratones que viven en condiciones silvestres un año en la naturaleza, y en el laboratorio entre dos y tres años, han llegado a vivir casi cinco años con diversos tratamientos. Utilizando diferentes tipos de tratamientos, los científicos han logrado incrementar en un 40%, 60% e incluso más, la expectativa de vida de los ratones. Esperemos que el premio continúe y que pronto podamos hablar de ratones que dupliquen y tripliquen su esperanza de vida promedio.

De Grey también cofundó en el año 2009 la Fundación para la Investigación SENS, cuyo objetivo es «transformar la manera en que el mundo investiga y trata las enfermedades relacionadas con la edad». Su nuevo enfoque SENS promueve «la reparación *in situ* de células vivas y material extracelular», un enfoque que contrasta con el más tradicional de la medicina geriátrica en enfermedades y patologías específicas, y con el de la biogerontología en la intervención en procesos metabólicos. La Fundación SENS financia la investigación y promueve la divulgación y la educación para agilizar los diversos programas de investigación en medicina regenerativa. De acuerdo al enfoque SENS, cada uno de los siete daños

fundamentales puede ser tratado con una estrategia específica que, conocidas como RepleniSENS, OncoSENS, MitoSENS, ApoptoSENS, GlycoSENS, AmyloSENS y LysoSENS. Varios de esos tratamientos ya están aplicándose, y algunos han servido para impulsar startups que buscan terapias antienvjecimiento y rejuvenecimiento^[75].

En su artículo «Revertir el envejecimiento mediante la reparación de daños moleculares y celulares», publicado el año 2017 por el BBVA OpenMind en el libro *El próximo paso: La vida exponencial*, De Grey explica^[76]:

SENS supone un alejamiento radical de las viejas prioridades de la gerontología biomédica y busca revertir realmente el envejecimiento en lugar de aplazarlo. Gracias a un minucioso proceso de educación mutua entre los campos de la biogerontología y la medicina regenerativa, ha alcanzado el estatus de opción viable y reconocida de cara a un futuro control médico del envejecimiento. Mi opinión es que su credibilidad seguirá aumentando a medida que progrese la tecnología médica regenerativa subyacente.

En una entrevista concedida durante la primera Cumbre Internacional de Longevidad y Criopreservación que organizamos en el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) en Madrid, De Grey resumió los avances en la estrategia SENS hasta 2017. Los entrevistadores llegaron a las siguientes conclusiones tras ver los enormes cambios que se habían producido durante la última década^[77]:

Hay muchas razones para ser optimistas. Las ideas propuestas por SENS hace más de una década, ampliamente criticadas en el pasado, ahora son exploradas con entusiasmo por los investigadores, ya que pocas dudas hay de que los procesos de envejecimiento son susceptibles de intervención. Lo que era motivo de burla para muchos hace más de una década se está convirtiendo en un enfoque aceptado para tratar las enfermedades relacionadas con la edad, ya que siguen aumentando los resultados que apoyan un enfoque del envejecimiento basado en la reparación.

Sin embargo, todavía nos faltan conocimientos completos sobre varios daños relacionados con la edad para dar paso a ensayos clínicos en humanos. Es por eso por lo que apoyar los estudios fundamentales sobre los principales mecanismos del envejecimiento debe seguir siendo la principal prioridad de nuestra comunidad.

Las causas y los pilares del envejecimiento

Además del visionario y revolucionario trabajo de Aubrey de Grey, otros científicos están intentando sistematizar nuestra comprensión actual del envejecimiento y cómo tratarlo. En el año 2000, un par de oncólogos estadounidenses, Douglas Hanahan y Robert Weinberg, escribieron un provocador artículo en la prestigiosa revista científica *Cell* que ha contribuido a ordenar nuestro conocimiento sobre el cáncer. Bajo el título «Las causas del cáncer», los autores argumentan que todos los cánceres comparten seis rasgos comunes («causas» o «*hallmarks*») que gobiernan la transformación de las células normales en células cancerosas (malignas o tumorales). En el año 2011 el artículo se había convertido en el más citado en la historia de la revista *Cell*, y los autores publicaron una actualización donde propusieron cuatro

causas adicionales.

Apoyados en el éxito del artículo anterior, un grupo de cinco científicos europeos publicó en 2013 un artículo con el título «Las causas del envejecimiento» en la misma revista *Cell*. Los autores son los españoles Carlos López-Otín (de la Universidad de Oviedo), María Blasco y Manuel Serrano (del Centro Nacional de Investigaciones Oncológicas, CNIO, en Madrid), la inglesa Linda Partridge (del Instituto Max Planck para la Biología del Envejecimiento en Alemania) y el austriaco Guido Kroemer (de la Universidad de París V René Descartes en Francia), quienes escriben^[78]:

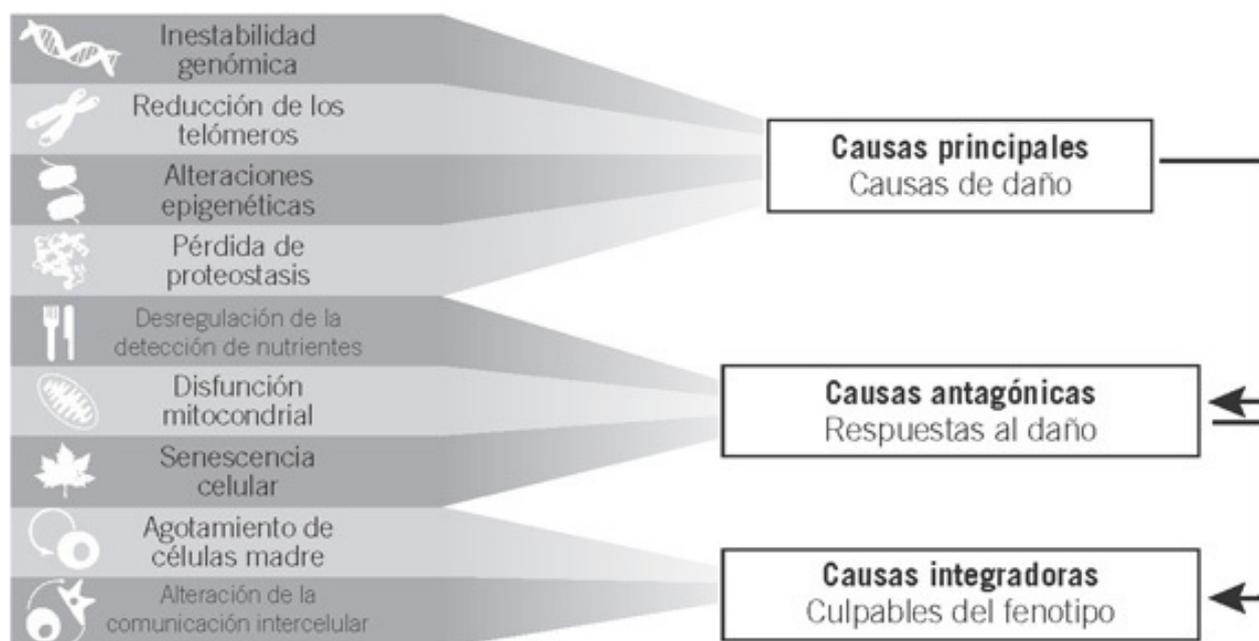
El envejecimiento se caracteriza por una pérdida progresiva de la integridad fisiológica que conduce a un deterioro de funciones y una mayor vulnerabilidad a la muerte. Este deterioro es el principal factor de riesgo para las principales patologías humanas, incluyendo el cáncer, la diabetes, los trastornos cardiovasculares y las enfermedades neurodegenerativas. La investigación sobre el envejecimiento ha experimentado un avance sin precedentes en los últimos años, particularmente con el descubrimiento de que la tasa de envejecimiento está controlada, al menos hasta cierto punto, por las vías genéticas y los procesos bioquímicos conservados en la evolución. Esta revisión enumera nueve causas tentativas que representan los denominadores comunes del envejecimiento en diferentes organismos, con especial énfasis en el envejecimiento de los mamíferos. Estas causas son: inestabilidad genómica, reducción de los telómeros, alteraciones epigenéticas, pérdida de proteostasis, desregulación de la detección de nutrientes, disfunción mitocondrial, senescencia celular, agotamiento de células madre y alteración de la comunicación intercelular. Un desafío importante es diseccionar la interconexión entre las causas y sus contribuciones relativas al envejecimiento, con la idea final de identificar objetivos farmacéuticos para mejorar la salud humana durante el envejecimiento con efectos secundarios mínimos.

El envejecimiento, que definimos de forma general como el declive funcional dependiente del tiempo que afecta a la mayoría de los organismos vivos, ha atraído la curiosidad y la imaginación a lo largo de la historia de la humanidad. Sin embargo, apenas han pasado 30 años desde que se inauguró una nueva era en la investigación del envejecimiento después del aislamiento de las primeras cepas de larga vida en *Caenorhabditis elegans* (*C. elegans*). Hoy en día, el envejecimiento está sujeto al escrutinio científico basado en el conocimiento en constante expansión de las bases moleculares y celulares de la vida y la enfermedad. La situación actual de la investigación del envejecimiento muestra muchos paralelismos con la de la investigación del cáncer en décadas anteriores.

Los científicos clasifican posteriormente las nueve causas del envejecimiento en tres categorías mayores, como se puede ver en la Figura 2-2. Arriba aparecen las causas primarias (inestabilidad genómica, reducción de los telómeros, alteraciones epigenéticas y pérdida de proteostasis), consideradas como las principales responsables del daño celular. En el centro se sitúan las causas antagónicas (desregulación de la detección de nutrientes, disfunción mitocondrial y senescencia celular), consideradas como parte de las respuestas compensatorias o antagónicas al daño. Estas respuestas mitigan inicialmente el daño, pero si son crónicas o exacerbadas pueden volverse perjudiciales. Abajo se consignan las causas integradoras (agotamiento de células madre y alteración de la comunicación intercelular), resultado final de los dos grupos anteriores y las últimas causas responsables del declive funcional asociado con el envejecimiento.

FIGURA 2-2

Interconexiones funcionales en las causas del envejecimiento



Fuente: Basado en Carlos López-Otín et al.

El artículo termina con las siguientes conclusiones y perspectivas:

La definición de las causas del envejecimiento puede contribuir a crear un marco para estudios futuros sobre los mecanismos moleculares del envejecimiento, así como para diseñar intervenciones para mejorar la salud humana... Suponemos que los enfoques cada vez más sofisticados para desentrañar las complejidades del envejecimiento normal, acelerado y retardado terminarán por resolver muchos de los problemas pendientes. Afortunadamente, estos enfoques combinados permitirán una comprensión detallada de los mecanismos subyacentes a las causas del envejecimiento y facilitarán futuras intervenciones para mejorar la salud humana y la longevidad.

Un año después del artículo anterior, un grupo de científicos estadounidenses, con el apoyo de los Institutos Nacionales de Salud de Estados Unidos, publicaron «Envejecimiento: un motor común de las enfermedades crónicas y un blanco para nuevas intervenciones» en la misma revista científica *Cell*. Los autores explican que en lugar de «atacar» enfermedad por enfermedad, es mejor «atacar» directamente el propio envejecimiento, que es la causa de todas las enfermedades relacionadas^[79]:

El envejecimiento de los mamíferos puede retrasarse con enfoques genéticos, dietéticos y farmacológicos. Dado que la población anciana está aumentando dramáticamente y que el envejecimiento es el mayor factor de riesgo para la mayoría de las enfermedades crónicas que conducen a la morbilidad y la mortalidad, es fundamental ampliar la investigación en gerociencia dirigida a extender la salud humana.

El objetivo de frenar el envejecimiento ha fascinado a la humanidad durante milenios, pero solo recientemente adquirió credibilidad. Los recientes hallazgos que demuestran que el envejecimiento puede retrasarse en los mamíferos aumentan la posibilidad de prolongar la salud humana. Existe un consenso casi generalizado entre los investigadores en envejecimiento en que esto es posible, pero solo si se dispone de recursos para lograr objetivos en áreas que van desde la biología básica hasta la medicina traslacional.

El enfoque actual para tratar enfermedades crónicas es inadecuado y fragmentario. Para cuando se diagnostican esas enfermedades crónicas ya se producido mucho daño y es difícil deshacerlo. Si bien la comprensión de las características únicas de cualquier enfermedad es importante y de potencial valor terapéutico, los enfoques para comprender una causa común, el envejecimiento, serán especialmente importantes. Si podemos entender cómo el envejecimiento permite la enfermedad, es posible (e incluso más fácil) atacar este componente común de la enfermedad. Apuntar al envejecimiento puede permitir la intervención temprana y evitar daños, manteniendo el vigor y la actividad, a la vez que se compensan las cargas económicas de una población en proceso de envejecimiento que se ve afectada por múltiples enfermedades crónicas.

Los autores describen, además, lo que denominan siete «pilares» del envejecimiento. De acuerdo con el científico chilenoestadounidense Felipe Sierra, director de la división de Biología del Envejecimiento del Instituto Nacional del Envejecimiento en Estados Unidos, esos siete pilares son^[80]:

1. Adaptación al estrés.
2. Epigenética.
3. Inflamación.
4. Macromolecular.
5. Metabolismo.
6. Proteostasis.
7. Células Madre y Regeneración.

Otro de los autores del artículo, el biólogo estadounidense Brian Kennedy, entonces presidente del Buck Institute para la Investigación del Envejecimiento en California, concluye que^[81]:

Tenemos grandes esperanzas en que nuestra estrategia de investigación contribuirá a llevar los esfuerzos de colaboración al siguiente nivel... Lo que ha surgido de nuestro trabajo es una comprensión profunda de que los factores que impulsan el envejecimiento están altamente interrelacionados y que para extender el período de salud necesitamos un enfoque integrado de la salud y la enfermedad, siendo conscientes de que los sistemas biológicos cambian con la edad.

Con otra perspectiva, el biólogo español Ginés Morata, experto en las moscas *Drosophila melanogaster* del Centro de Biología Molecular Severo Ochoa en Madrid, explica durante una entrevista en el año 2018 que^[82]:

La muerte no es inevitable. Las bacterias no se mueren. Los pólipos, tampoco; crecen y generan uno nuevo. Parte de nuestras células germinales se perpetúan en nuestros hijos y así sucesivamente. Por eso una parte de cada uno de nosotros es inmortal.

Se ha logrado que un tipo de gusano, un nematodo, viva siete veces más tras manipular los genes implicados en su envejecimiento. Si aplicáramos esa tecnología a humanos, podríamos llegar a vivir 350 o 400 años. Claro, no se puede investigar con material humano, pero no es descartable que algún día alcancemos esa longevidad. Dentro de 50, 100 o 200 años las posibilidades serán tan grandes que es difícil imaginar qué pasará. Podremos tener alas y ser capaces de volar, o medir cuatro metros... Será la humanidad la que decida cuál va a ser su futuro.

El biogerontólogo estadounidense Michael West, experto en células madre y telómeros, autor de varios libros sobre envejecimiento y posible rejuvenecimiento, también concuerda que^[83]:

En el cuerpo humano alojamos células herederas de nuestro legado inmortal, células que tienen el potencial de no dejar ningún antepasado muerto, células de un linaje llamado línea germinal. Estas células tienen la capacidad de renovación inmortal, como demuestra el hecho de que los bebés nacen jóvenes y esos bebés tienen el potencial de generar algún día sus propios bebés, y así sucesivamente y para siempre.

Después de considerar tantas y diferentes teorías, estrategias, causas y pilares del envejecimiento: ¿qué es entonces el envejecimiento? Veamos qué dice la prestigiosa *Enciclopedia Británica*, que comienza su definición así^[84]:

El envejecimiento es el cambio gradual e intrínseco en un organismo que conduce a un riesgo creciente de vulnerabilidad, pérdida de vigor, enfermedad y muerte. El envejecimiento tiene lugar en una célula, en un órgano o en la totalidad del organismo durante el periodo vital completo como adulto de cualquier ser vivo...

Independientemente de la definición que usemos, hay una gran coincidencia en los términos e ideas clave. Hay además dos puntos importantes a considerar en los que hay un consenso creciente al respecto:

- El envejecimiento ocurre de manera gradual, es decir, acontece durante una parte sustancial del periodo vital del organismo. Por tanto, es un proceso esencialmente dinámico y secuencial, divisible en etapas tan discretas como se desee, de forma que los daños pueden también ser atacados secuencialmente.
- El envejecimiento no es considerado hoy algo biológicamente «inevitable» o incluso «irreversible», más bien ahora sabemos que es un proceso «plástico» y «flexible» que podemos manipular. En este sentido, el *Handbook of the Biology of Aging* tampoco hace referencia a que sea un proceso «inevitable», y admite específicamente la posibilidad de que haya células y organismos que no envejecen, y tampoco «irreversible», pues habla de la posibilidad de que se pueda reparar el daño^[85].

Todavía desconocemos muchas cosas del proceso de envejecimiento, pero esto no impide que sigamos avanzando hacia una cura. Aunque a veces parezca difícil de creer, no hace falta comprender todo el problema para resolverlo. Por ejemplo, el médico inglés Edward Jenner desarrolló la primera vacuna eficaz contra la viruela en 1796, más de un siglo antes de que el científico holandés Martinus Beijerinck descubriera el primer virus y fundara la virología en 1898.

Otro ejemplo muy conocido es el de los hermanos estadounidenses Orville y

Wilbur Wright, quienes con tan solo tres años de educación secundaria lograron volar por primera vez en el año 1903. Algo que no solo era considerado entonces imposible por la mayoría de los «expertos», sino que además ni se comprendían bien las leyes de la aerodinámica. Los científicos más formados no las comprendían, y mucho menos los hermanos Wright, que apenas podían presumir de conocimientos reglados. Pero, como habría dicho Galileo Galilei: «*eppur si muove*», es decir, «y sin embargo, se mueve».

El envejecimiento como enfermedad

En los últimos años se está produciendo un gran cambio de mentalidad en nuestro conocimiento del envejecimiento, e incluso hay científicos que empiezan a afirmar que el envejecimiento es una enfermedad. Afortunadamente, en ese caso, el envejecimiento es una enfermedad curable, y esperamos conseguir la cura en los próximos años, aunque todo depende del apoyo público y político para acelerar las investigaciones.

En 1893, el médico francés Jacques Bertillon presentó en el Instituto Internacional de Estadística de Chicago, Estados Unidos, la primera lista internacional para clasificar enfermedades. Esa primera «Lista de causas de muerte» contenía solo 44 «causas», basada en la clasificación utilizada en París, aunque luego se expandió a casi 200 cuando se realizó la primera conferencia Internacional para la Clasificación de Causas de la Muerte el año 1900. Esos intentos iniciales de clasificación fueron adoptados primero por la Sociedad de las Naciones (también conocida como la Liga de las Naciones) después de la primera guerra mundial y luego por la Organización Mundial de la Salud (OMS) al terminar la segunda guerra mundial^[86].

La OMS se hizo cargo de la clasificación en 1948 con la sexta edición, la primera en incluir también causas de morbilidad. Ahora la lista se llama la Clasificación Internacional y Estadística de Enfermedades y Problemas Relacionados con la Salud, también conocida simplemente como Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE). La CIE determina la clasificación y codificación de las enfermedades y una amplia variedad de signos, síntomas, circunstancias sociales y causas externas de enfermedades.

La edición más reciente de la CIE es la décima, CIE-10, y el sistema está diseñado para promover la comparación internacional de la recolección, procesamiento, clasificación y presentación de estas estadísticas. Durante las últimas dos décadas, la CIE-10 sigue siendo la lista en vigor reconocida internacionalmente, aunque con algunas modificaciones locales en ciertos países. La OMS continúa trabajando con esta clasificación aunque está prevista su sustitución por la CIE-11

durante 2018. En un período de sugerencias públicas para la OMS en 2017, varios activistas, incluidos los autores de este libro, apoyamos que se incluyera el envejecimiento como una enfermedad, o que por lo menos se iniciasen investigaciones científicas al respecto. Gracias a las aportaciones de la gente que acogió de buen grado nuestra propuesta, la OMS ha aceptado incluir el «envejecimiento saludable» dentro de su programa general de trabajo para el periodo 2019-2023, aunque todavía no incluya el envejecimiento formalmente como una enfermedad^[87].

Durante el último siglo, algunas condiciones que se consideraban enfermedades dejaron de serlo, así como otras que no lo eran pasaron a serlo. Un grupo de investigadores internacionales (el belga Sven Bulterijs, el sueco Victor C. E. Björk, y los ingleses Raphaella S. Hull y Avi G. Roy) publicó en el año 2015 el artículo «Es tiempo de clasificar el envejecimiento biológico como una enfermedad» en la revista científica *Frontiers of Genetics*, donde explican^[88]:

Lo que se considera normal y lo que se considera enfermo está fuertemente condicionado por el contexto histórico. Cosas que antes se consideraban enfermedades ya no se clasifican como tales. Por ejemplo, cuando los esclavos negros huían de las plantaciones, se explicó que sufrían «drapetomanía» y se usó tratamiento médico para tratar de «curarlos». De manera similar, la masturbación fue vista como una enfermedad y tratada con tratamientos como cortar el clítoris o cauterizarlo. Finalmente, la homosexualidad fue considerada una enfermedad hasta 1974. Además de la influencia social y cultural en la definición de la enfermedad, los nuevos descubrimientos científicos y médicos llevan a la revisión de lo que es una enfermedad y lo que no lo es. Por ejemplo, la fiebre alguna vez fue vista como una enfermedad por derecho propio, pero el darse cuenta de que diferentes causas subyacentes llevaban a la aparición de la fiebre cambió su estatus de enfermedad a síntoma. Por el contrario, varias enfermedades actualmente reconocidas, como la osteoporosis, la hipertensión sistólica aislada y la enfermedad de Alzheimer senil, se atribuyeron en el pasado al envejecimiento normal. La osteoporosis fue reconocida oficialmente como enfermedad por la Organización Mundial de la Salud en una fecha tan reciente como 1994.

Tradicionalmente, el envejecimiento ha sido visto como un proceso natural y por consiguiente no como una enfermedad. Esta división puede haberse originado, en parte, como una forma de establecer el envejecimiento como una disciplina independiente de investigación. Algunos autores llegan a ver de forma diferenciada los procesos de envejecimiento intrínseco (envejecimiento primario) y los de las enfermedades de la vejez (envejecimiento secundario). Por ejemplo, el fotoenvejecimiento, el deterioro acelerado de la piel como resultado de los rayos UV durante toda la vida, es considerado por los dermatólogos como una condición que conduce a la patología. En contraste, el envejecimiento cronológico de la piel es aceptado como norma. Además de ser visto como separado de la enfermedad, el envejecimiento es considerado como un factor de riesgo para desarrollar la enfermedad. Curiosamente, las llamadas «enfermedades de envejecimiento acelerado», tales como la progeria, el síndrome de Hutchinson-Gilford, el síndrome de Werner y la disqueratosis congénita se consideran enfermedades. La progeria se considera una enfermedad, pero cuando los mismos cambios le suceden a un individuo ochenta años mayor, se considera normal e indigno de atención médica.

Los investigadores mencionan el caso específico de la progeria, una enfermedad genética de la infancia extremadamente rara, caracterizada por el envejecimiento prematuro y acelerado en niños entre su primer y segundo año de vida. Esta rara afección la padece uno de cada 7 millones de recién nacidos vivos. Como la progeria es una enfermedad genética (debida a mutaciones en un gen identificado como LMNA), se espera que algún día haya una cura gracias a las terapias génicas. Sin embargo, actualmente no existe cura ni tratamiento para esta enfermedad de

envejecimiento acelerado, y los enfermos de progeria viven un promedio de apenas 13 años (algunos pacientes pueden vivir hasta poco más de los 20 pero con fisionomía de casi 100).

Bulterijs, Björk, Hull y Roy continúan su artículo citando varias investigaciones y estudios exitosos en animales modelo, y los elevados costes de no hacerlo todavía con humanos (costes tanto a nivel del individuo como de toda la sociedad):

«En resumen, el envejecimiento no solo se presta a ser contemplado como una enfermedad, sino que la ventaja de hacerlo es que, al rechazar el aparente fatalismo de la etiqueta de “natural”, se legitiman los esfuerzos médicos para eliminarlo o deshacerse de esas condiciones indeseables asociadas con el envejecimiento». El objetivo de la investigación biomédica es permitir que la gente esté «lo más sana posible durante el mayor tiempo posible». El reconocimiento del envejecimiento como una enfermedad incentivaría a los organismos que conceden subvenciones a aumentar la financiación de la investigación sobre el envejecimiento y desarrollar procedimientos biomédicos para retrasar el proceso de envejecimiento. El hecho de asumir algo como enfermedad implica el compromiso de la intervención médica. Además, que una condición sea reconocida como enfermedad es importante para que los proveedores de seguro médico costeen el tratamiento.

Durante los últimos 25 años, al tratar los procesos subyacentes del envejecimiento, los científicos biomédicos han sido capaces de mejorar la salud y extender la vida de los organismos modelo, desde gusanos y moscas hasta roedores y peces. Ahora podemos incrementar la vida de *C. elegans* en más de diez veces, más del doble en moscas y ratones, y aumentar la expectativa de vida de ratas y ciertos peces (killifish) un 30 y 59%, respectivamente. Actualmente, nuestras opciones de tratamiento para los procesos subyacentes del envejecimiento en humanos son limitadas. Sin embargo, con el progreso actual en el desarrollo de los medicamentos geroprotectores, la medicina regenerativa y las intervenciones médicas de precisión, pronto tendremos el potencial para retrasar el envejecimiento. Finalmente, debemos notar que reconocer el envejecimiento como una enfermedad cambiaría las terapias anti-envejecimiento de las regulaciones de la Administración Federal de Alimentos y Medicamentos (FDA) desde la medicina cosmética a las regulaciones más rigurosas para el tratamiento y prevención de enfermedades.

Creemos que el envejecimiento debe ser visto como una enfermedad, aunque sea una enfermedad que es un proceso universal y multisistémico. Nuestro sistema de salud actual no reconoce el proceso de envejecimiento como la causa subyacente de las enfermedades crónicas que afectan a los ancianos. Como tal, el sistema está configurado para ser reaccionario y por lo tanto cerca del 32% del gasto total de Medicare en Estados Unidos se dedica a los últimos dos años de vida de pacientes con enfermedades crónicas, sin que se produzca ninguna mejora significativa en su calidad de vida. Nuestro sistema de salud actual es insostenible tanto desde el punto de vista financiero como desde el lado de la salud y el bienestar. Incluso una atenuación mínima del proceso de envejecimiento gracias al impulso de la investigación sobre el envejecimiento y el desarrollo de fármacos geroprotectores y medicamentos regenerativos, mejoraría en gran medida la salud y el bienestar de los más mayores, y contribuiría a rescatar nuestro sistema de salud en crisis.

Unos meses después, otros investigadores escribieron un artículo en la misma revista científica con el título «Clasificación del envejecimiento como enfermedad en el contexto de la CIE-11», donde explican^[89]:

El envejecimiento es un proceso multifactorial continuo y complejo que lleva a la pérdida de función y cristaliza en las muchas enfermedades relacionadas con la edad. Aquí exploramos los argumentos para clasificar el envejecimiento como una enfermedad en el contexto de la próxima XI Clasificación Internacional y Estadística de Enfermedades y Problemas Relacionados con la Salud (CIE-11) de la Organización Mundial de la Salud, cuya finalización está prevista para 2018. Se plantea la hipótesis de que clasificar el envejecimiento como una enfermedad con un conjunto de códigos «no basura» resultará en nuevos enfoques y modelos de negocio para abordar el envejecimiento como una condición tratable, lo que conducirá a beneficios económicos y de salud para todos los interesados. La clasificación del envejecimiento como una enfermedad puede conducir a una asignación más eficiente de los recursos al permitir que los organismos de financiación y otros sectores interesados utilicen los años de vida ajustados

por la calidad (AVAC) y el equivalente de años de vida saludables como indicadores para evaluar los programas clínicos y de investigación. Proponemos la formación de un Grupo de Trabajo para interactuar con la OMS y desarrollar un marco multidisciplinar para clasificar el envejecimiento como una enfermedad con múltiples códigos de enfermedades que facilite las intervenciones terapéuticas y las estrategias preventivas.

El reconocimiento de una afección o de un proceso crónico como enfermedad es un hito importante para la industria farmacéutica, la comunidad académica, las compañías de salud y de seguros, los responsables políticos y la gente, ya que la presencia de una afección en la nomenclatura y la clasificación de enfermedad tiene un gran impacto en la forma en que se trata, investiga y reembolsa. Sin embargo, lograr una definición satisfactoria de la enfermedad es un reto, principalmente debido a las vagas definiciones del estado de salud y enfermedad. Aquí exploramos los beneficios potenciales de reconocer el envejecimiento como una enfermedad en el contexto de los desafíos socioeconómicos actuales y los recientes avances biomédicos.

Clasificar el envejecimiento como enfermedad contribuirá en gran medida a curar la propia enfermedad. Además, permitirá canalizar los enormes recursos a las causas y no a los síntomas del envejecimiento. Hay que focalizar los fondos públicos y privados en la cura previa y no en la enfermedad posterior. Las ventajas de estar sano y joven se multiplican por cada individuo para toda la sociedad. Los beneficios serían enormes en su conjunto. Considerar el envejecimiento como una enfermedad permitirá incrementar los niveles de investigación y de financiación, además de identificar un objetivo claro para las industrias médicas, farmacéuticas y de seguros. Es una gran oportunidad, pues la industria del anti-envejecimiento y del rejuvenecimiento tiene el potencial de convertirse muy pronto en la industria más grande del mundo.

¿La industria más grande del mundo?

Voy a crear una nueva Iniciativa de Medicina de Precisión para adelantar la llegada de la cura de enfermedades como el cáncer y la diabetes, y para que todos tengamos acceso a la información personalizada necesaria para mantenernos saludables nosotros y nuestras familias.

BARACK OBAMA, 2015

Esta es la idea capaz de convertirse en fuente de dinero más grande que hemos visto. El negocio de la longevidad se ha movido rápidamente desde ideas extravagantes a ciencia seria, y en tan solo un par de décadas esperamos que la esperanza de vida humana promedio en los países desarrollados aumente hasta alrededor de 110 años.

JIM MELLON, 2017

Si pudieras crear una pastilla que añadiera dos años a la vida de alguien, tendrías una empresa de 100 mil millones de dólares.

SAM ALTMAN, 2018

Nuevas industrias han aparecido a lo largo de la historia de la humanidad gracias a tecnologías que en su momento eran consideradas imposibles hasta que fueron realidades. Muchas de esas industrias fueron totalmente desacreditadas por los «expertos» de su tiempo. Afortunadamente esos sectores crecieron aceleradamente hasta convertirse en partes fundamentales de la economía mundial.

Muchas de las industrias más importantes de nuestro mundo de hoy fueron ridiculizadas en su momento. Varias tecnologías e industrias importantes pasaron de ser imposibles a imprescindibles. Consideremos las siguientes invenciones y descubrimientos a modo de ejemplo:

1. Los trenes.
2. Los teléfonos.
3. Los coches.
4. Los aviones.
5. La energía atómica.
6. Los vuelos espaciales.
7. Los ordenadores personales.
8. Los teléfonos móviles.

De «imposible» a «imprescindible»

El mundo cambia y nosotros con él. Reflexionemos brevemente sobre los comienzos de cada una de las industrias mencionadas y lo que dijeron algunos de los «expertos» de su tiempo:

1. **Los trenes** eran inconcebibles para mucha gente, pues durante siglos los humanos nos trasladábamos principalmente a pie, aunque los estamentos más altos de algunas sociedades podían tener acceso a caballos en tierra y barcos en el agua. Durante la primera mitad del siglo XIX en Inglaterra unos pioneros iniciaron el desarrollo de los trenes. Hasta ese momento, el método de transporte terrestre más rápido utilizado por los más ricos y poderosos eran los caballos y los carruajes. La publicación inglesa *The Quarterly Review* escribió en 1825 lo siguiente^[90]:

¿Hay algo más absurdo y ridículo que la posibilidad de una locomotora que vaya dos veces más rápido que un coche de caballos?

2. **Los teléfonos** eran inconcebibles para la mayoría del mundo hasta que el inventor escocés Alexander Graham Bell comenzó a realizar sus experimentos en Boston en la segunda mitad del siglo XIX. Sin embargo, mucha gente seguía pensando que eran imposibles o inviables, como demuestran los siguientes comentarios en 1876 de la Western Union, la empresa de telégrafos más grande del mundo entonces, y de sir William Preece, ingeniero jefe de la Oficina de Correos Británica, respectivamente^[91]:

Este «teléfono» tiene demasiados defectos como para considerarlo un medio de comunicación. El dispositivo no nos aporta ningún valor en sí.

Quizá los americanos necesiten el teléfono, pero nosotros no. A los británicos nos sobran los mensajeros.

3. **Los coches** comerciales aparecieron en Europa y Estados Unidos durante la primera mitad del siglo XX pero fueron considerados productos para ricos cuando se inventaron. Hasta que el empresario estadounidense Henry Ford masificó el sistema industrial con las líneas de producción, técnicos especializados en diferentes partes del proceso que ensamblaban los coches casi uno a uno.

La creación del famoso Modelo T de Ford (el llamado con gran ironía coche «popular» de cualquier color, siempre que fuera negro) permitió aumentar el volumen de coches, con la consecuente reducción de precios y

la democratización de los vehículos. Sin embargo, se cuenta que supuestamente Ford dijo alguna vez que^[92]:

Si hubiera preguntado a la gente qué quería, muchos habrían respondido que querían caballos más rápidos.

- 4. Los aviones** también fueron imposibles hasta que fueron posibles. Hay multitud de comentarios de «expertos» de la época que explicaban por qué volar era imposible, desde artículos completos en el prestigioso *The New York Times* hasta declaraciones de los científicos más prestigiosos del momento. Por ejemplo, el físico y matemático escocés William Thomson, conocido como lord Kelvin, dijo lo siguiente en 1895^[93]:

Es imposible que máquinas más pesadas que el aire puedan volar.

Esas declaraciones fueron seguidas por estas otras en 1896, ya como expresidente de la prestigiosa Sociedad Real de Londres, cuando ratificó su creencia «científica» en que los aviones eran inconcebibles:

No tengo la más mínima molécula de fe en la navegación aérea, más allá de los globos... Así que no me interesa ser miembro de la Sociedad Aeronáutica.

Por suerte, los hermanos estadounidenses Orville y Wilbur Wright, con tan solo tres años de educación secundaria, no hicieron caso a esos comentarios «científicos» y consiguieron volar por primera vez en 1903. Aunque la primera vez solo consiguieron alzar el vuelo durante unos segundos y la gente se rio de ellos, el resto es historia.

- 5. La energía atómica** era considerada científicamente imposible hasta la primera mitad del siglo xx. De hecho, la propia palabra «átomo» quiere precisamente decir indivisible (en griego: «a»—«tomo», es decir que «no» tiene «partes»). El físico estadounidense Robert Andrews Millikan, ganador del premio Nobel de Física en 1923, dijo en la revista *Popular Science* en 1930^[94]:

Ningún «científico perverso» podrá volar el mundo a través de la liberación de la energía atómica.

Por su parte, el físico alemán Albert Einstein, ganador del premio Nobel de Física en 1921, también predijo erróneamente en 1932^[95]:

No hay el más mínimo indicio de que pueda obtenerse energía nuclear. Supondría que se podría destruir el átomo a voluntad.

Los primeros experimentos de fisión nuclear fueron realizados en Alemania en 1938, demostrando que los dos laureados Nobel, y muchos otros científicos, se equivocaban. Sin embargo, fue en Estados Unidos donde se desarrollaron las primeras bombas atómicas a través del entonces secreto Proyecto Manhattan en 1945. Armas que cambiaron el curso de la historia y pusieron punto final a la segunda guerra mundial en el Pacífico.

6. Los vuelos espaciales eran quizás aún más «imposibles» que los aviones y la energía atómica juntos. Nadie había volado aún a inicios del siglo pasado en el propio planeta Tierra, de modo que salir de la atmósfera era incluso más para la mayoría de la gente, independientemente de su formación. En la primera mitad del siglo xx varios grupos de personas, sobre todo en Alemania, Estados Unidos y Rusia, desde principiantes hasta científicos, se entregaron a la tarea de lograr lo impensable. Sin embargo, los críticos no dejaban de atacar la «locura» que suponía volar al espacio, como demuestra un editorial que apareció en *The New York Times* en 1920^[96]:

Después de que un cohete saliera del aire e iniciara su viaje espacial, su vuelo no podría ser acelerado ni mantenido por la explosión de cargas que deja en su camino.

Años después de concluida la segunda guerra mundial, y en plena Guerra Fría, los soviéticos lograron lanzar el *Sputnik*, el primer satélite artificial, en 1957, seguido del primer vuelo orbital en 1961, tripulado por el cosmonauta soviético Yuri Gagarin. Ante esto, el presidente estadounidense del momento, John Fitzgerald Kennedy, anunció que en 10 años Estados Unidos pondría el primer hombre en la Luna. Aunque parecía realmente imposible, pues el desconocimiento tanto de la ciencia como de la tecnología para viajar en el espacio era enorme, el astronauta estadounidense Neil Armstrong se convirtió en el primer humano en pisar la Luna en tan solo 8 años (incluso dos años antes de la atrevida apuesta de Kennedy). Entonces dijo la frase inolvidable que muchos pudimos ver en vivo cuando éramos más jóvenes^[97]:

Un pequeño paso para el hombre, pero un gran paso para la humanidad.

7. Los ordenadores personales han sido otra tecnología que se ha desarrollado exponencialmente en el siglo xx desde sus humildes comienzos como descendientes de los primeros ábacos inventados en Mesopotamia hace 5000 años. Se cuenta que el empresario estadounidense Thomas Watson, presidente de IBM (International Business Machines), dijo en 1943^[98]:

Creo que hay un mercado de unos cinco ordenadores en todo el mundo.

Aunque puede que Watson no haya dicho eso, la realidad es que los ordenadores eran entonces máquinas impresionantemente grandes, caras, pesadas y complicadas. Así se expresó la revista *Popular Mechanics* en 1949 al comentar sobre el primer gran ordenador ENIAC en Estados Unidos^[99]:

Mientras hoy un ordenador como ENIAC tiene 18 000 tubos de vacío y pesa 30 toneladas, los ordenadores del futuro podrán tener solo 1000 tubos de vacío y pesar apenas 1,5 toneladas.

Los ordenadores no eran concebidos para uso individual, y el concepto de ordenadores personales era difícil de concebir hasta para empresarios como el ingeniero estadounidense Ken Olsen, cofundador y presidente de DEC (Digital Equipment Corporation), quien dijo públicamente en 1977:

No hay ninguna razón para que nadie quiera un ordenador en su casa.

Afortunadamente, gracias a la conocida Ley de Moore, en honor al científico y empresario estadounidense Gordon Moore, hoy constatamos que los ordenadores duplican su poder cada dos años o menos, al mismo tiempo que sigue bajando su precio.

8. Los teléfonos móviles nacieron gracias a la convergencia de varias tecnologías previas, tales como los teléfonos fijos, la radio y los ordenadores personales. Aunque también fueron inconcebibles en su momento, hoy casi todo el mundo tiene un teléfono móvil si así lo desea. Desde niños hasta «ancianos», hoy la gente tienen teléfonos móviles, desde modelos muy baratos producidos en China e India por tan solo el equivalente de diez dólares, hasta modelos más sofisticados por cerca de mil dólares.

Pero los teléfonos móviles ya no son sencillos teléfonos «estúpidos». En tan solo una década los teléfonos se han vuelto «inteligentes». Sin embargo, en fecha tan reciente como el año 2007, al aparecer el iPhone de Apple que ayudó a popularizar los teléfonos móviles inteligentes, el empresario estadounidense Steve Ballmer, entonces presidente de Microsoft, dijo en una conferencia, según publicó el periódico *USA Today*^[100]:

No hay ninguna posibilidad de que el iPhone llegue a tener una cuota de mercado significativa.

Gracias también a la Ley de Moore, las nuevas versiones de teléfonos móviles son cada vez más inteligentes. Los teléfonos móviles actuales hacen infinidad de cosas, y las llamadas telefónicas suponen apenas una

pequeña parte de su uso. Gracias a todas las nuevas aplicaciones, dispositivos y sensores, los nuevos teléfonos móviles tienen funciones desde simples cámaras hasta avanzados asistentes médicos. En pocos años, con los nuevos teléfonos móviles inteligentes conectados continuamente a internet a alta velocidad, y gratis o casi gratis, no habrá límites al conocimiento humano. Estamos avanzando aceleradamente hacia la democratización de toda la sabiduría acumulada desde el inicio de la civilización. Estos impresionantes avances tendrán implicaciones de todo tipo, desde las comunicaciones hasta la medicina, como indica la publicación británica *BBC* en un artículo futurista que menciona múltiples posibilidades^[101]:

Es una mañana de verano en 2040. Internet conecta todo alrededor y organiza tu agenda gracias al flujo de datos del día. El transporte público a la ciudad ajusta los horarios dinámicamente y selecciona las mejores rutas en caso de retrasos. Comprar el regalo de cumpleaños perfecto para tus niños es fácil gracias a la información que indica a tu servicio de compras exactamente lo que quieren. Lo mejor de todo es que estás vivo, a pesar de un terrible accidente casi fatal que has sufrido el mes pasado gracias al acceso inmediato a tu historia clínica que los médicos del servicio de urgencias del hospital tuvieron.

Hoy diríamos que la mayoría de la gente considera todas estas industrias tanto imprescindibles como parte fundamental de la civilización actual, aunque existen grupos que no las utilizan y ni siquiera las quieren, pues viven en otros tiempos con otras ideas. Por ejemplo, muchas de las comunidades amish en Norteamérica y de los aborígenes yanomami en Suramérica no desean utilizar esas tecnologías. Prefieren vivir en sus mundos del pasado, como otras comunidades tradicionales en Papúa Nueva Guinea y otras partes del mundo. Dichos grupos tienen su derecho a vivir en el mundo que quieren, pero no pueden imponer sus ideas a otros. Tampoco pueden detener los avances científicos que surgen de la curiosidad innata del *Homo sapiens sapiens* desde antes de nuestra salida de las tierras africanas en las que evolucionamos hace millones de años atrás.

Nace una nueva industria «imposible» y muy pronto «imprescindible»

Ya hemos visto cómo muchos «expertos» han estado equivocados a través de la historia acerca del desarrollo de trenes, teléfonos, coches, aviones, energía atómica, vuelos espaciales, ordenadores personales y teléfonos móviles. Hay innumerables ejemplos más que podríamos citar: la radio, la televisión, los robots, la inteligencia artificial, la computación cuántica, la nanomedicina, los ensambladores moleculares,

las bases espaciales, la fusión nuclear, el «*hyperloop*», las interfaces cerebro-ordenador, la carne cultivada sin animales, los trasplantes de órganos, los corazones artificiales, la clonación terapéutica, la criopreservación de células y tejidos, la bioimpresión de órganos, y una enorme lista de tecnologías que se están desarrollando desde inicios del siglo XXI. La más fascinante, y precisamente el tema de este capítulo, es el nacimiento de la industria del rejuvenecimiento humano.

Desde inicios de este siglo, gracias a los avances científicos que nos permiten comprender mejor los procesos de envejecimiento y anti-envejecimiento, está naciendo una industria que hasta el siglo XX era científicamente «imposible», pero que en la primera mitad del siglo XXI puede convertirse finalmente en realidad. Es obvio que hablamos de la industria del rejuvenecimiento humano, que tiene el potencial de convertirse en la industria más grande de la historia, pues el gran enemigo de toda la humanidad es el envejecimiento. Las enfermedades relacionadas con el envejecimiento causan el mayor sufrimiento al mayor número de gente, especialmente en los países avanzados, donde alrededor del 90% de la población sucumbe al horror del envejecimiento. Esta era la triste realidad hasta hoy, cuando ya tenemos pruebas fehacientes de que tanto el control del envejecimiento como el rejuvenecimiento son posibles. Las pruebas de concepto ya existen en células, en tejidos, en órganos y en organismos modelos como levaduras, gusanos, moscas y ratones.

Vivimos en un momento histórico en el que tenemos por primera vez la oportunidad científica y la responsabilidad ética de acabar con la tragedia más grande de la humanidad. Hoy sabemos que curar el envejecimiento es posible, también sabemos que no será fácil, todavía nos falta mucho por aprender y descubrir, y vamos a tener que invertir enormes cantidades de recursos de todo tipo (humanos, científicos, financieros, etc.). A pesar de todos los problemas futuros, muchos de ellos todavía imprevistos y hasta imprevisibles, hoy finalmente podemos ver que sí hay una luz al final del túnel.

Los emprendedores británicos Jim Mellon y Al Chalabi publicaron en 2017 un libro visionario que llamaron *Juvenescencia: Invertir en la edad de la longevidad*. En este libro visionario, los autores indican que la expectativa de vida aumentará a 110-120 años en las próximas dos décadas y aumentará rápidamente después. El viejo paradigma de «nacer, estudiar, trabajar, jubilarse y morir» será sustituido por vidas largas donde nos reinventaremos continuamente en el tiempo, como afirma la propia página web del libro^[102]:

A medida que la tecnología y la biología se fusionen y creen mayores capacidades, la sabiduría convencional sobre la trayectoria de la vida cambiará radicalmente. El concepto de jubilación será algo anticuado, del siglo pasado: la gente trabajará hasta al menos 85 años, y se la necesitará y se la valorará.

En resumen, el libro hace tres cosas: en primer lugar, describe los tratamientos actuales o que se están desarrollando y que permitirán vivir mucho más tiempo que lo indicado hoy por las estadísticas actuariales. En segundo lugar, comenta las tecnologías que tienen el potencial de alargar la vida, como la ingeniería genética y las terapias con células madre. Y finalmente, Jim y Al han seleccionado cuidadosamente tres portafolios de potenciales inversores.

Mellon y Chalabi comienzan su libro con un prefacio titulado «La longevidad toma vuelo», donde comparan la industria de la aviación de hace un siglo y la industria del rejuvenecimiento actual:

Al igual que con la aviación hace un siglo, la ciencia del antienvejecimiento está ahora lista para despegar...

Solo han pasado algo más de 100 años desde que el señor Boeing construyó su primer avión, y cerca de 120 años desde que los hermanos Wright hicieron historia con su primer vuelo con el *Kitty Hawk*. Imaginen haber vivido en 1915: ¿podría alguno de nosotros haber imaginado cómo sería un avión menos de un siglo después? ¡Casi seguro que no! Pero lo importante es que en 1915 ya se habían descubierto los mecanismos que permiten volar a un avión, y desde ese momento el diseño y la capacidad de las máquinas que podrían volar no ha hecho más que mejorar.

El conocimiento, una vez aprendido, no se puede desaprender, y a pesar de las interrupciones ocasionales al impresionante progreso humano (guerras, hambrunas y plagas), es maravilloso de qué forma nos erguimos hoy sobre un enorme cofre de información (conocimiento que se está duplicando, no solo en cantidad si no también en calidad, cada dos años). Es cierto que mucho de ese «conocimiento» puede no ser muy útil, pero no hay duda de que internet ha supuesto una enorme mejora en la transmisión y el uso de datos científicos (algo beneficioso para toda la humanidad).

El mismo patrón de conocimiento acumulado aplicado a la aviación también se manifiesta en los temas del envejecimiento y de la longevidad. Hasta la segunda guerra mundial, el envejecimiento era una disciplina marginal, en el mejor de los casos, pues muy poca gente fuera del dominio de la ciencia ficción podía prever que la gente viviría mucho más de 100 años.

Los científicos tienen hoy una buena comprensión de la composición genética básica de los seres humanos gracias a la secuencia del genoma humano llevada a cabo a principios del siglo XXI y el descubrimiento de la estructura del ADN medio siglo antes. Los investigadores del envejecimiento están ahora luchando con dos cuestiones clave:

1. Cómo curar o domar las enfermedades cuya incidencia y letalidad aumentan y según se envejece, y
2. Cómo investigar el envejecimiento como una enfermedad unitaria en sí misma (o visto de otra manera, como un tipo de enfermedad).

Se están investigando los fundamentos básicos del funcionamiento de nuestras células, de tal forma que podamos ralentizar, detener e incluso retroceder el proceso de envejecimiento. Existen multitud de elementos implicados en el envejecimiento, y la ciencia para descubrir y alterar el proceso todavía está en su infancia, pero es un área que está experimentando un crecimiento explosivo.

Aparece un ecosistema para la industria científica del rejuvenecimiento

La industria científica del antienvejecimiento y del rejuvenecimiento apenas está comenzando. Lamentablemente, desde hace mucho tiempo existe otra industria pseudocientífica que vive y sobrevive desde hace décadas, siglos, milenios e incluso antes. Las pócimas milagrosas, píldoras fantásticas, lociones sorprendentes, cremas mágicas, invocaciones espirituales y plegarias sobrenaturales han existido desde tiempos inmemoriales, y es probable que sigan existiendo durante muchos años más. Sin embargo, gracias al progreso tecnológico exponencial, esperamos que la luz de la ciencia vaya haciendo retroceder la oscuridad de la pseudociencia.

Por eso es fundamental apoyar el trabajo de los científicos que están trabajando arduamente para alcanzar el primer gran sueño de la humanidad, como vimos antes: la inmortalidad (o con más rigor: la amortalidad). Aunque no lo puedan decir así muchas veces, la idea básica es derrotar, tanto científica como moralmente, al gran enemigo de toda la humanidad, el envejecimiento, de lejos la causa del mayor sufrimiento de la humanidad en nuestros días.

Uno de los científicos más reconocidos en estos temas es el ya mencionado genetista, ingeniero molecular y químico estadounidense George Church, profesor de genética en la Escuela Médica de Harvard, profesor de Ciencias de la Salud y la Tecnología en Harvard y en el MIT, y de quien ya hemos hablado en la introducción. Church ha estado involucrado en trabajos tan importantes como el Proyecto Genoma Humano, el proyecto BRAIN (del inglés: *Brain Research through Advancing Innovative Neurotechnologies*) para entender cómo está conectado y cómo funciona el cerebro humano, además de muchos otros proyectos, como copiar genes de mamuts extintos en el genoma de elefantes asiáticos. Church está trabajando en el rejuvenecimiento de animales, incluidas pruebas con perros en la compañía Rejuvenate Bio con el objeto de aprender y luego aplicar sus hallazgos en humanos^[103]. Entre muchas otras cosas sobre antienvjecimiento, Church también ha dicho en *The Washington Post* que gracias a los avances esperados de terapias génicas como CRISPR y otras tecnologías^[104]:

Todos utilizaremos terapias génicas, no solo para curar enfermedades como la fibrosis quística, sino para enfermedades que todos padecemos, como el envejecimiento.

Uno de nuestros mayores retos económicos de nuestros días es el envejecimiento de la población. Si eliminamos la jubilación, ganaríamos un par de décadas para enderezar las economías del mundo. Si todos los ancianos pudieran volver a trabajar y se sintieran sanos y jóvenes, habríamos evitado uno de los mayores desastres económicos de la historia.

Alguien con un corazón más joven debería reemplazarte, y ese deberías ser tú mismo. Yo estoy dispuesto a hacerlo. Estoy dispuesto a ser más joven. De todos modos, ya intento reinventarme cada pocos años.

Church es cofundador, accionista y asesor de muchas compañías, entre las que cabe mencionar Veritas Genetics (estudios de genoma), Warp Drive Bio (productos naturales), Alacris (terapéutica de sistemas con cáncer), Pathogenica (diagnóstico de virus y microbios), AbVitro (inmunología), Gen9 Bio (biología sintética), Rejuvenate Bio (rejuvenecimiento de animales), EnEvolv (ingeniería génica), entre varias otras. Además, es autor, junto con el escritor científico Edward Regis, del libro *Regénesis* donde proponen un nuevo génesis para el *Homo Sapiens 2.0*. El subtítulo del libro es *Cómo la biología sintética reinventará la naturaleza y a nosotros*. Además, el libro está también escrito en ADN, el primer libro escrito así en el mundo, contenido en un pequeño frasco que se entrega junto con el libro impreso. Este ensayo termina con un debate sobre la posibilidad de la futura inmortalidad biológica, la nueva evolución tecnológica más allá de la vieja evolución biológica, y lo que Church llama el «fin del comienzo» con el inicio del transhumanismo (cuando los humanos trascendemos nuestras limitaciones gracias a la ciencia y a la tecnología^[105]).

Otro conocido científico estadounidense inmerso en estos temas es el bioquímico, genetista y empresario estadounidense Craig Venter, presidente fundador de Celera Genomics, quien se hizo mundialmente famoso al arrancar su propio Proyecto Genoma Humano en 1999 al margen del presupuesto público, utilizando tecnologías más avanzadas que le permitieron terminar la secuencia del genoma de forma mucho más rápida y barata. Venter también es famoso por haber creado la primera bacteria artificial en el año 2010 tras reescribir el genoma de una bacteria y modificarlo para crear una forma de vida artificial: «La primera especie que tiene como padres a un ordenador», según explicó entonces. Esta bacteria sintética sería posteriormente bautizada como *Synthia*, para identificar así que su genoma había sido reconstruido artificialmente en el laboratorio.

Venter también cofundó en 2014 la compañía Human Longevity Inc. (HLI), cuyo objetivo es extender la vida saludable gracias al análisis del genoma y otros datos médicos del individuo, con apoyo de inteligencia artificial y técnicas de aprendizaje profundo. El cofundador de HLI, Peter Diamandis, médico e ingeniero estadounidense de Harvard y el MIT, además de cofundador con Ray Kurzweil de Singularity University, ha dicho que, gracias a los avances tecnológicos, vamos a extender radicalmente nuestras vidas y pronto «no tendremos que morir^[106]». La misión de HLI contempla^[107]:

El envejecimiento es el principal factor de riesgo para prácticamente todas las enfermedades humanas importantes. Nuestro objetivo es ampliar y mejorar la vida útil saludable y de alto rendimiento para cambiar por completo la noción de envejecimiento. Por primera vez, el poder de la genómica humana, la informática, las tecnologías de secuenciación de ADN de próxima generación y los avances con células madre se están aplicando en una compañía, Human Longevity Inc., con los principales pioneros en estos campos. Nuestro objetivo es resolver las enfermedades del envejecimiento cambiando la forma en que se practica la medicina.

El equipo de Venter también logró en el año 2016 sintetizar un genoma bacteriano con la mínima expresión de genes posible, tan solo 473. Se trata de la primera forma de vida creada completamente por el ser humano, bautizada como *Mycoplasma laboratorium* para indicar su diseño en un laboratorio. Se espera que esta línea de investigación lleve al desarrollo de bacterias manipuladas para generar reacciones específicas que permitan, entre otras cosas, producir fármacos o combustibles, por ejemplo. También se espera la creación de medicinas personalizadas gracias a este y otros avances de la biología sintética.

Venter ha escrito dos libros, el primero sobre la secuencia del genoma humano, en concreto de su propio genoma, y el segundo con el título *La vida a la velocidad de la luz: Desde la doble hélice a los albores de la vida digital*, que trata sobre el nuevo horizonte de fronteras científicas. El libro ofrece una oportunidad para reflexionar de nuevo sobre la vieja pregunta «¿Qué es la vida?» y examinar qué significa realmente «jugar a ser Dios» desde el punto de vista de la primera persona que ha creado vida artificial. Venter es un visionario en el amanecer de una nueva era de la ingeniería genética y de las oportunidades que emergen de la digitalización de la vida

misma^[108].

Otra experta en envejecimiento es la bióloga molecular y biogerontóloga estadounidense Cynthia Kenyon, originalmente conocida por sus estudios genéticos para entender el envejecimiento en el diminuto gusano nematodo *Caenorhabditis elegans* (mejor conocido como *C. elegans*, uno de los organismos modelo más utilizado en biología). Actualmente es vicepresidenta de investigación sobre envejecimiento en Calico (California Life Company, fundada por Google en 2013), donde aparece esta reseña^[109]:

En 1993, Kenyon realizó un descubrimiento pionero: una simple mutación de un solo gen podía duplicar la esperanza de vida de los gusanos *C. elegans*, fértiles y saludables, algo que provocó un estudio intensivo de la biología molecular del envejecimiento. Sus hallazgos mostraron que, contrariamente a la creencia popular, el envejecimiento no «sucede simplemente» de una manera completamente azarosa. Por el contrario, la tasa de envejecimiento está sujeta al control genético: los animales (y probablemente los humanos) contienen proteínas reguladoras que afectan al envejecimiento mediante la coordinación de diversos grupos de genes que en conjunto protegen y reparan las células y los tejidos. Los hallazgos de Kenyon han llevado a comprender de qué forma una vía universal de señalización hormonal influye en la tasa de envejecimiento en muchas especies, incluidos los humanos. Ha identificado muchos genes y vías de longevidad, y su laboratorio fue el primero en descubrir que las neuronas, y también las células germinales, pueden controlar la vida útil de todo el animal.

Kenyon ha hecho declaraciones impactantes basada en sus investigaciones, e incluso ha planteado la posibilidad de la inmortalidad biológica, como le explica al entrevistador del periódico *San Francisco Gate*^[110]:

En principio, si entendiéramos los mecanismos para mantener las cosas reparadas, podríamos mantener las cosas de manera indefinida.

Creo que [la inmortalidad] podría ser posible. Te diré por qué. Piensa que la vida de una célula es la integral de dos vectores, la fuerza de destrucción y la fuerza de prevención, mantenimiento y reparación. En la mayoría de los animales, la fuerza de destrucción aún tiene ventaja. Pero ¿por qué no aumentar un poco los genes de mantenimiento? Lo que hay que hacer es subir un poco el nivel de mantenimiento. No hay que subirlo mucho. Simplemente un poco más, para contrarrestar la fuerza de destrucción. Y no lo olvides, el linaje de gérmenes es inmortal. Así que es posible, al menos en principio.

En un artículo escrito por la propia Kenyon con el título «El Envejecimiento: La frontera final», explica que^[111]:

Uno podría pensar que hay que modificar muchos genes para extender nuestra esperanza de vida: genes que afectan a la fuerza muscular, las arrugas, la demencia, etc. Pero la investigación en gusanos y ratones ha descubierto algo bastante sorprendente: hay ciertos genes cuya alteración puede retrasar el envejecimiento de todo el animal de una vez.

Los científicos Church, Venter y Kenyon son ejemplos de una generación que está trabajando abiertamente en temas de rejuvenecimiento y anti-envejecimiento en instituciones con enorme prestigio, y sin miedo a decirlo públicamente. Detrás de ellos hay una nueva generación de científicos que sigue su estela, como el mencionado microbiólogo portugués João Pedro de Magalhães^[112].

Entre sus muchos proyectos de investigación científica relacionados con la longevidad, De Magalhães ha secuenciado y analizado el genoma de la ballena de

Groenlandia. Además ha contribuido al análisis del genoma de la rata topo desnuda. Ambos mamíferos son excepcionalmente longevos y resistentes al cáncer. En su página web, escribe unas palabras que ojalá motiven a otros^[113]:

Espero que senescence.info ayude a que la gente tome conciencia del problema de que están envejeciendo. Es probable que el envejecimiento acabe por matarte a ti y a los que amas. Es la principal causa de muerte de grandes artistas, científicos, deportistas y pensadores. Nuestra sociedad y nuestras religiones hacen que sea más fácil aceptar el envejecimiento y la inevitabilidad de la muerte. Creo que si la gente pensara más sobre la muerte y lo terrible que es, se haría un mayor esfuerzo para evitarla invirtiendo más en investigación biomédica y en la comprensión del envejecimiento en particular.

En una generación todavía más joven encontramos a la científica e inversora neozelandesa-estadounidense Laura Deming. Nacida en 1994 en Nueva Zelanda, fue educada por sus padres en su casa. A los ocho años se interesó por el tema del envejecimiento y a los doce comenzó a trabajar como becaria en el laboratorio de Cynthia Kenyon en San Francisco, donde lograron multiplicar por 10 la longevidad del gusano *C. elegans* a través de ingeniería genética. A los catorce años fue aceptada para estudiar en el MIT, pero en el año 2011 abandonó la carrera para regresar a California como uno de los primeros beneficiarios de Peter Thiel (los llamados *Thiel Fellows*), emprendedores que recibirían 100 000 dólares por dejar la universidad y crear una empresa^[114].

La joven Deming es socia y fundadora del Fondo para la Longevidad (*The Longevity Fund*), una empresa de capital de riesgo centrada en el envejecimiento y la extensión de la vida. Deming cree que la ciencia puede usarse para conseguir la inmortalidad biológica en los humanos, y ha dicho que acabar con el envejecimiento «está mucho más cerca de lo que se podría pensar». En la página web de su empresa se indica lo que buscan a la hora de decidir sus inversiones^[115]:

1. Empresas que cuestionen la hipótesis de que el envejecimiento puede modificarse mediante elementos únicos: objetivos específicos, moléculas pequeñas o productos biológicos. Creemos que hay ya suficientes pruebas cruzadas entre especies a través de vías genéticas de acción extraña, por lo que vale la pena probar esta hipótesis en humanos.
2. Empresas que desarrollen nuevas tecnologías para manipular sistemas biológicos. Nos entusiasma la idea de que los seres vivos, o las cosas que fabrican, pueden ensayar con la vida (anticuerpos, terapia celular, cosas que manipulan el sistema inmune o productos electroquímicos). Estamos muy abiertos a cualquier acción en este sentido.
3. Aproximaciones que no entren en ninguno de los casos anteriores o combinen los dos. Intentamos no ser dogmáticos, así que, si puede defenderse, lo analizaremos.

De Magalhães y Deming son excelentes ejemplos de dos generaciones más jóvenes que han dejado atrás el estigma que supone hablar, y más aún investigar, sobre el antienvjecimiento y el rejuvenecimiento, temas tabú que pueden destruir la carrera o la credibilidad científica de algunos investigadores, a los que se podría confundir con partidarios de la pseudociencia del antienvjecimiento mágico o el rejuvenecimiento milagroso.

Ciencia y científicos atraen inversiones e inversores

Los avances científicos de las últimas décadas han comenzado a atraer inversores para financiar más investigaciones. Ahora que la ciencia y los científicos han comenzado a obtener resultados reales, aunque sea todavía a nivel de organismos modelos como gusanos o ratones, podríamos decir que la suerte está echada, o como dijo el romano Julio César al cruzar el río Rubicón: *Alea jacta est!*

Junto a las inversiones públicas, ahora tenemos la posibilidad de buscar inversiones privadas para llevar a cabo más investigaciones que, esperamos, pronto generarán los primeros ensayos clínicos en humanos basados en los resultados positivos en animales. Así está naciendo la industria del antienvjecimiento y rejuvenecimiento científico, con el potencial de convertirse en el sector más grande de la economía y de transformar la historia de la humanidad: antes y después de la inevitabilidad de la muerte.

El ingeniero y empresario moldavo Dmitry Kaminskiy dirige la iniciativa global www.Longevity.International, cuyo objetivo es acelerar el desarrollo de las tecnologías de rejuvenecimiento para su aplicación y comercialización. Tras unir esfuerzos con otras organizaciones (actualmente radicadas en Reino el Unido: Aging Analytics Agency, Biogerontology Research Foundation y Deep Knowledge Life Sciences) han publicado una impresionante serie de informes que ha ido creciendo, mejorando y aumentado en el tiempo. De momento los informes solo están disponibles en inglés, pero su contribución es fundamental para todo aquel que quiera entender el desarrollo de la industria desde que comenzaron sus publicaciones en 2013^[116]:

2013: *Regenerative Medicine: Industry Framework* (150 páginas).

2014: *Regenerative Medicine: Analysis & Market Outlook* (200 páginas).

2015: *Big Data in Aging & Age-Related Diseases* (200 páginas).

2015: *Stem Cell Market: Analytical Report* (200 páginas).

2016: *Longevity Industry Landscape Overview* (200 páginas).

2017: *Longevity Industry Analytical Report 1: The Business of Longevity* (400 páginas).

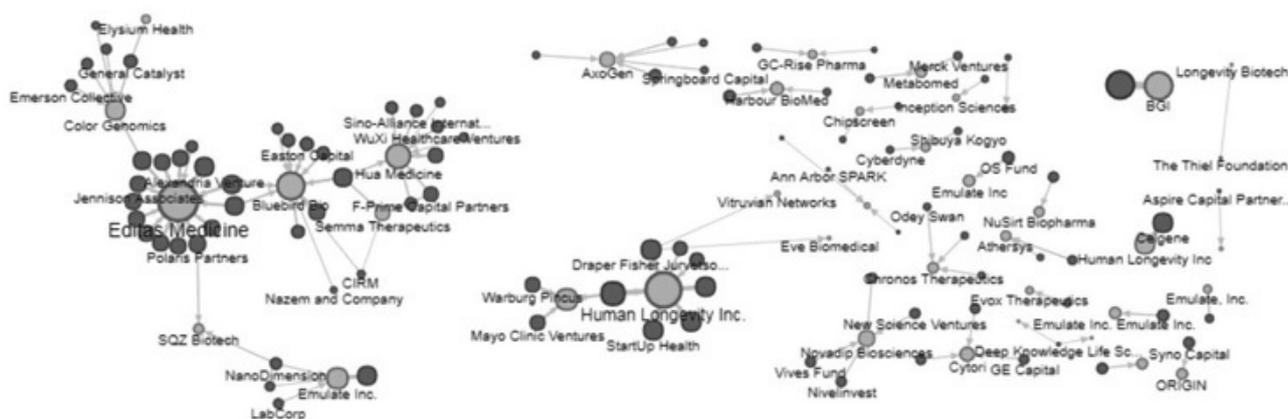
2017: *Longevity Industry Analytical Report 2: The Science of Longevity* (500 páginas).

El primer informe de 2017 trata sobre el negocio de la longevidad, y su resumen ejecutivo comienza y termina así^[117]:

La biotecnología, y la gerociencia en particular, está al borde de una explosión cámbrica de ciencia revolucionaria que transformará la salud en una ciencia de la información capaz de mejorar la condición humana más intensamente que incluso el advenimiento de los antibióticos, la farmacología molecular moderna y la revolución agrícola verde. El curso temporal de esta importante transición evolutiva, y si nosotros y nuestros seres queridos vivimos lo suficiente como para beneficiarnos de estos avances, depende de las decisiones que tomen la comunidad científica y financiera hoy.

El informe presenta un panorama muy completo de la situación en temas de longevidad a nivel empresarial, incluyendo un análisis tanto de las grandes compañías públicas y privadas hasta las nuevas empresas startups que trabajan en tecnologías antienvjecimiento y rejuvenecimiento, pasando por centros de investigación, fundaciones y universidades. El sistema interactivo de www.Longevity.International permite hacer múltiples tipos de análisis, por ejemplo: monitorizar los flujos internacionales de inversiones, estudiar los enlaces entre científicos e inversores, usar los *big data* en la creciente base de datos internacionales, generar redes con intereses específicos, crear mapas de las conexiones entre diferentes instituciones y hacer visualizaciones de grupos y «clústers». La Figura 3-1 muestra un análisis de clúster entre un grupo de más de 100 empresas de diferentes países dedicadas al antienvjecimiento y el rejuvenecimiento.

FIGURA 3-1
Análisis de clúster entre diferentes empresas



Fuente: Basado en www.Longevity.International

También se puede obtener una visión panorámica del paisaje general científico y

de potenciales negocios relacionados con él. El informe incluye listas de los principales científicos (como algunos de los nombrados anteriormente: George Church, Aubrey de Grey, João Pedro de Magalhães, Cynthia Kenyon, etc.), de los principales inversores (Jeff Bezos, Dmitry Kaminskiy, Jim Mellon, Peter Thiel, etc.) y de los principales «*influencers*» (tales como Serguéi Brin, Larry Ellison, Ray Kurzweil, Larry Page, Craig Venter, etc.). También se incluyen listas de las conferencias, libros, publicaciones y eventos relacionados con «gerociencia» en general. Cabe mencionar que tanto el Foro Económico Mundial en Davos como la publicación británica *The Economist* han comenzado a organizar eventos sobre el tema del envejecimiento y sobre las posibilidades del anti-envejecimiento para resolver la grave crisis económica que se avecina debido al envejecimiento acelerado de la población, un hecho generalizado incluso en muchos países pobres.

El primer informe de *Longevity International* también indica los costes astronómicos de atacar las consecuencias en lugar de las causas del envejecimiento. Por ejemplo, los costes de los tratamientos contra el cáncer rondan los 900 mil millones de dólares al año en todo el mundo, seguido de más de los más de 800 mil millones de dólares que supone tratar la demencia, los cerca de 500 mil millones de dólares que se gastan contra las enfermedades cardiovasculares, y cientos de miles de millones más contra otras enfermedades relacionadas con el envejecimiento. Los sistemas sanitarios han pasado del cuidado de la salud al cuidado de la enfermedad, y básicamente enfermedades del envejecimiento, como se explica en el informe.

Siguiendo con el trabajo de Longevity International, en 2018 hay tres informes adicionales, a saber:

2018: *Longevity Industry Analytical Report 3: 10 Special Cases.*

2018: *Longevity Industry Analytical Report 4: Regional Cases.*

2018: *Longevity Industry Analytical Report 5: Novel Financial Instruments.*

El informe 3 se centra en casos de medicina regenerativa, terapias génicas, biomarcadores del envejecimiento, tratamientos con células madre, productos geroprotectores y nutracéuticos, inteligencia artificial y *blockchain* para la longevidad, nuevos sistemas regulatorios, marcos sectoriales y niveles de aceptación tecnológica. El informe 4 compila información regional, básicamente sobre las grandes economías mundiales: Estados Unidos, Unión Europea, Japón, Reino Unido, Asia y Europa Oriental.

Por último, el informe 5 plantea soluciones financieras a la crisis de envejecimiento que se avecina debido a la creciente brecha entre la vida laboral y la jubilación, junto al aumento del número de pensionistas y la disminución de trabajadores. Los sistemas de seguros y de pensiones actuales no están preparados para afrontar la creciente brecha de los años no trabajados y los enormes gastos

médicos. Nuevas estrategias e instrumentos financieros son necesarios para capitalizar la industria del envejecimiento, cerrar la brecha fiscal y rejuvenecer seres humanos. Nuevos esquemas como fondos de capital de riesgo, fondos de cobertura y fondos fiduciarios se plantean para los próximos años con el objetivo de financiar el rejuvenecimiento y la transición hacia una nueva economía.

Longevity International muestra una ruta o un camino para pasar de un mundo donde existe el envejecimiento al mundo del futuro, donde primará el rejuvenecimiento. Pronto dispondremos de muchas más ideas, pues esta industria apenas está comenzando. Pero lo importante es arrancar y preparar el camino para la extensión radical de la vida.

A nivel global ya ha aparecido un naciente ecosistema para la longevidad, donde se combinan ciencia, finanzas, empresas, gobiernos y demás actores nacionales e internacionales. Estamos en la transición del mundo local al global, donde los cambios también están pasando de lineales a exponenciales. Ahora es el momento de intentar que este todavía frágil ecosistema crezca exponencialmente hasta convertirse en la industria más grande del mundo, la industria que nos llevará a la muerte de la muerte.

Del mundo lineal al exponencial

Tendemos a sobreestimar el efecto de una tecnología en el corto plazo y subestimamos el efecto a largo plazo.

LEY DE ROY AMARA, c. 1980

En 2029 alcanzaremos la velocidad de escape de la longevidad.

RAY KURZWEIL, 2017

Desde el inicio de la humanidad, la ciencia y la tecnología siempre han sido los principales catalizadores del cambio y de los grandes avances. La ciencia y la tecnología son las que diferencian a la especie humana de otras especies animales. Invenciones, creaciones y descubrimientos como el fuego, la rueda, la agricultura y la escritura han permitido el progreso del *Homo sapiens sapiens* desde nuestros ancestros primigenios en las sabanas africanas hasta los primeros vuelos espaciales. Gracias a los cambios exponenciales pronto podremos también controlar el envejecimiento y el rejuvenecimiento humanos.

La revolución agrícola fue la primera gran revolución de la especie humana, hace casi 10 000 años. Más tarde llegaría la Revolución Industrial tras la invención de la imprenta y el desarrollo científico que permitió la industrialización de las sociedades. Actualmente vivimos la tercera gran revolución humana, una revolución que ha recibido muchos nombres: la revolución de la inteligencia, la revolución del conocimiento, la revolución postindustrial, la cuarta revolución industrial, etc.

Futuristas como el ingeniero estadounidense Ray Kurzweil, cofundador de Singularity University y director de ingeniería de Google, sugieren que el mundo se dirige raudo hacia una época en la que los seres humanos devendrán en seres mucho más avanzados gracias al impresionante progreso exponencial de la ciencia y la tecnología. Esta transformación fundamental ha sido descrita como la de la «singularidad tecnológica», tal vez similar al cambio trascendental experimentado en la evolución de los simios a los humanos. Seguiremos avanzando en la extensión de la vida, pero también en la expansión de la vida.

Del pasado al futuro

Hasta el siglo XVIII, la humanidad estaba limitada por la llamada «trampa malthusiana», basada en las ideas del clérigo y economista inglés Thomas Robert

Malthus. En 1798, Malthus publicó su libro *Ensayo sobre el principio de la población*, donde explicaba «la lucha perpetua por el espacio y el alimento» y concluía que^[118]:

La población, sin restricción, se incrementa en proporción geométrica. La subsistencia solo lo hace en proporción aritmética.

Parece que es una de las inevitables leyes de la naturaleza que algunos seres humanos sufran de miseria. Estas son las que, en la gran lotería de la vida, fracasarán.

Sus teorías se conocen hoy como malthusianismo, y en su versión más moderna como neomalthusianismo. El malthusianismo es una teoría demográfica, económica y sociopolítica desarrollada durante la Revolución Industrial, según la cual el ritmo de crecimiento de la población responde a una progresión geométrica, mientras que el ritmo de aumento de los recursos para su supervivencia lo hace en progresión aritmética. Por esta razón, según Malthus, de no intervenir obstáculos represivos (hambre, guerras, pestes, etc.), el nacimiento de nuevos seres aumentaría la pauperización gradual de la especie humana e incluso podría provocar su extinción (lo que se ha denominado catástrofe malthusiana). Lo que Malthus llamaba crecimiento aritmético es lo que algunos hoy llaman crecimiento lineal, y el crecimiento geométrico sería el equivalente del actual crecimiento exponencial.

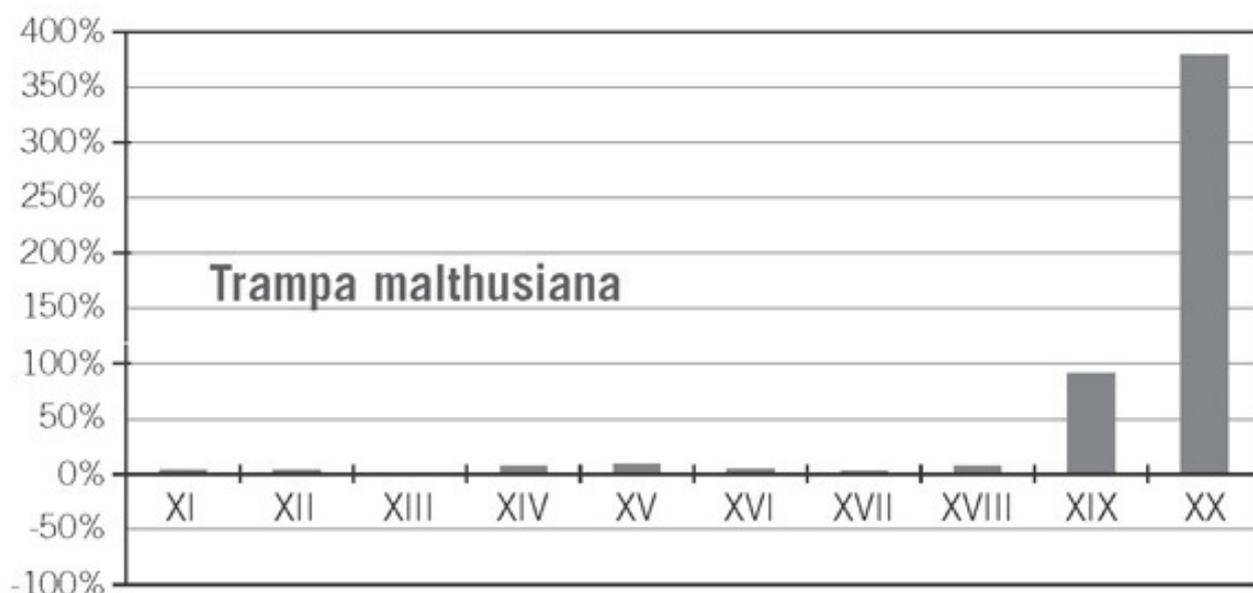
A finales del siglo XVIII, cuando Malthus estaba escribiendo su famoso ensayo, la población del Reino Unido no alcanzaba todavía los 10 millones de habitantes, pero él estaba convencido de que ya había demasiada gente entonces y que el país estaba sobrepoblado. Sus ideas causaron tanto impacto en ese momento, cuando apenas comenzaba la Revolución Industrial, precisamente en el Reino Unido, que el Gobierno británico decidió realizar el primer censo moderno de su historia. El censo se completó en 1801 con unas estimaciones que decían que había 8,9 millones de personas en Inglaterra y Gales, más 1,6 millones en Escocia, es decir, un total de 10,5 millones en Gran Bretaña. A nivel global se estima que fue en 1804 cuando la población mundial alcanzó la cifra de mil millones de habitantes.

A Malthus esas cifras le parecían demasiado altas, y en función del bajo nivel tecnológico del mundo entonces, quizás tuviera razón en su momento. Afortunadamente, el mundo ha avanzado mucho gracias a la Revolución Industrial y ahora podemos incluso decir que los pobres de hoy viven mejor que los ricos de ayer, con un estilo de vida impensable hace dos siglos. Por si fuese poco, la esperanza de vida media se ha casi triplicado desde finales del siglo XVIII hasta inicios del siglo XXI. Excepto algunos malthusianos, pensamos que la mayoría está hoy de acuerdo en que hoy vivimos más y mejor que entonces. Eso se lo debemos precisamente a los grandes avances de la humanidad, que nos han permitido salir de la trampa malthusiana que el filósofo inglés Thomas Hobbes había también descrito en su *Leviatán* en 1651^[119]:

Ningunas artes, letras o sociedad; y lo peor de todo, perpetuo temor y peligro de muerte violenta; y la vida de los hombres es solitaria, pobre, sucia, brutal y corta.

La Figura 4-1 muestra la triste realidad de la humanidad hasta el siglo XVIII, cuando no había apenas crecimiento económico, medido como el ingreso per cápita o Producto Interior Bruto (PIB) per cápita. Según cifras actualizadas del historiador económico británico Angus Maddison, el ingreso per cápita rondaba los mil dólares por año, los ricos tenían algo más, y los pobres algo menos, pero todos éramos económicamente pobres entonces, y aún peor, vivíamos poco tiempo. La mayoría moría joven, incluso de niños e incluso al nacer, y los que vivían más años y sorteaban las tan comunes muertes violentas de esos tiempos, llevaban una existencia que hoy consideraríamos pobre, sucia, brutal y corta, como ya había explicado Hobbes siglos antes.

FIGURA 4-1
La «trampa malthusiana» y el inicio de la Revolución Industrial



Fuente: Autores con datos de Angus Maddison

El crecimiento económico que se inició con la Revolución Industrial ha sido realmente asombroso. El emprendedor estadounidense Peter Diamandis, cofundador de Singularity University y de Human Longevity Inc., entre muchas otras empresas, indica que estamos viviendo cambios exponenciales que están transformando radicalmente la economía del mundo entero^[120]:

Vamos a crear más riqueza en los próximos 10 años que en los 100 anteriores.

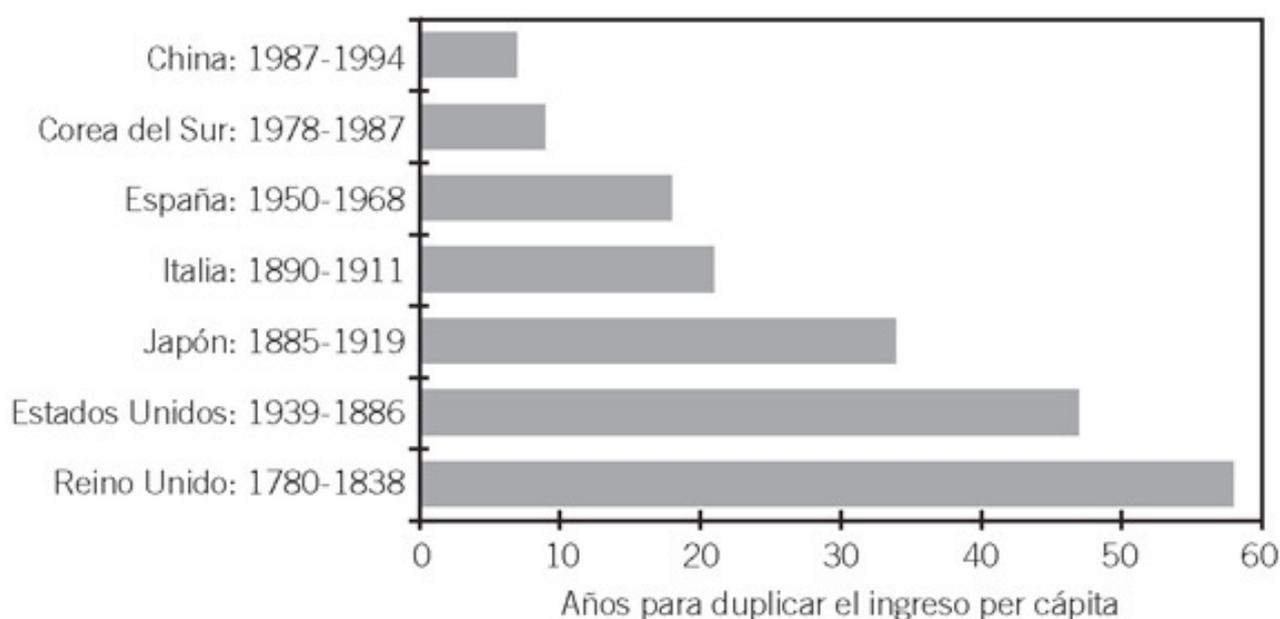
En *Abundancia*, Diamandis y el coautor Steven Kotler explican cómo estamos dejando atrás un mundo de escasez y adentrándonos en un mundo de abundancia^[121]. De hecho, gracias a la aceleración de los cambios tecnológicos, creemos que en las siguientes dos décadas vamos a ver más transformaciones que en los últimos dos milenios. Es difícil de comprender a primera vista, así que repetimos esta idea

fundamental, pensamos que en los próximos 20 años vamos a vivir más transformaciones tecnológicas que en los 2000 años pasados.

La Figura 4-2 muestra de qué forma se han acelerado los procesos de desarrollo económico. El primer país en la historia de la humanidad que logró duplicar su ingreso per cápita de una manera sistemática fue el Reino Unido durante la Revolución Industrial, y le llevó 58 años conseguirlo, entre 1780 y 1838. El segundo país fue Estados Unidos, que logró duplicar su ingreso en 47 años, entre 1839 y 1887. Luego vino Japón y lo hizo todavía más rápido, en 34 años, entre 1885 y 1919. Japón fue además el primer país no occidental que entró en el mundo desarrollado, un hecho con el que echó por tierra algunos prejuicios coloniales que imperaban en esa época, que afirmaban que solo países europeos y sus colonias más avanzadas podían desarrollarse.

FIGURA 4-2

La «aceleración» del desarrollo económico



Fuente: Autores con datos de Angus Maddison

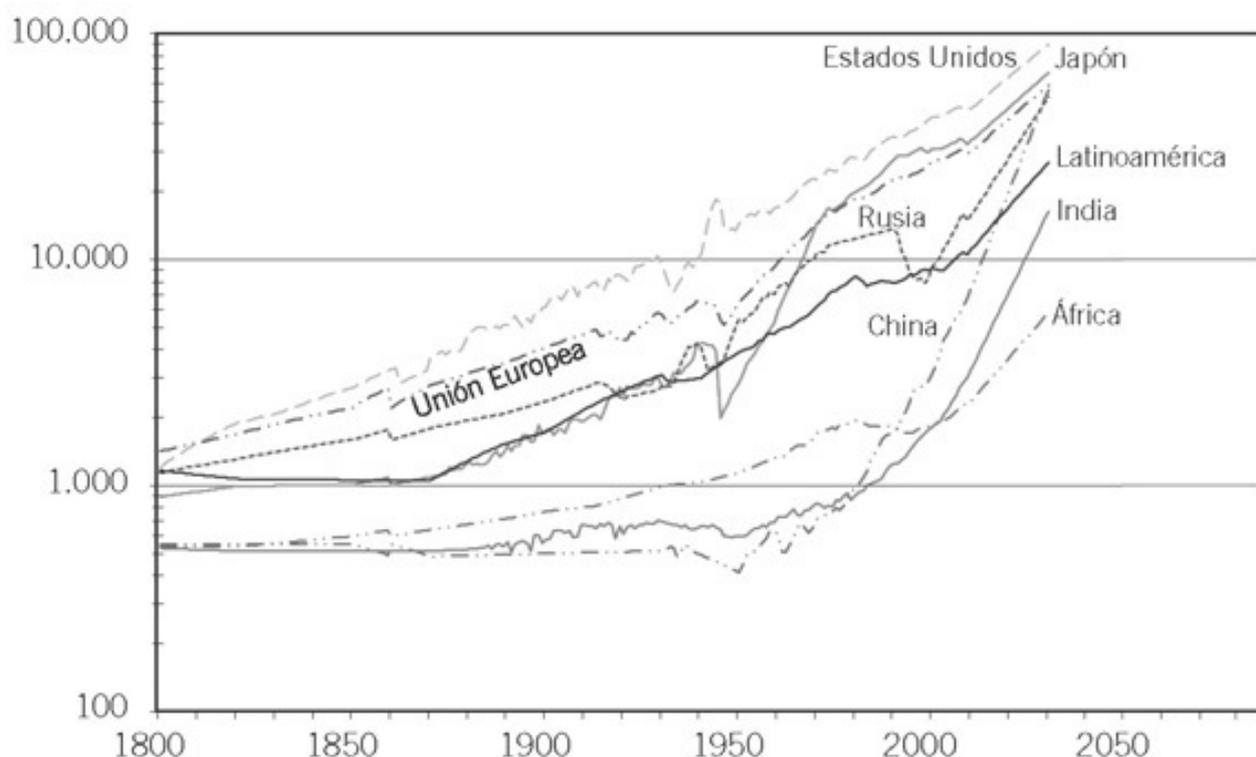
China consiguió el récord mundial de crecimiento económico a finales del siglo XX, cuando demostró que es posible duplicar el ingreso per cápita en menos de una década. Son noticias muy positivas para el resto del mundo, y otros países están siguiendo estos ejemplos. Incluso India ha comenzado a progresar a elevadas tasas de crecimiento, seguido también de países de África y Latinoamérica. Estas experiencias ponen de manifiesto que ya no existen excusas para que los países no salgan de la pobreza, por eso el Banco Mundial ha establecido una meta para acabar con la pobreza extrema en el mundo para el año 2030^[122]. Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) apuntan también hacia esa meta para el año 2030. Lo mejor es que, por primera vez en la historia, existe la posibilidad real de acabar con la pobreza extrema en todo el

mundo^[123].

La Figura 4-3 muestra el crecimiento económico de diferentes partes del mundo desde 1800 hasta 2030. Hasta el siglo XVIII, el ingreso promedio per cápita rondaba tan solo los mil dólares por año, en general en todo el mundo. La Revolución Industrial permitió cambiar esta trágica situación y crear una ingente cantidad de riqueza. Los primeros países que se industrializaron fueron los que primero crecieron, realidad que se mantuvo durante gran parte del siglo. Afortunadamente, ahora los países más pobres comienzan a crecer más rápido y a alcanzar a los que lo hicieron antes. El eje vertical de la Figura 4-3 indica un crecimiento exponencial del ingreso, que ha pasado de los históricos 1000 dólares hasta el siglo XVIII a cerca de 10 000 dólares en muchos países y de casi 100 000 dólares en los países más ricos actualmente. A medida que avancemos en el siglo XXI, todos los países superarán el ingreso de 10 000 dólares y continuarán subiendo hasta los 100 000 dólares y más. Estamos pasando de la escasez a la abundancia, aunque algunos todavía no se lo quieren creer.

FIGURA 4-3
El crecimiento «exponencial» de la economía

PIB per capita (US\$ constantes)



Fuente: Autores con datos de Angus Maddison y del Fondo Monetario Internacional

El psicólogo canadienseestadounidense Steven Pinker explica, además, por qué vivimos «el mejor tiempo para estar vivo» pues, aunque sea difícil de creerlo a simple vista, estamos en los tiempos más pacíficos de la historia humana. En su libro del año 2012 *Los ángeles que llevamos dentro*, Pinker explica que la violencia se ha reducido en el mundo desde que nuestros primeros ancestros *Homo sapiens sapiens*

aparecieron en África^[124]. Pinker continúa demostrando y defendiendo sus tesis en su nuevo libro de 2018 *La Ilustración ahora*, donde explica la importancia de la razón, la ciencia y el humanismo para el progreso de la humanidad^[125].

Hacia una crisis demográfica, pero no la que muchos temen

Dada la ingente cantidad de noticias trágicas que recibimos a diario, muchas veces es difícil creer que la humanidad está progresando y que vivimos en un mundo cada vez más próspero. Diamandis explica las razones evolutivas de la importancia de priorizar la atención a las malas noticias en detrimento de las buenas. Por un lado, si obviamos una mala noticia podemos morir, pues la noticia es precisamente mala y puede significar el fin de nuestras vidas. En cambio, si se nos escapa una buena noticia no vamos a morir, pues precisamente es buena la noticia. En el cerebro se aloja una glándula llamada amígdala cuya función es estar pendiente y multiplicar nuestra atención a las malas noticias^[126]:

La amígdala es nuestro detector del peligro. Es nuestro sistema de alerta temprana. Estudia toda la información sensorial buscando cualquier tipo de peligro para ponerse en alerta máxima...

Esa es la razón por la que el 90% de las noticias en el periódico y en la televisión son negativas, porque les prestamos más atención.

Las malas noticias se venden mejor porque la amígdala siempre está buscando algo que temer.

Muchos piensan que la población mundial está creciendo a pasos agigantados y que eso conduce a la humanidad hacia la catástrofe. No son ideas nuevas, hace más de dos siglos que Malthus las planteó, y hoy sabemos que estaba equivocado, entre otras cosas por no haber considerado el cambio tecnológico iniciado con la Revolución Industrial. Es posible que Gran Bretaña estuviera sobrepoblada con menos de 10 millones de habitantes en el siglo XVIII, pero eso se debía a la carencia tecnológica para producir comida y otros bienes y servicios.

Si nos remontamos mucho más en el tiempo, se estima que hace más de 50 000 años no podían sobrevivir más de un millón de seres humanos en África, pues entonces carecíamos de tecnología. Con apenas la caza, la pesca y la recolección de alimentos, el continente africano no podía mantener a más de un millón de personas. Afortunadamente, hace 10 000 años se inventó la agricultura, lo que permitió producir alimento y almacenarlo, de manera que la población podía asegurarse la subsistencia. Nuestros ancestros entonces dejaron de ser nómadas en busca de comida para fundar las primeras ciudades con fuentes de alimentación garantizadas. Hasta la invención de la agricultura nuestros ancestros vivían en otra «trampa malthusiana» que, afortunadamente, se resolvió gracias a la agricultura y otras tecnologías básicas que nos permitieron llegar al siglo XVIII^[127].

El de la población mundial siempre ha sido un tema vital, especialmente para las naciones más poderosas. Al terminar la segunda guerra mundial en 1945, las Naciones Unidas comenzaron a hacer proyecciones demográficas a largo plazo. Las primeras proyecciones de un siglo, hasta el año 2050, arrojaban cifras de hasta 20 mil millones de personas debido a las elevadas tasas de natalidad del mundo entonces. Aunque la población del planeta estaba en el orden de los 2,5 mil millones de habitantes en 1950, si se mantenían las elevadas tasas de crecimiento sería posible que la población mundial alcanzara los 20 mil millones en 2050. Sin embargo, las tasas de natalidad han ido cayendo país tras país, y por eso las proyecciones también han ido disminuyendo con los años, de 20 a 18, luego 15, después 12, y actualmente se estima en menos de 10 mil millones de habitantes en 2050.

El ecólogo estadounidense Paul Ehrlich escribió en 1968 un *bestseller* mundial titulado *The Population Bomb* en el que comenzaba diciendo^[128]:

La batalla por alimentar a toda la humanidad ha terminado. En la década de 1970, cientos de millones de personas morirán de hambre sin importar qué programa de choque emprendamos ahora. A estas alturas, nada puede evitar un aumento sustancial de la tasa de mortalidad mundial.

Afortunadamente, Ehrlich se equivocó rotundamente. No murieron cientos de millones de personas en la década de 1970, algo que debemos a los continuos avances tecnológicos como la llamada revolución verde de la agricultura, que permitió aumentar la productividad agroindustrial, y gracias a la continua reducción en la tasa de natalidad. Sin embargo, Ehrlich ha seguido diciendo y escribiendo que el mundo está sobrepoblado, a la espera de una catástrofe neomalthusiana, haciendo predicciones que siempre acaban por demostrarse equivocadas, mientras las tecnologías avanzan y las tasas de crecimiento de la población siguen cayendo.

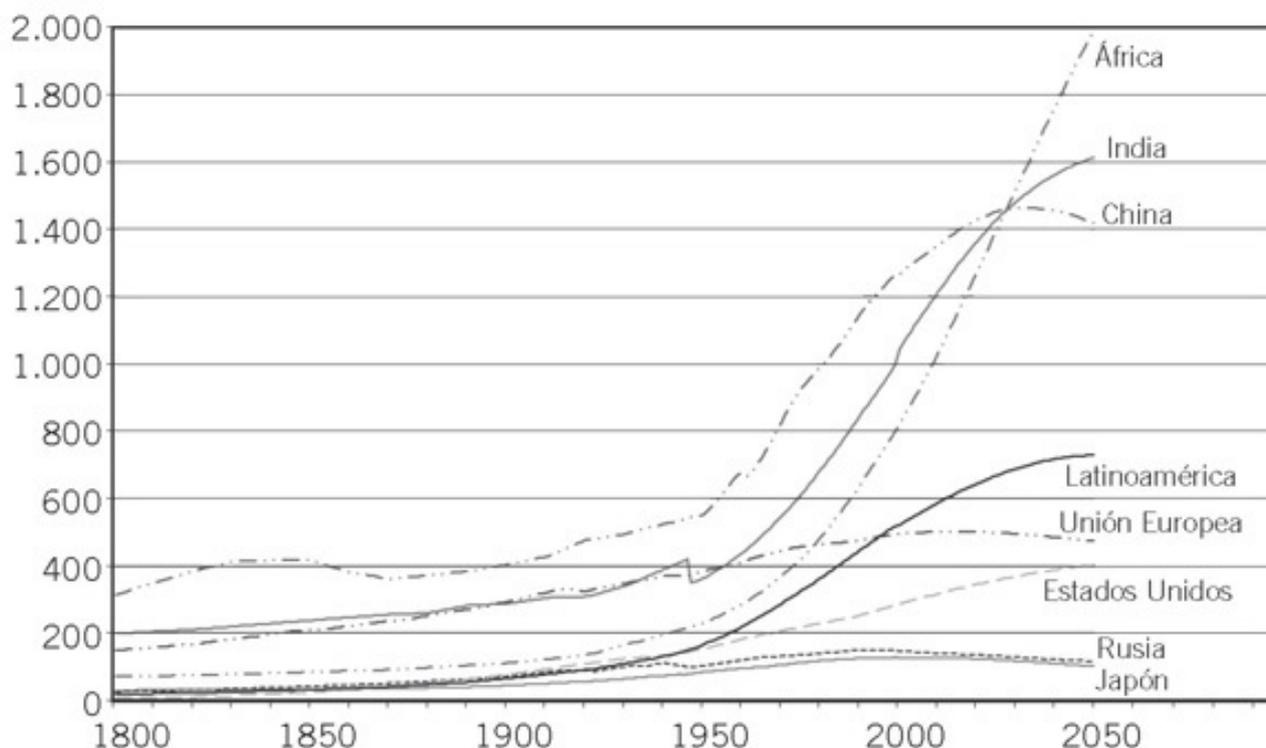
Las transiciones demográficas alcanzadas gracias a la invención de la agricultura hace miles de años, la Revolución Industrial hace dos siglos frente a los temores de Malthus, y la revolución verde hace décadas ante los temores de Ehrlich, nos ponen tras la pista de lo que nos aguarda con las tecnologías futuras. En los próximos años veremos el desarrollo de la biotecnología, la nanotecnología, la robótica y la inteligencia artificial, entre otras fascinantes tecnologías, que harían alucinar no solo a Malthus y a Ehrlich, también a muchos de nuestros coetáneos. Tampoco debemos olvidar que estos cambios tecnológicos no son lineales sino exponenciales, cada vez más rápidos.

La realidad actual es que las poblaciones de muchos países se están estabilizando y comienzan a disminuir. La Figura 4-4 muestra la evolución histórica demográfica desde el año 1800, así como las proyecciones para diferentes partes del mundo hasta 2050. Según la estimación media de Naciones Unidas en 2017, el mundo tendrá una población de 9,8 mil millones en 2050 y 11,2 mil millones en 2100. Las proyecciones también indican que la población mundial llegará a los 8 mil millones en 2023 y 9 mil millones en 2037^[129].

FIGURA 4-4

El crecimiento «lineal» de la población

Población (millones de habitantes)



Fuente: Autores con datos de Angus Maddison y de la Organización de las Naciones Unidas

Por otro lado, la Oficina del Censo de Estados Unidos también ha revisado en 2017 sus proyecciones para 2050, algo más conservadoras que las de Naciones Unidas: 8 mil millones en 2026, 9 mil millones en 2042 y 9,4 mil millones en 2050^[130]. La Oficina del Censo de Estados Unidos no dispone actualmente de proyecciones mundiales más allá de 2050, pero sus datos más moderados han solido estar más cerca de la realidad.

Sea como fuere, podemos ver ya cómo la población de distintas partes del mundo se está estabilizando y comienza a reducirse. Es el caso de la población de países como Alemania, Japón y Rusia. Si creemos en las cifras de Naciones Unidas, la población actual de Japón disminuirá de 127,2 millones en 2018 a 84,5 millones en 2100 según la media de sus estimaciones. En el escenario más extremo, la población japonesa caería a tan solo 54,3 millones, y un siglo más tarde quizás las islas se despoblarían de continuar las tendencias actuales. La población se está reduciendo drásticamente por la falta de nacimientos y porque, además, a muchas mujeres se les hace muy difícil concebir debido a que la edad promedio en Japón ha superado ya los 40 años. En pocas palabras, se trata de un fenómeno casi irreversible bajo las condiciones actuales. Afortunadamente, el mundo cambiará radicalmente gracias a las nuevas tecnologías, y son los países como Japón los que, por razones obvias, más interesados estarán en temas de antienvjecimiento y rejuvenecimiento.

En Alemania se espera que la población se reduzca de 82,3 millones en 2018 a

71,0 millones según la media de estimaciones, y 47,3 millones en el escenario extremo en 2100. En Rusia, la población disminuiría de 144,0 millones en el año 2018 a 124,0 millones en el escenario medio, y 77,2 millones en el escenario extremo en 2100. En países católicos como España e Italia se observan tendencias similares. En España, la población disminuiría de 46,4 millones en 2018 a 36,4 millones según la media de las proyecciones, y 24,0 millones en el escenario extremo en 2100. En Italia, la población caería de 59,3 millones en 2018 a 47,8 millones según la media de las proyecciones, y 31,9 en el escenario extremo en 2100. Así que Italia, el país de los «*bambini*», se queda cada vez con menos niños. Por otro lado, si la población de países como Alemania, España e Italia no se reduce más ni más rápido es debido a la inmigración, que compensa de algún modo la reducción de la natalidad de las poblaciones autóctonas.

Quizás el caso más dramático en el mundo será la gran reducción de la población en China, en parte debido a la política de «un solo hijo», obligatoria durante varias décadas. En China, la mayoría de los ciudadanos actuales son hijos únicos de padres que a su vez fueron hijos únicos, algo que ha creado muchas distorsiones sociales. Además hay más hombres que mujeres debido al infanticidio femenino en una cultura machista en la que los padres prefieren tener descendientes varones. El resultado es un colapso brutal de la población, algo nunca visto en la historia de la humanidad en tiempos de paz. Según Naciones Unidas, la población de China caería de 1415,1 millones en 2018 a 1020,7 millones según la media de proyecciones, y a tan solo 616,7 millones en el escenario extremo en 2100. Debido a estas trágicas previsiones demográficas, China es otro de los países crecientemente interesados en antienvjecimiento y rejuvenecimiento.

La crisis demográfica que se avecina ya no es por exceso de humanos, sino por el posible estancamiento y reducción de la población del planeta. Si analizamos las razones por las que el mundo ha avanzado tanto en estos dos siglos, uno de los principales motivos es, precisamente, el aumento de la población. Más gente pensando, más gente trabajando, más gente creando, más gente innovando, más gente descubriendo, más gente inventando. La gente no viene al mundo solo con una boca para comer y un trasero para defecar, no, la gente viene al mundo con un cerebro, y el cerebro está considerado como la estructura más compleja del universo conocido. El cerebro es un maravilloso órgano con la capacidad de imaginar y crear casi cualquier cosa.

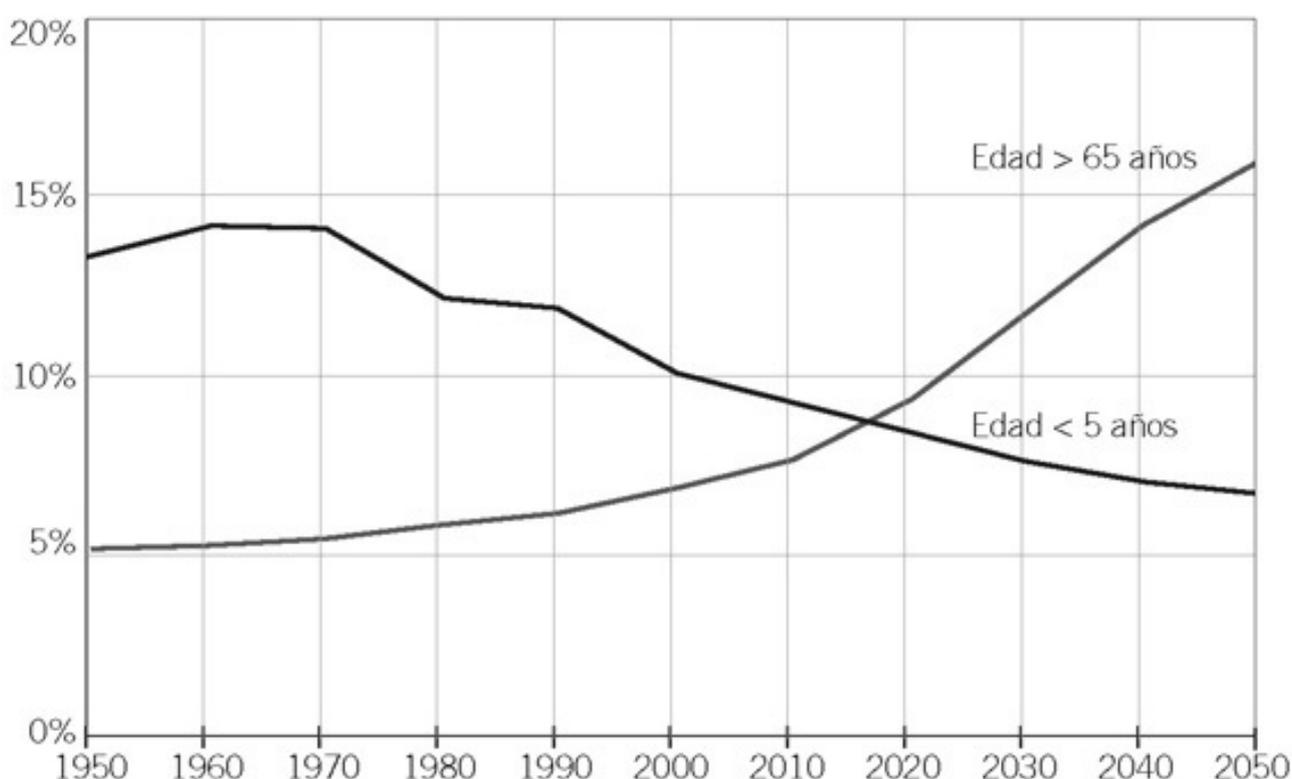
Sin embargo, es cierto que la población aún sigue aumentando en algunos países pobres de África y Asia principalmente, pero la natalidad se reduce y las cifras actuales probablemente sobreestimen lo que va a ocurrir, como demuestra la experiencia histórica de estas proyecciones durante las últimas décadas. Por otro lado, la incorporación de gente más humilde a la economía global conllevará efectos positivos, pues es precisamente la gente más pobre la que sabe hacer más con menos. La productividad del mundo aumentará gracias a las nuevas mentes que se

incorporarán a la economía planetaria. No obstante, hasta en los países más pobres la población se estabilizará durante las próximas décadas^[131].

La Figura 4-5 muestra la drástica caída de la población de menos de 5 años y el rápido aumento de la población de más de 65 años a nivel mundial. Se trata de tendencias globales: el mundo envejece a pasos agigantados, cada vez hay menos jóvenes y cada vez hay más ancianos. Es un fenómeno global, un problema tanto de los países llamados ricos como de los países calificados como pobres. Históricamente, la gente solía morir por causas relacionadas con la violencia y enfermedades infecciosas cuando aún eran jóvenes. Ahora, en cambio, la gente muere de enfermedades relacionadas con la vejez tras un largo, continuo y terrible sufrimiento personal.

FIGURA 4-5
Las verdadera crisis demográfica

Porcentaje de la población (%)



Fuente: Autores con datos de la Organización de las Naciones Unidas

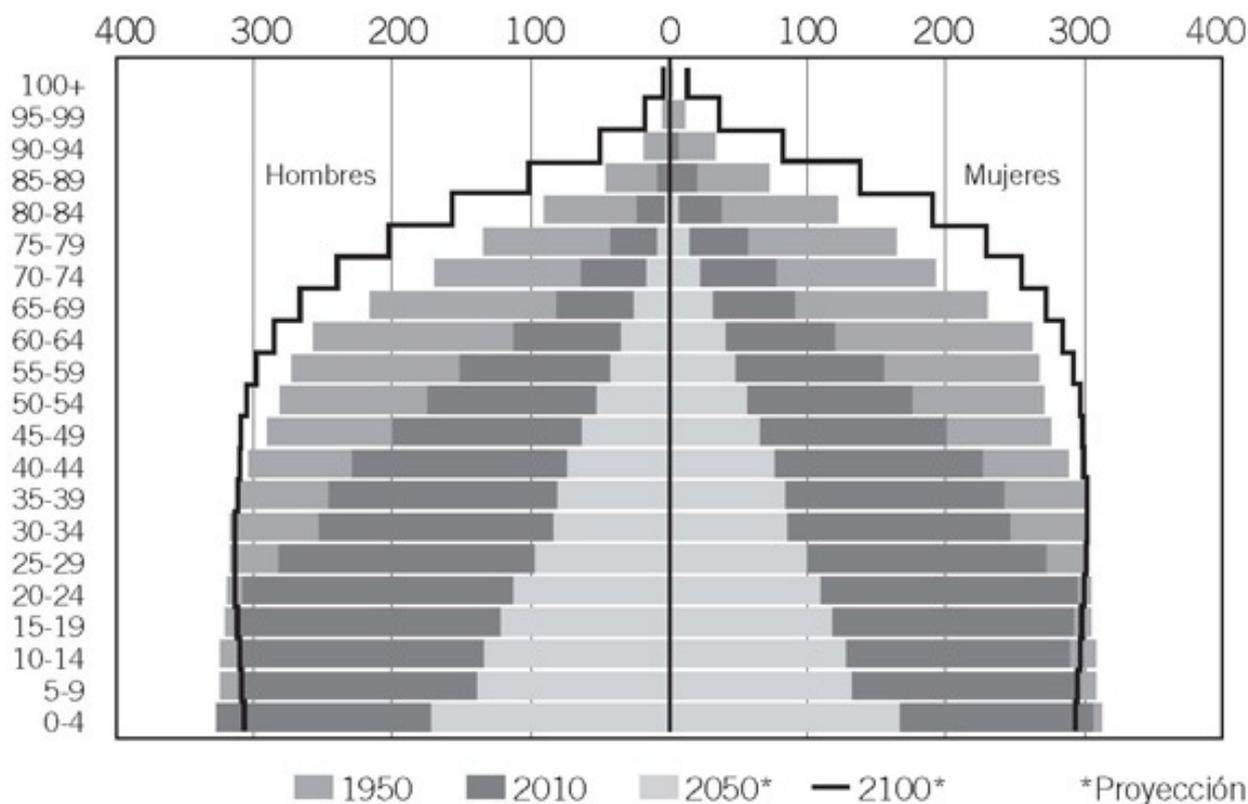
La Figura 4-6 muestra lo que antes podían llamarse «pirámides demográficas», aunque ya están dejando de parecer pirámides para más bien parecer rectángulos. En los casos más dramáticos, como el actual Japón y la China que viene, la pirámide se está invirtiendo para pasar de ser un triángulo con la base abajo para convertirse en un triángulo con la base arriba. La Figura 4-6 también muestra en qué medida la población mundial se estabiliza y envejece aceleradamente. Se espera que haya cada vez menos generaciones de relevo.

El envejecimiento de la población mundial tiene dramáticas implicaciones humanas y sociales, además de graves consecuencias económicas. Con el aumento continuo de la edad cada vez habrá menos gente trabajando y más gente jubilada o pensionista. Además, los gastos médicos aumentan de forma acelerada con la edad, y la mayor parte de los costes médicos se producen precisamente en los últimos años de vida. Finalmente, todos los pacientes terminan muriendo tras asumir enormes gastos individuales y sociales.

Afortunadamente, hay una alternativa. No tenemos que acabar de la misma forma trágica en la que han terminado todos nuestros antepasados hasta hoy. Ahora sabemos que es científicamente posible ralentizar, detener y revertir el proceso de envejecimiento. Nuestro reto histórico es mucho más importante: terminar con el gran enemigo común de la humanidad.

FIGURA 4-6
Las «pirámides» demográficas cambian

Población (millones de habitantes)



Fuente: Autores con datos de la Organización de las Naciones Unidas

Es momento de abrir un nuevo camino al futuro de la humanidad. Es hora de comenzar un viaje fantástico hacia la juventud indefinida. Un viaje con riesgos, sin duda, pero también lleno de oportunidades. Un viaje en el que será necesario atravesar varios puentes antes de alcanzar el sueño más anhelado por la humanidad. Un viaje del mundo lineal del presente al mundo exponencial del mañana.

Un viaje fantástico

En el año 2004, Kurzweil y su médico Terry Grossman, experto en longevidad, escribieron *Viaje fantástico: Vivir lo suficiente para vivir para siempre*. El nombre del libro está basado en una famosa película estadounidense de ciencia ficción producida en 1966 por la 20th Century Fox protagonizada por la actriz y cantante Raquel Welch. La película, titulada *Viaje fantástico* en Latinoamérica y *Viaje alucinante* en España, narra la historia fantástica de un viaje al interior del cuerpo humano con un submarino tripulado que ha sido reducido de tamaño en un centro de miniaturización.

La película ganó dos premios Oscar e inspiró una novela homónima del escritor rusoestadounidense Isaac Asimov, una serie de dibujos animados y hasta un cuadro del mismo nombre del pintor español Salvador Dalí. El productor estadounidense James Cameron y el mexicano Guillermo del Toro han mostrado su interés por hacer para Hollywood una nueva versión de la película.

Viaje fantástico es el segundo libro que Kurzweil dedica al tema de la salud. En su primer libro al respecto, *La solución 10% para una vida saludable*, Kurzweil explica la manera en que él mismo se curó de diabetes a la edad de 45 años y redujo el contenido de calorías, grasas y azúcares de su dieta, entre otros cambios, para eliminar el riesgo de sufrir ataques al corazón y padecer cáncer.

En el segundo libro de salud de Kurzweil, y primero junto a Grossman, los autores explican sobre todo temas de salud como las cardiopatías, el cáncer y la diabetes tipo 2. Promueven cambios en el estilo de vida tales como una dieta con bajo índice glucémico, restricción de calorías, ejercicio, beber té verde y agua alcalinizada, usar ciertos suplementos y otros cambios en la rutina diaria.

Viaje fantástico afirma que el propósito de estos cambios es obtener y mantener una salud idílica con el objetivo de que un individuo prolongue su vida el mayor tiempo posible. Los autores creen que en las próximas décadas la tecnología avanzará hasta el punto de conquistar gran parte del proceso de envejecimiento y eliminar las enfermedades degenerativas. El libro está lleno de notas secundarias sobre varios temas futuristas que muestran cómo la investigación actual nos conduce a la extensión de la vida, y explican que las tecnologías futuras como la bioingeniería, la nanotecnología y la inteligencia artificial cambiarán la forma en que vivimos.

A manera de resumen, el libro comienza con la descripción de tres «puentes» hacia la vida indefinida. Podemos simplificar y actualizar la información describiendo los tres puentes de la siguiente manera, según nuestra propia interpretación:

1. El Primer Puente continúa en esta década de 2010 y consiste básicamente en hacer lo que te diría tu madre o tu abuela (comer bien, dormir bien, hacer ejercicio, no fumar, etc.) con conocimiento médico agregado. Este puente corresponde al programa de longevidad de Ray y Terry (por los nombres de pila de Kurzweil y Grossman, incluyendo las terapias actuales y guías que te permitirán permanecer saludable el tiempo suficiente para beneficiarte de la construcción del Segundo Puente^[132]).
2. El Segundo Puente crecerá fuertemente durante la década de 2020 con la revolución de la biotecnología. A medida que sigamos estudiando el código genético de nuestra biología, descubriremos los medios para escapar de las enfermedades y el envejecimiento, de manera que podamos desarrollar plenamente nuestro potencial humano. Este Segundo Puente nos llevará al Tercer Puente.
3. El Tercer Puente corresponderá principalmente a la década de 2030 y será una realidad gracias a la revolución de la nanotecnología y la inteligencia artificial (IA). La convergencia de estas revoluciones tecnológicas nos permitirá reconstruir cuerpos y mentes a nivel molecular. Para 2045, a más tardar, llegaremos a la singularidad tecnológica y la inmortalidad, tanto biológica como computacional (es decir, la capacidad de leer, copiar y reproducir las mentes).

Dado que la secuencia del genoma humano está posibilitando la digitalización de la biología y de la medicina , *Viaje fantástico* describe el Segundo Puente de la siguiente forma^[133]:

A medida que aprendemos cómo se transforma la información en los procesos biológicos, surgen multitud de estrategias para superar las enfermedades y los procesos de envejecimiento. Un enfoque contundente es comenzar por la columna vertebral de la información de la biología: el genoma. Gracias a las tecnologías genéticas estamos a punto de poder controlar la expresión de los genes. En última instancia, podremos cambiar los propios genes.

Ya estamos implementando tecnologías génicas en otras especies. Usando un método llamado tecnología recombinante, que se usa comercialmente para crear muchos fármacos recientes, se están modificando genes de organismos que van desde bacterias hasta animales de corral para producir las proteínas que necesitamos para combatir enfermedades humanas.

Otra línea de ataque importante es regenerar las células, tejidos e incluso órganos completos, e introducirlos en el cuerpo sin cirugía invasiva. Un beneficio importante de esta técnica de clonación terapéutica es que podremos crear estos nuevos tejidos y órganos a partir de versiones de nuestras células que también han rejuvenecido.

Las tecnologías exponenciales van a contribuir al desarrollo acelerado de la nanotecnología y la IA durante la próxima década, cuyas primeras aplicaciones comerciales veremos en la década de 2030, lo que nos conduce hacia el Tercer

Puente:

De la misma forma que hacemos «ingeniería inversa» para entender los principios de funcionamiento de nuestra biología, aplicaremos nuevas tecnologías para aumentar y rediseñar los cuerpos y las mentes para extender radicalmente la longevidad, mejorar nuestra salud, y expandir nuestra inteligencia y experiencias. Gran parte de estos desarrollos tecnológicos serán el resultado de investigaciones en nanotecnología, un término originalmente acuñado por K. Eric Drexler en los años setenta, para describir el estudio de objetos cuyas dimensiones fueran menores a 100 nanómetros, es decir, la mil millonésima parte de un metro. Un nanómetro es aproximadamente igual al diámetro de cinco átomos de carbono.

Rob Freitas, un teórico de la nanotecnología, escribe que «el conocimiento integral de la estructura molecular humana, que fue tan minuciosamente adquirido durante el siglo XX y principios del XXI, se utilizará en el siglo XXI para diseñar máquinas microscópicas que sean médicamente activas. Estas pequeñísimas máquinas, en lugar de tener como objetivo principal el de viajar por todo el cuerpo solo en misiones de descubrimiento, serán enviadas para tareas de inspección, reparación y reconstrucción celular en la mayoría de los casos».

Freitas señala que si «la idea de colocar millones de nanobots autónomos (robots del tamaño de células sanguíneas construidas molécula a molécula) dentro del cuerpo puede parecer extraña, incluso alarmante, la realidad es que el cuerpo ya está repleto de una gran cantidad de nanodispositivos móviles». La propia biología proporciona la prueba de que la nanotecnología es factible. Como dijo Rita Colwell, directora de la National Science Foundation, «la vida es la nanotecnología que funciona». Los macrófagos (glóbulos blancos) y los ribosomas («máquinas» moleculares que crean cadenas de aminoácidos según la información en hebras de ARN) son esencialmente nanobots diseñados a través de la selección natural. A medida que diseñamos nuestros propios nanobots para reparar y ampliar la biología, no nos veremos limitados por la caja de herramientas de la biología. La biología actual usa un conjunto limitado de proteínas para todas sus creaciones, y en cambio ahora podremos crear estructuras que son dramáticamente más fuertes, más rápidas y más intrincadas.

En cuanto al presente, *Viaje fantástico* ofrece una serie de recomendaciones para mejorar nuestra salud y llegar vivos al Segundo Puente. En la continuación de ese libro, *Transcender*, Kurzweil y Grossman plantean un programa más completo en nueve pasos de acuerdo a cada letra de la palabra TRANSCEND^[134]:

T: Talk with your doctor (habla con tu médico).

R: Relaxation (relajación).

A: Assessment (evaluación, diagnóstico).

N: Nutrition (nutrición).

S: Supplements (suplementos).

C: Calorie Restriction (restricción calórica).

E: Exercise (ejercicio).

N: New Technologies (nuevas tecnologías).

D: Detoxification (desintoxicación).

El libro de Mellon y Chalabi mencionado en el capítulo anterior (*Juvenescence: Investing in the Age of Longevity*), también incluye una serie de recomendaciones que combinan el Primer Puente con el Segundo Puente para tener en cuenta mientras seguimos desarrollando las tecnologías del Tercer Puente hacia la longevidad indefinida, o la nueva ciencia de la «juvenescencia», como la llaman sus autores. Las

recomendaciones de *Juvenescence* deben permitirnos llegar a la velocidad de escape de la longevidad en una década o algo más, cuando surgirá la industria más grande la humanidad, que será beneficiosa no solo para nuestra salud, sino también para la economía global y para nuestras finanzas personales^[135].

Velocidad de escape de la longevidad

El subtítulo del libro *Viaje fantástico* de Kurzweil y Grossman es *Vivir lo suficiente para vivir para siempre*. En esta frase está implícita la idea de que si conseguimos vivir lo suficiente en los próximos años, aunque sea sobrevivir, hasta conseguir pasar los tres puentes y llegar al rejuvenecimiento, entonces viviremos indefinidamente (siempre que lo queramos y que no perezcamos debido a un accidente, una catástrofe, un tren al final del túnel, o que un piano se nos caiga en la cabeza, entre tantas posibles causas de muerte).

La idea original es hoy conocida como la velocidad de escape de la longevidad, que fue originalmente planteada por el empresario y filántropo estadounidense David Gobel, cofundador de la Fundación Matusalén junto con Aubrey de Grey. El concepto se basa en la velocidad de escape de la gravedad para lograr que un objeto, como un proyectil o un cohete, abandone la Tierra venciendo la fuerza de la gravedad. Se ha calculado que es necesaria una velocidad de 11,2 km/s (kilómetros por segundo), lo que equivale a 40 320 km/h (kilómetros por hora). Tal velocidad en física se conoce como la velocidad de escape de la gravedad terrestre^[136].

La velocidad de escape de la longevidad implica una situación hipotética en la que la esperanza de vida se extiende más allá del tiempo que transcurre. Por ejemplo, cuando alcancemos la velocidad de escape de la longevidad, los avances tecnológicos aumentarán anualmente la esperanza de vida en más de un año.

La esperanza de vida aumenta ligeramente cada año a medida que las estrategias y tecnologías de tratamiento mejoran. Pero actualmente se requiere más de un año de investigación por cada año adicional de vida útil prevista. La velocidad de escape de la longevidad se alcanza cuando esta relación se invierte, de manera que la esperanza de vida aumenta más de un año por cada año de investigación, siempre y cuando esa tasa de avance sea sostenible.

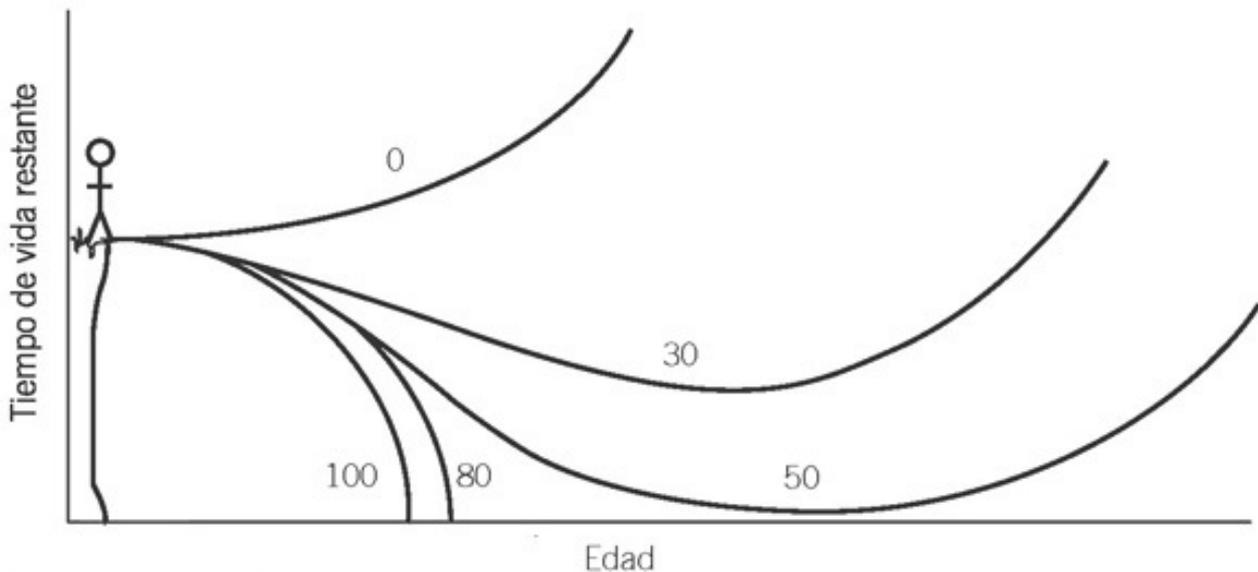
¿Cuándo ocurrirá? Si repasamos la historia podemos constatar que durante milenios la esperanza de vida apenas aumentó. Fue a partir del siglo XIX cuando comenzaron los grandes avances en el aumento de la esperanza de vida. Primero se ganaron días, luego semanas, y ahora meses. Hoy en día se estima que, por cada año vivido, en los países más avanzados podemos aumentar nuestra esperanza de vida 3 meses^[137]:

Los datos muestran que la esperanza de vida en el país líder del mundo ha aumentado en tres meses cada año.

Es decir, por cada año vivido, agregamos 3 meses más a nuestra esperanza de vida, tendencia que sigue aumentando. Según Kurzweil, en 2029 llegaremos a la velocidad de escape de la longevidad, o sea, por cada año vivido, ganaremos un año más de vida, lo que significa que a partir de ese momento podríamos conseguir vivir indefinidamente^[138]. Como dicen Kurzweil y Grossman: «Vivir lo suficiente para vivir para siempre».

De Grey lo expresa con una sencilla figura, donde podemos calcular cuál sería nuestra esperanza de vida dependiendo de nuestra edad actual. Lamentablemente, para las personas que ahora tienen 100 años las perspectivas no son muy halagüeñas. Para las personas con 80 años, las perspectivas tampoco son buenas, desafortunadamente. Pero sí es muy probable que las personas con 50 años o menos sí alcancen la velocidad de escape de la longevidad, como se puede ver en la Figura 4-7.

FIGURA 4-7
La velocidad de escape de la longevidad



Fuente: Aubrey de Grey

Hay diferentes opiniones sobre cuándo alcanzaremos la velocidad de escape de la longevidad, desde muy pronto hasta nunca, pero 2029 parece razonable gracias a los avances exponenciales que estamos viendo. Sin embargo, para prevenir, lo mejor es pasar vivos del Segundo Puente al Tercer Puente y aumentar nuestra esperanza de vida saludable^[139].

De Grey también ha popularizado el concepto de la «Matusaleridad» (una idea original del emprendedor estadounidense Paul Hynek, en inglés: *Methuselerity*), es decir, una especie de singularidad de Matusalén, que él compara con la singularidad

tecnológica^[140]:

El envejecimiento, al ser resultado de innumerables tipos de descomposición molecular y celular, será derrotado incrementalmente. Desde hace algún tiempo he predicho que esta sucesión de avances tendrá un umbral, que aquí bautizo como la «Matusaleridad», después del cual habrá una disminución progresiva en la tasa de mejora en nuestra tecnología antienvjecimiento, necesaria para prevenir un aumento en nuestro riesgo de muerte por causas relacionadas con la edad a medida que envejecemos cronológicamente. Varios comentaristas han observado la similitud de esta predicción con la realizada por Good, Vinge, Kurzweil y otros referentes con relación a la tecnología en general (y, en particular, la informática), a la que han denominado «singularidad».

La «Matusaleridad» es un momento futuro en el que todas las condiciones médicas que causan la muerte humana serán eliminadas y la muerte ocurrirá solo por accidente u homicidio. En otras palabras, la «Matusaleridad» es el punto en el que alcanzaremos un período de vida indefinida, o sin envejecimiento, cuando alcancemos la velocidad de escape de la longevidad^[141].

De lineal a exponencial

El científico y empresario Gordon Moore, cofundador de la compañía Intel, escribió en el año 1965 un artículo donde explicaba que los ordenadores duplicaban su poder aproximadamente cada 2 años, lo cual tendría consecuencias transcendentales para la informática y otras tecnologías relacionadas^[142]:

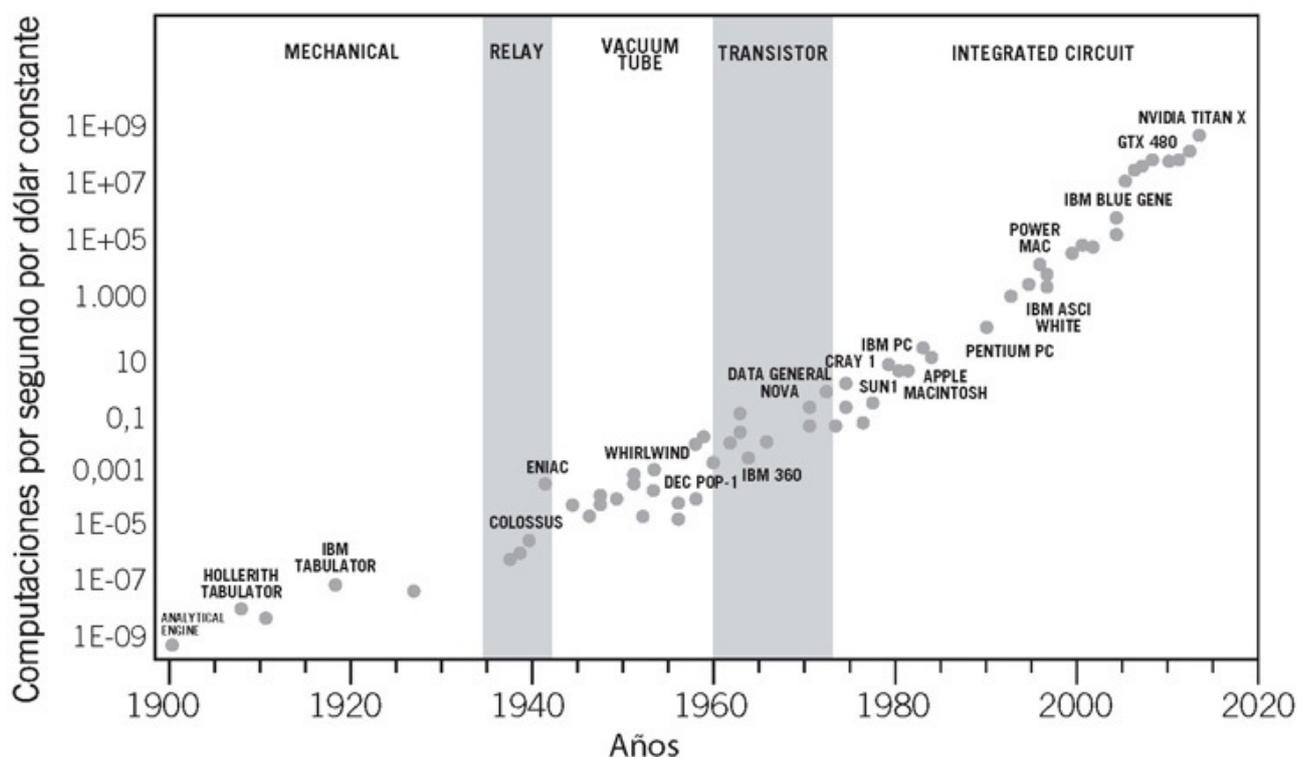
La complejidad de los circuitos integrados se duplicaría cada año con una reducción de coste commensurable... No hay duda de que, a corto plazo, se puede esperar que esta tasa se mantenga o incluso aumente.

Esa simple relación se conoce como Ley de Moore y expresa que aproximadamente cada dos años se duplica el número de transistores en un microprocesador. No es solo una teoría sino es una ley totalmente empírica. Actualmente se aplica a ordenadores personales y teléfonos móviles o celulares. Sin embargo, cuando se formuló, no existían todavía los microprocesadores (inventados en 1971), ni los ordenadores personales (popularizados en la década de 1980), ni la telefonía celular o móvil (que apenas estaba en fase de experimentación).

En su libro *La Singularidad está cerca: cuando los humanos trascendamos la biología*, originalmente publicado en el año 2005, Kurzweil explica que la llamada Ley de Moore es solo parte de una tendencia histórica mucho más larga, y con muchas más expectativas a futuro^[143]. La Figura 4-8 muestra lo que Kurzweil llama la Ley de Retornos Acelerados, donde se puede ver que la Ley de Moore es solo una parte, correspondiente al quinto paradigma, que impera en este momento. Kurzweil planteó la Ley de los Retornos Acelerados en el año 2001 y explicó entonces^[144]:

FIGURA 4-8

La Ley de los Retornos Acelerados



Fuente: Ray Kurzweil

No experimentaremos solo 100 años de progreso en el siglo XXI, serán más o menos el equivalente a 20 000 años de progreso (a la velocidad actual de cambios).

El filósofo griego Heráclito ya había dicho en el siglo v a. C. que «lo único constante es el cambio». Pero hoy podemos ver que dicho cambio se está acelerando, aunque muchos no lo vean. Como explica Kurzweil en su mencionado libro^[145]:

Por lo general, el futuro es mal entendido. Nuestros antepasados esperaban que el futuro fuera más o menos como su presente, ya que este se parecía mucho a su pasado.

El futuro será mucho más sorprendente de lo que la mayoría de la gente piensa, porque pocos observadores han interiorizado realmente las implicaciones del hecho de que la tasa de cambio se esté acelerando.

Haciendo énfasis en el cambio exponencial, Kurzweil explica que hay una retroalimentación positiva en la tecnología que acelera la velocidad de los cambios^[146]:

La tecnología va más allá de la mera invención y utilización de herramientas; implica un registro de su producción y un progreso en su complejidad. Esto requiere invención y es en sí mismo una continuación de la evolución por otros medios.

En la evolución tecnológica funciona la retroalimentación positiva... Los métodos más eficaces de una etapa del progreso evolutivo se utilizan para crear la siguiente etapa.

Las primeras computadoras fueron diseñadas en papel y ensambladas a mano. Hoy se diseñan en lugares de trabajo informatizados donde los propios ordenadores contribuyen a detallar el diseño de la siguiente generación, y después se producen en fábricas completamente automatizadas con una intervención humana limitada.

Al paso que avanza la tecnología, Kurzweil espera que en 2029 una inteligencia artificial pase el llamado Test de Alan Turing (es decir, será imposible distinguir si uno se comunica con una persona o con una inteligencia artificial) y que en 2045 alcancemos la «singularidad tecnológica» (como preferimos definir con sencillez: el momento en el que la inteligencia artificial igualará a toda la inteligencia humana). El Test de Alan Turing y la singularidad tecnológica no son los temas de este libro pero, para los lectores interesados, el libro de Kurzweil titulado *Cómo crear una mente* (con prólogo de José Luis Cordeiro en la edición española de Lola Books) explica los desarrollos exponenciales también en inteligencia artificial^[147].

Los cambios exponenciales parecen muy lentos al comienzo pero se aceleran rápidamente, como indica una frase del empresario y filántropo estadounidense Bill Gates en este artículo sobre predicciones para 2018 en el Foro Económico Mundial de Davos en Suiza^[148]:

La mayoría sobrestima lo que puede hacer en un año y subestima lo que puede hacer en diez años.

Asimismo, la mayoría de las predicciones anuales sobreestiman lo que puede ocurrir en un año y subestiman el poder de la tendencia en el tiempo. Diamandis y Kotler explican en *Bold: How to Go Big, Create Wealth and Impact the World*, publicado en 2016, que los procesos de cambio tecnológico pasan por seis D:^[149]

Las seis D son una reacción en cadena de progresión tecnológica, una hoja de ruta de rápido desarrollo que siempre conduce a enormes trastornos y oportunidades.

La tecnología está alterando los procesos industriales tradicionales, y nunca volverán atrás.

Las seis D son: digitalización, decepción, disrupción, desmonetización, desmaterialización y democratización.

De acuerdo a Diamandis y Kotler, todas las tecnologías susceptibles de ser digitalizadas sufrirán transformaciones exponenciales que cambiarán radicalmente sus respectivas industrias, incluidas la medicina y la biología, ahora en pleno proceso de digitalización. Las seis D de los cambios exponenciales comienzan lentamente con la digitalización y la decepción y culminan de forma acelerada con la desmaterialización y la democratización de una tecnología al alcance de todos. Un ejemplo clásico son los ordenadores, muy caros y malos al comienzo, y actualmente muy buenos y baratos. Lo mismo ha ocurrido con los teléfonos móviles, que se han democratizado globalmente, de forma que hoy todo el mundo, en todo el mundo, tiene un teléfono móvil si lo desea.

Un ejemplo aplicado a la biología y la medicina es la secuencia del genoma humano, que comenzó en 1990 con miles de científicos trabajando en 15 países repartidos por todo el mundo. En 1997 solo se había secuenciado el 1% del genoma humano, como explica Kurzweil^[150]:

Cuando comenzó la secuencia del genoma humano en 1990, los críticos señalaron que, dada la velocidad con la que el genoma podría ser secuenciado, terminar el proyecto llevaría miles de años. Sin embargo, el proyecto, que se calculaba terminaría en quince años, se completó un poco antes de lo previsto con la publicación de un primer borrador en 2003.

La razón es muy sencilla. En 1997 solo se había secuenciado el 1% del total, pero los resultados se duplicaban cada año, lo que implicaba que en 7 años más, es decir, con 7 duplicaciones más, se alcanzaría la secuencia del 100% del genoma, como efectivamente ocurrió. La secuencia del genoma humano es un impresionante ejemplo de tecnología exponencial, tanto en tiempo como en coste. La Figura 4-9 muestra que si la primera secuencia del genoma humano costó cerca de 3 mil millones de dólares y llevó 13 años, el segundo genoma humano fue completamente secuenciado cuatro años después, en 2007, a un coste estimado de 100 millones de dólares.

FIGURA 4-9

Tiempo y coste para secuenciar el genoma humano

Año	Coste (US\$)	Tiempo
2003	3 000 000 000	13 años
2007	100 000 000	4 años
2008	1 000 000	2 meses
2010	10 000	4 semanas
2015	1000	5 días
2020	100	1 hora
2025	10	1 minuto

Fuente: Autores con datos de la prensa y estimaciones propias

En 2015 se alcanzó por primera vez un coste a gran escala de cerca de mil dólares y una semana por genoma, y estimamos que en menos de una década se podrá secuenciar el genoma completo por tan solo 10 dólares en un minuto. Según la terminología de Diamandis y Kotler, esto permitirá pasar de la primera de las seis D, digitalización, a la última D, democratización. Para mediados de la década de 2020, todo el mundo, en todo el mundo, podrá secuenciar su genoma completo y conocer su predisposición a padecer ciertas enfermedades genéticas y cómo prevenirlas. Además, se podrán secuenciar los genomas de cánceres para identificar las mutaciones causantes y atacarlas directamente. Dejaremos atrás procedimientos como la quimioterapia y la radioterapia para ubicar y eliminar directamente los tumores cancerosos con medicina de alta precisión. La quimioterapia y la radioterapia, que actualmente son, supuestamente, medicina moderna, pronto pasarán a ser medicina primitiva.

La inteligencia artificial llega a la ayuda

La inteligencia artificial será una de las principales tecnologías que contribuirán a entender la biología y a mejorar la medicina, de una manera también exponencial. Sistemas de inteligencia artificial ya ganan a humanos en juegos de ajedrez (desde 1997), en concursos de televisión como *Jeopardy* (desde 2011), en juegos chinos, coreanos y japoneses de go (desde 2016), en juegos de póker (desde 2017), y en pruebas de comprensión lectora (desde 2018^[151]).

IBM ha sido uno de los pioneros históricos en el desarrollo de estas formas de inteligencia artificial, primero a través de su programa Azul Profundo (*Deep Blue*), que venció en 1997 al campeón mundial de ajedrez Garry Kasparov, y más tarde con Watson, que ganó en 2011 a los campeones de *Jeopardy* ante las cámaras de televisión. Ahora IBM utiliza Watson en aplicaciones médicas, a veces con el nombre Doctor Watson, y está alcanzado niveles humanos en la detección de cánceres y en los análisis radiológicos, por ejemplo. Según IBM, su objetivo es^[152]:

Capacitar a los líderes, defensores y personas influyentes en el campo de la salud a través de un apoyo que contribuya a lograr resultados notables, acelerar el descubrimiento, propiciar conexiones esenciales y ganar confianza en su camino para resolver los mayores desafíos sanitarios del mundo.

Google antes y Alphabet ahora están convencidas del poder de la inteligencia artificial para mejorar la condición humana, incluyendo la salud como área prioritaria. Inteligencias artificiales desarrolladas por la filial DeepMind, como AlphaGo y AlphaZero para jugar a go, dentro de poco tendrán aplicación clínica. El poder de la inteligencia artificial es realmente sorprendente, como explicó en una conferencia en 2018 el actual consejero delegado de Google, Sundar Pichai^[153]:

La inteligencia artificial es una de las cosas más importantes en las que la humanidad está trabajando. Es más profundo que, no sé, la electricidad o el fuego.

En su presentación, Pichai no hizo referencia directa a otras dos empresas bajo el paraguas Alphabet de las empresas de Google: Calico (California Life Company) y Verily (la antigua Google X Life Sciences). Ambas compañías están trabajando en el ámbito de la salud y se espera que consigan aplicar la tecnología de aprendizaje profundo (en inglés: «*deep learning*») de Google y de otras fuentes para acelerar sus objetivos empresariales. El genetista estadounidense y presidente de Verily, Andrew Conrad, describió la diferencia entre Calico y Verily en una entrevista realizada por el periodista científico Steven Levy en 2014, cuando Verily era todavía Google X Life Sciences^[154]:

Conrad: La misión de Google X Life Sciences (Verily) es cambiar el enfoque de la atención sanitaria de reactivo a proactivo. En última instancia, se trata de prevenir enfermedades y extender la esperanza de vida a través de la prevención de enfermedades, hacer que la gente viva más tiempo y tenga vidas más saludables.

- Levy: Parece que ese objetivo coincide con el de otra empresa dedicada a temas de salud de Google, Calico. ¿Trabaja con ellos?
- Conrad: Déjeme contarle cuál es la sutil diferencia. La misión de Calico es mejorar la vida útil máxima y conseguir que la gente viva más tiempo gracias al desarrollo de nuevas formas de prevención del envejecimiento. Nuestro objetivo es conseguir que la mayoría de la gente viva más tiempo eliminando las enfermedades que te matan.
- Levy: Básicamente, me está ayudando a vivir lo suficiente como para que las terapias de Calico me alcancen.
- Conrad: Exactamente. Le estamos ayudando a vivir lo suficiente para que Calico pueda hacerle vivir más tiempo aún.

De acuerdo con la terminología de Kurzweil y Grossman, podríamos simplificar diciendo que Verily está en el Segundo Puente y Calico en el Tercer Puente hacia la vida indefinida. Además de IBM y Google, otras empresas tecnológicas como Amazon, Apple, Facebook, GE, Intel y Microsoft, por ejemplo, también están desarrollando inteligencia artificial que pronto tendrán aplicaciones clínicas. Lo mismo hacen otras empresas tecnológicas en Japón y China, donde ya sufren problemas asociados al envejecimiento de la población. En Japón, grandes empresas como Sony y Toyota trabajan con robots como asistentes sanitarios y enfermeros, y en China, empresas como Baidu (conocida como el Google de China) y BGI (conocida como *Beijing Genomics Institute* hasta 2008, y con sede en la ciudad tecnológica de Shenzhen, cerca de Hong Kong) están desarrollando inteligencia artificial enfocada en la detección de enfermedades y secuenciación genómica^[155].

El Gobierno de China ha tomado la decisión estratégica de convertirse en una potencia tecnológica, desde la inteligencia artificial hasta la medicina y la biotecnología. Teniendo en cuenta sus éxitos recientes, es de suponer que lo lograrán, y pronto, ya que la crisis nacional que representa el envejecimiento y la contracción demográfica les obliga a ello. China afronta el problema adicional que supone que su población esté comenzando a envejecer sin haberse enriquecido antes en términos económicos relativos. Si los países avanzados se volvieron ricos primero y luego envejecieron, en China está pasando lo contrario: la población comenzó a envejecer antes de enriquecerse. Por si fuera poco, las proyecciones demográficas indican que China sufrirá una enorme contracción de la población a causa de la política de «un solo hijo». Lo mismo ocurre en Japón, donde la población disminuirá abruptamente en las próximas décadas, aunque en Japón nunca hubiera una política de restricción de la natalidad. Por eso es importante para el resto del mundo aprender de la experiencia de Japón y China en relación a sus respectivas crisis demográficas. Afortunadamente, el futuro de la población no está escrito en piedra y las tendencias actuales se pueden revertir gracias a las tecnologías anti-envejecimiento y rejuvenecimiento que se desarrollarán en los próximos años, muchas de ellas precisamente en China y Japón.

La inteligencia artificial sigue avanzando rápidamente, tanto en países occidentales como orientales, y uno de los primeros usos previstos es para salud, medicina y biología. Según un informe reciente de la empresa de estudios de mercado

CB Insights, el área de mayor crecimiento para la aplicación de la inteligencia artificial es la salud, a la que se dirige el mayor flujo de inversiones y capital riesgo. La utilización de grandes cantidades de datos o «macrodatos» (*big data*) gracias a la proliferación de nuevos sensores personales, muchos de ellos médicos, permitirá analizar cada vez más información, hacer mejores comparaciones y aumentar la calidad de los diagnósticos médicos. Grandes empresas y pequeñas startups están entrando en el mundo de la medicina gracias a la inteligencia artificial, incluidas técnicas de aprendizaje profundo. La Figura 4-10 muestra el naciente ecosistema de nuevos emprendimientos médicos relacionados con la inteligencia artificial.

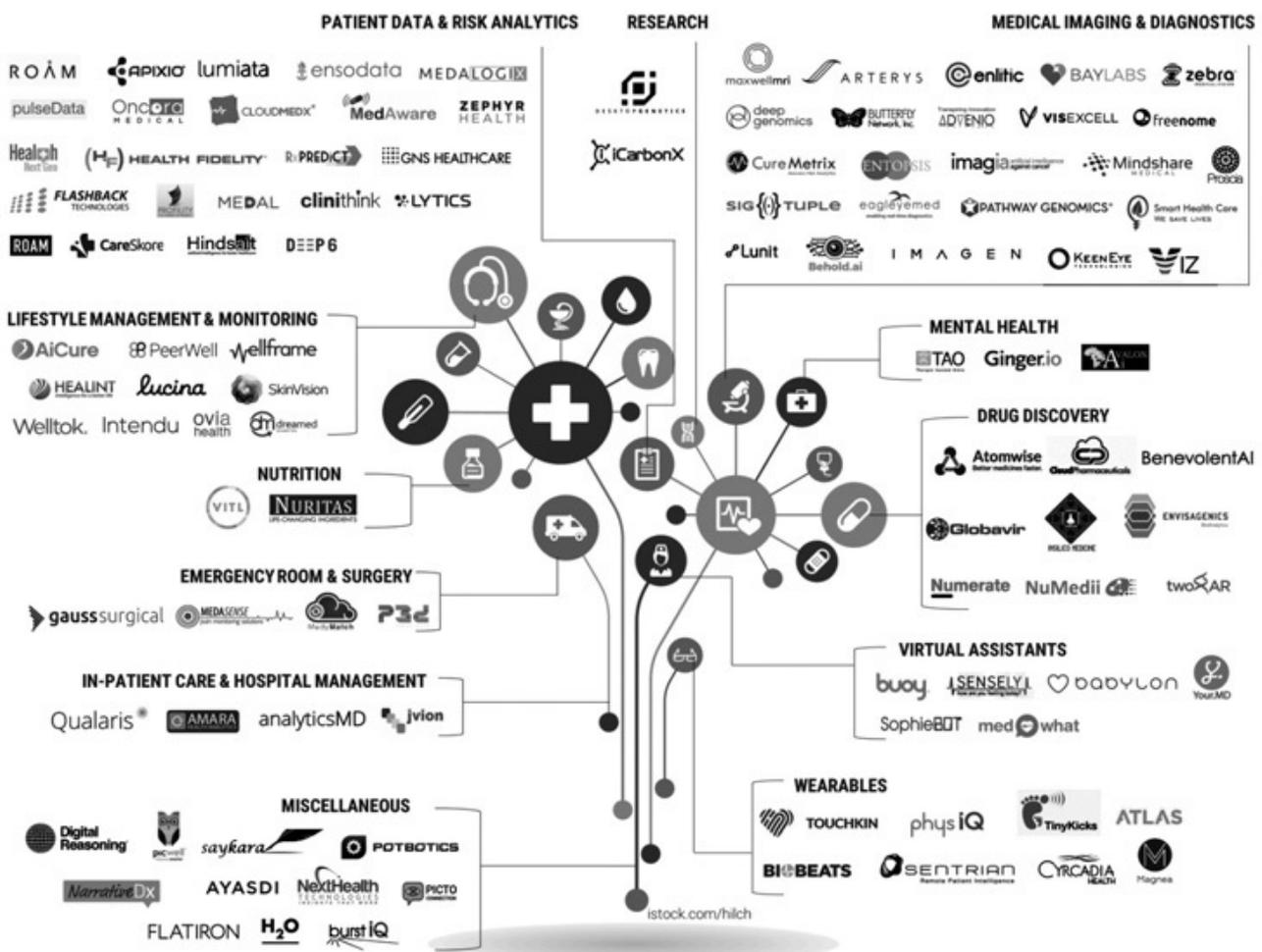
De acuerdo con el informe de CB Insights, veremos un crecimiento acelerado del sector y una mejora importante en la salud de la gente gracias a las startups que trabajan con unas tecnologías exponenciales que están generando una gran disrupción en el sector médico tradicional^[156]:

Identificamos más de 100 empresas que están aplicando algoritmos de aprendizaje automático y análisis predictivo para reducir los tiempos de lanzamiento de fármacos, brindar asistencia virtual a los pacientes y diagnosticar dolencias mediante el procesamiento de imágenes médicas, entre otras cosas.

Para 2025, los sistemas de IA podrían estar involucrados en todo, desde la gestión sanitaria de la población hasta avatares digitales capaces de responder a consultas específicas de los pacientes.

FIGURA 4-10

El naciente ecosistema de la inteligencia artificial para la salud



Fuente: CB Insights

El ingeniero y empresario indioestadounidense Vinod Khosla, cofundador de Sun Microsystems e inversor en capital riesgo en nuevas tecnologías, explicó en una conferencia en la Escuela de Medicina de la Universidad de Stanford los cambios exponenciales que se avecinan^[157]:

El ritmo de innovación en *software* de todas las industrias ha sido mucho más rápido que cualquier otro aspecto de las mismas. Dentro de la innovación sanitaria tradicional (que se cruza con las ciencias biológicas), como en la industria farmacéutica, hay muchas razones que explican por qué esos ciclos de innovación eran tan lentos.

Se tarda de 10 a 15 años en desarrollar un medicamento y colocarlo en el mercado, con una tasa de fracaso increíblemente alta. La seguridad es un gran problema, así que no culpo a todo el proceso. Creo que está justificado que la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) sea cautelosa. Pero debido a que la salud digital suele tener menos problemas de seguridad, y las iteraciones pueden ocurrir en ciclos de 2 a 3 años, la tasa de innovación aumenta sustancialmente.

En los próximos diez años, la ciencia de los datos y el *software* harán más por la medicina que todas las ciencias biológicas juntas.

Varios gobiernos han anunciado que comenzarán a utilizar las nuevas posibilidades para mejorar la salud gracias a la inteligencia artificial, nuevos sensores, *big data* y otras nuevas tecnologías. Es el caso del Gobierno británico, que ha anunciado que secuenciará gratis el genoma a 500 000 ciudadanos a través del UK Biobank en 2020 gracias al apoyo de diferentes empresas^[158]. El Gobierno estadounidense ha anunciado una medida similar a través de los Institutos Nacionales de Salud para secuenciar 1 000 000 de genomas y comenzar con su iniciativa de medicina de precisión en 2022^[159]. El Gobierno de Islandia fue el primero que tomó este tipo de iniciativas a través de la empresa deCODE en 1996, y más tarde otros países como Estonia y Qatar han implementado planes similares. Ha llegado el momento de pasar de la medicina curativa a la medicina preventiva, y la inteligencia artificial es una herramienta fundamental para lograrlo.

Según otro informe publicado a inicios de 2018 por la empresa de inversiones tecnológicas Deep Knowledge Ventures, la inteligencia artificial provocará avances impresionantes en salud^[160]:

La asistencia sanitaria será el campo de aplicación más importante de la cuarta Revolución Industrial y uno de los principales catalizadores del cambio será la inteligencia artificial.

La IA aplicada a la salud representa un conjunto de múltiples tecnologías que permiten a las máquinas detectar, comprender, actuar y aprender para que puedan realizar funciones administrativas y clínicas de salud. A diferencia de las tecnologías heredadas, algoritmos/herramientas que complementan a una inteligencia humana, hoy en día la IA es realmente capaz de mejorar la actividad humana.

La IA ya ha revolucionado áreas de la salud que van desde el diseño de planes de tratamiento hasta la asistencia en trabajos repetitivos, pasando por la gestión de terapias o la creación de medicamentos. Y esto es solo el principio.

La inteligencia artificial va a ser clave en la mejora de nuestra salud, en la innovación en tratamientos médicos, el descubrimiento de nuevos productos farmacéuticos y la optimización de los sistemas sanitarios. Debemos estar atentos y abiertos para entender y aprovechar todos los beneficios que conlleva la inteligencia

artificial. Aunque algunos le temen a la inteligencia artificial, no debemos considerarla un peligro sino más bien una gran oportunidad. La inteligencia artificial complementará y aumentará la inteligencia humana, no la sustituirá. El problema de fondo no es la inteligencia artificial, el problema real es la estupidez humana, y desafortunadamente los humanos son bastante estúpidos de nacimiento, de manera natural. Creemos que con la ayuda de la inteligencia artificial profundizaremos y mejoraremos la inteligencia humana y superaremos el desafío histórico del envejecimiento.

De extensión de la vida a expansión de la vida

En la mitología griega, Titono (a veces llamado Titón) era un mortal hijo de Laomedonte, rey de Troya, y hermano de Príamo. Titono era tan deslumbrantemente bello que la diosa Eos se enamoró de él. Eos era la diosa de la aurora y le pidió a Zeus que concediera la inmortalidad a su amado Titono, cosa que el padre de los dioses concedió. Sin embargo, a la diosa Eos se le olvidó pedir también la juventud eterna, de modo que Titono fue haciéndose cada vez más viejo, encogido y arrugado. En algunas versiones, Titono termina convertido en cigarra o en grillo, inmortalmente encogido y arrugado^[161].

En este libro defendemos la extensión de la vida para que podamos ser indefinidamente jóvenes, no indefinidamente viejos. La idea no es (sobre) vivir encogido y arrugado como Titono, sino vivir una vida de plenitud máxima. Dejando esto bien claro, hay que avanzar de la extensión de la vida hacia la expansión de la vida.

En la introducción de este libro mencionamos al historiador israelí Yuval Noah Harari. En su segundo libro, *Homo Deus: Breve historia del mañana*, Harari habla de la inmortalidad como primer gran proyecto mundial del siglo XXI, y luego explica que^[162]:

Probablemente, el segundo gran proyecto de la agenda humana será encontrar la clave de la felicidad. A lo largo de la historia, numerosos pensadores, profetas y personas de a pie definieron la felicidad, más que la vida, como el bien supremo. En la antigua Grecia, el filósofo Epicuro afirmó que adorar a los dioses es una pérdida de tiempo, que no hay existencia después de la muerte y que la felicidad es el único propósito de la vida. En los tiempos antiguos, mucha gente rechazó el epicureísmo, pero hoy en día se ha convertido en la opinión generalizada. El escepticismo acerca de la vida después de la muerte impulsa a la humanidad a buscar no solo la inmortalidad, sino también la felicidad terrenal. Porque ¿quién querría vivir eternamente en la desgracia?

Para Epicuro, la búsqueda de la felicidad era un objetivo personal. Los pensadores modernos, en cambio, tienden a verla como un proyecto colectivo. Sin planificación gubernamental, recursos económicos e investigación científica, los individuos no llegarán muy lejos en su búsqueda de la felicidad. Si nuestro país está desgarrado por la guerra, si la economía atraviesa una crisis y si la atención sanitaria es inexistente, es

probable que nos sintamos desgraciados. A finales del siglo XVIII, el filósofo inglés Jeremy Bentham declaró que el bien supremo es «la mayor felicidad para el mayor número», y llegó a la conclusión de que el único objetivo digno del Estado, el mercado y la comunidad científica es aumentar la felicidad global.

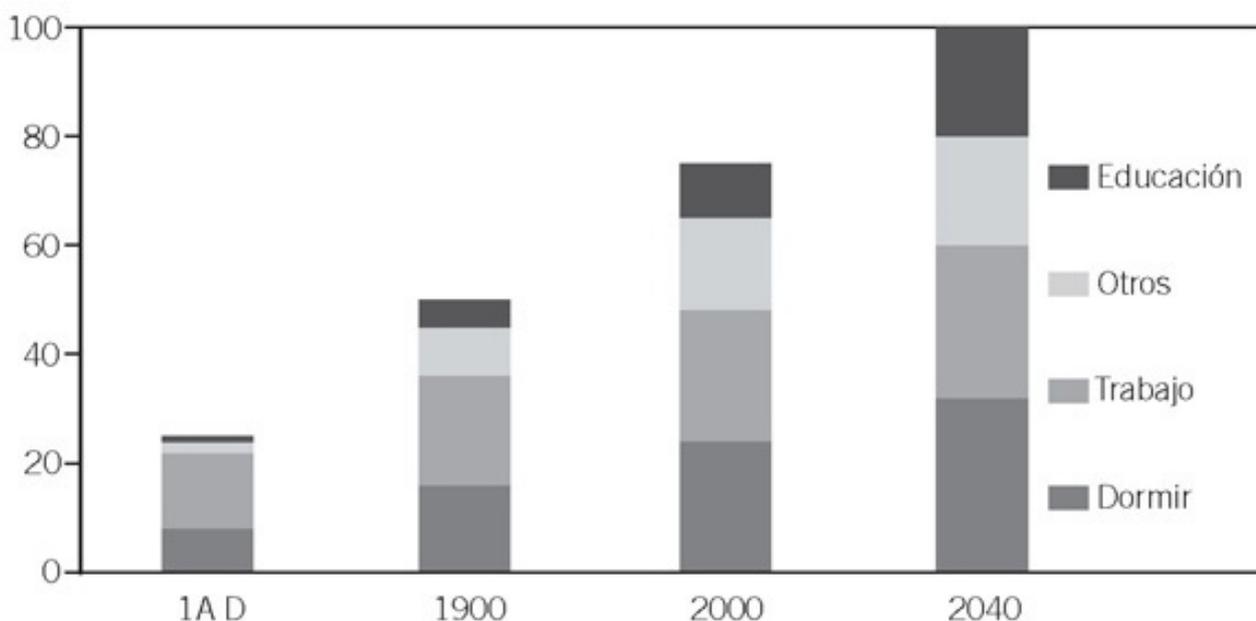
Nuestro objetivo debe ser aumentar tanto la cantidad de vida como la calidad de vida. Es algo que ha estado ocurriendo a lo largo de la historia. Hace miles de años la esperanza de vida se situaba entre los 20 y 25 años. Del total de ese tiempo, pasábamos la tercera parte durmiendo (asumiendo 8 horas de sueño en un día de 24 horas), y el resto trabajando principalmente para (sobre) vivir. En la prehistoria no existía educación formal (se aprendía trabajando con los más adultos, que tampoco eran tan mayores, y el aprendizaje se centraba en el trabajo de subsistencia) y tampoco quedaba mucho tiempo libre. Esta situación permaneció más o menos inalterada durante milenios. Incluso en la Roma clásica, la esperanza de vida seguía en el orden de los 25 años, como indica la Figura 4-11.

Se tardó varios siglos en que la esperanza de vida aumentara de un cuarto de siglo (25 años) en el pasado a cerca de medio siglo (50 años) a inicios del siglo XX. A inicios del siglo XXI hemos alcanzado una esperanza de vida promedio de cerca de tres cuartos de siglo (75 años) y, al paso que vamos, en pocos años alcanzaremos un siglo entero de esperanza de vida, que luego irá aumentando indefinidamente hasta alcanzar la velocidad de escape de la longevidad.

A través de todas estas grandes transformaciones de los últimos siglos, no solo ha aumentado la esperanza de vida, sino que también ha aumentado el tiempo disponible para educación y otras actividades, mucho más allá del trabajo de mera subsistencia. También es importante notar que ha ido aumentando paulatinamente el tiempo libre a lo largo de la historia. Hace miles de años, cuando vivíamos en las sabanas de África, trabajábamos todo el día, todos los días, hasta que moríamos. Si no buscábamos comida, moríamos de inanición. Si no nos protegíamos de los animales, podíamos terminar como alimento de otras especies. No había sábados ni domingos.

FIGURA 4-11

Esperanza de vida (años) a través de la historia



Fuente: Autores

Tras la invención de la agricultura y la fundación de las primeras ciudades, los humanos pasamos de ser nómadas a sedentarios, y muchas religiones dedicaron un día sagrado a su dios. Así nació, como un día especial para dedicárselo a la deidad local (algunas culturas utilizaron el sábado u otros días), el domingo. Pasaron siglos hasta que en plena Revolución Industrial se creara un fin de semana de dos días no laborables (normalmente el sábado y domingo en la tradición europea). Ahora, en el siglo XXI, aparecen los primeros planteamientos para reducir la jornada laboral a solo cuatro días y/o reducir las horas trabajadas a 30 o 35 horas por semana. Hace miles de años, para nuestros ancestros en África esto hubiera sido completamente inimaginable.

Hemos avanzado mucho en la extensión de la vida a lo largo de la historia, y también en la expansión de la vida. En los últimos siglos, nuestra esperanza de vida ha aumentado mucho, al igual que el tiempo que podemos dedicar a otras actividades creativas. Hoy tenemos más tiempo para el arte, la música, la escultura y muchas otras manifestaciones artísticas que nuestros antepasados jamás disfrutaron. De acuerdo con las teorías del psicólogo estadounidense Abraham Maslow, hemos subido en la pirámide de las necesidades humanas. Estamos dejando atrás las necesidades puramente fisiológicas para concentrarnos cada vez más en las necesidades de autorrealización. Esta dinámica debe continuar en el futuro con más cantidad y también más calidad de vida^[163].

El filósofo francés Marie-Jean-Antoine Nicolas de Caritat, conocido como el marqués de Condorcet, fue un gran visionario que vivió sus últimos días durante el

tumultuoso periodo de la Revolución francesa. Su libro *Esbozo de un cuadro histórico de los progresos del espíritu humano* es una impresionante mirada al futuro en un mundo por venir lleno de posibilidades^[164]:

—¿Es absurdo suponer ahora que la mejoría de la raza humana debería ser considerada capaz de un progreso ilimitado?

—¿Que llegará un momento en que la muerte resultará solo de accidentes extraordinarios o del cada vez más gradual desgaste de la vitalidad, y que, finalmente, la duración promedio del intervalo entre el nacimiento y el desgaste no tendrá límite específico alguno?

Los humanos evolucionamos de otros ancestros prehumanos hace millones de años, que a su vez evolucionaron de otros ancestros previos más arcaicos, y así sucesivamente hasta llegar a humildes bacterias hace miles de millones de años. Entonces, ¿cuál es el futuro de la humanidad? Ahora que estamos pasando de una lenta evolución biológica a una rápida evolución tecnológica, ¿nos convertiremos en cuasidioses como sugiere Harari? El escritor inglés William Shakespeare lo expresa bien en su famosa obra *Hamlet*^[165]:

Sabemos lo que somos, pero no sabemos en qué podemos convertirnos.

Los seres humanos tenemos el potencial no solo de «ser» sino también de «llegar a ser». Los seres humanos podemos utilizar los medios racionales para mejorar la condición humana y el mundo exterior, y también podemos usarlos para mejorarnos a nosotros mismos, comenzando con nuestro propio cuerpo. Todas estas oportunidades tecnológicas deben ser puestas al servicio de la gente para vivir más tiempo y con mejor salud, para mejorar nuestras capacidades intelectuales, físicas y emocionales. Parafraseando el dicho popular: vamos a darle más años a la vida y también más vida a los años.

Como demuestra la historia, los humanos siempre hemos querido trascender nuestras limitaciones corporales y mentales. La forma en que estas tecnologías sean utilizadas cambiará profundamente el carácter de nuestra sociedad, e irrevocablemente alterará la visión de nosotros mismos y de nuestro lugar en el gran esquema de las cosas, en el universo, en la propia evolución de la vida. Estamos iniciando un largo camino hacia un futuro lleno de grandes oportunidades y riesgos. Hay que avanzar con inteligencia pero sin miedo, tal y como plantea el escritor de ciencia ficción estadounidense David Zindell en su novela *The Broken God*^[166]:

—¿Qué es un ser humano, entonces?

—¡Una semilla!

—¿Una semilla?

—Una bellota que no tiene miedo a destruirse a sí misma para convertirse en un árbol.

¿Cuánto cuesta?

El que no valora la vida no se la merece.

LEONARDO DA VINCI, 1518

¡Todas mis posesiones por un momento más de tiempo!

Reina ISABEL I de Inglaterra, 1603

Todas las tecnologías comienzan siendo caras y malas, pero cuando se perfeccionan y generalizan, se abaratan y mejoran rápidamente.

RAY KURZWEIL, 2005

Una cosa que preocupa a mucha gente de la posibilidad de aumentar la esperanza de vida es que esta mayor longevidad conlleve un aumento adicional de los gastos, sobre todo de los relacionados con las debilidades y enfermedades de la vejez. Se trata de una preocupación que ha de ser tomada muy en serio, especialmente ahora que las sociedades están envejeciendo.

De Japón a Estados Unidos: sociedades que envejecen con rapidez

Esta inquietud ha sido expresada de forma directa en varias ocasiones por el distinguido político japonés Taro Aso, nieto de un ex primer ministro japonés y él mismo primer ministro desde septiembre de 2008 hasta septiembre de 2009. Durante ese periodo, Aso fue el primer político de otro continente en visitar al presidente estadounidense Barack Obama en la Casa Blanca. También durante ese periodo, en declaraciones que resonaron en todo el planeta, Aso se quejó del coste de los impuestos para pagar la atención médica de los pensionistas, un grupo social que necesita atención médica frecuente^[167]:

Veo reuniones de grupos de gente de 67 o 68 años de edad que van por ahí tambaleándose y que acuden constantemente a los servicios sanitarios. ¿Por qué debo yo pagar para sostener a esa gente que se limita a comer y beber y no hace ningún esfuerzo?

Aso dijo, no sin razón, que estas personas, que tienen la misma edad que él, tendrían que cuidarse más, por ejemplo paseando a diario, y no depender tanto de las ayudas estatales. En diciembre de 2012, después de un periodo en el que su partido fuera sacado del Gobierno y de renunciar al liderazgo del partido, Aso ejerció dos

cargos: viceprimer ministro y ministro de Finanzas. Un mes más tarde retomaría el tema de los costes derivados de la población envejecida en unas declaraciones para el británico *The Guardian*^[168]:

Taro Aso, ministro de Finanzas, dijo el lunes que a los ancianos se les debería permitir «darse prisa en morir» para aliviar la presión sobre el Estado que paga sus cuidados médicos.

«No permita el cielo que te fuercen a seguir viviendo cuando te quieres morir. Yo me levantaría sintiéndome cada vez peor si supiera que el Estado paga [mis tratamientos] en su totalidad», dijo durante una reunión del Consejo Nacional para la Reforma de la Seguridad Social. «El problema no se resolverá a no ser que les dejemos darse prisa en morir...».

El aumento de los costes del Estado del Bienestar, sobre todo los relacionados con el cuidado de los ancianos, está detrás de la decisión del año pasado de doblar el impuesto al consumo (sobre ventas), que será del 10% durante los próximos tres años...

Para rematar el insulto, se refirió a los pacientes ancianos que ya no pueden alimentarse por sí mismos como «la gente del tubo».

El periodista también informó de los planes de Aso en el caso de que él mismo sufriera una enfermedad:

Este hombre de 72 años, que repite en el puesto de viceprimer ministro, dijo que se negaría a recibir cuidados paliativos. «Rechazo esa clase de cuidados», dijo en declaraciones recogidas por medios locales, y añadió que había escrito una nota dando instrucciones a su familia para que no se le suministrara ningún tratamiento médico que prolongara su vida.

En dos ocasiones, en 2009 y en 2012, la corrección política obligó a Aso a rectificar sus declaraciones públicas rápidamente. Con razón, sus asesores estaban preocupados por la posibilidad de perder el apoyo del gran colectivo conformado por el electorado japonés anciano, el de mayor crecimiento y peso político. Decir que los pensionados «iban por ahí tambaleándose» resultó demasiado descarnado, de modo que Aso se disculpó. Insistió en que no había querido herir los sentimientos de ningún enfermo. Por el contrario, intentaba atraer la atención sobre los galopantes costes médicos derivados de las enfermedades causadas por hábitos de vida poco saludables. Aunque hay que respetar el estilo de vida elegido por cada uno, no se puede permitir que los costes médicos derivados de dicha elección se eleven indefinidamente. Eso es justo decirlo.

Los comentarios que hizo Aso en Japón recordaban a los hechos unas décadas antes (1984) por el gobernador del estado de Colorado, Richard Lamm, durante una reunión pública en Denver. Las opiniones expresadas por Lamm fueron recogidas por *The New York Times*^[169]:

Los ancianos con enfermedades terminales tienen «el deber de morir y quitarse de en medio» en vez de intentar prolongar sus vidas de forma artificial, dijo el martes el gobernador de Colorado Richard D. Lamm.

La gente que muere sin que alarguen artificialmente su vida son como «hojas que caen de un árbol y forman el humus para que otras plantas puedan crecer», dijo el gobernador durante una reunión de la Health Lawyers Association en el Hospital St. Joseph, Colorado.

«Tienen la obligación de morirse y quitarse de en medio», dijo el gobernador, de 48 años.

En el fondo, la preocupación de Lamm era la misma que la de Aso:

Los costes de los tratamientos que permiten a algunos enfermos terminales vivir más tiempo están arruinando la salud económica del país.

Como sociedad, tomamos decisiones colectivas para imponer límites sobre las libertades personales. Por ejemplo, insistimos en que todo el mundo lleve puesto el cinturón de seguridad en el coche, en parte porque queremos reducir los costes médicos derivados de las lesiones de los accidentes de tráfico. Pero ¿qué pasa con los costes médicos derivados del aumento de la esperanza de vida? ¿Tenemos realmente el derecho a seguir viviendo más y más si los costes no hacen más que aumentar a cambio?

La esperanza de que la gente se muera rápido

El argumento de que lo mejor sería que los ancianos «se dieran prisa en morir» ha sido defendido no solo por varios políticos, sino también (aunque con palabras más sutiles) por el eminente escritor médico estadounidense Ezekiel Emanuel. En octubre de 2014, Emanuel escribió un artículo en *The Atlantic* que llevaba por subtítulo «Un argumento que defiende que la sociedad y las familias —y usted mismo— estarían en mejores circunstancias si la naturaleza siguiera su curso de forma rápida y oportuna». El título del artículo era todavía más sorprendente que el subtítulo. Emanuel, que nació en 1957, eligió la frase «Por qué espero morir a los 75». En otras palabras, Emanuel espera morir, sin molestar, alrededor del año 2032^[170]:

Setenta y cinco. Eso es lo que espero vivir: 75 años.

Este deseo saca de sus casillas a mis hijas. Saca de sus casillas a mis hermanos. Mis mejores amigos creen que estoy loco. Creen que no lo digo en serio, que no lo he pensado bien, ya que en el mundo hay muchas cosas por ver y por hacer. Para convencerme de mi error, enumeran una miríada de personas que conozco que han superado los 74 y están bastante bien. Están seguros de que, a medida que me acerque a los 75, prorrogaré mi deseo hasta los 80, luego hasta los 85, y quizá hasta los 90.

Estoy convencido. La muerte es una pérdida, sin duda. Nos priva de experiencias y de logros, así como de tiempo con nuestro cónyuge e hijos. En definitiva, nos priva de todas las cosas que apreciamos.

Pero he aquí una verdad simple que muchos de nosotros parece que no queremos aceptar: vivir demasiado también es una pérdida. A muchos de nosotros nos deja, si no discapacitados, sí renqueantes y deteriorados, un estado que puede que no sea peor que la muerte pero que también supone una privación. Nos roba nuestra creatividad y capacidad para contribuir en el trabajo, en la sociedad, en el mundo. Cambia la manera en la que la gente nos percibe, se relaciona con nosotros y, lo que es más importante, nos recuerda. Ya no somos recordados como personas enérgicas y ocupadas, sino como débiles, inútiles e incluso patéticas.

Las credenciales de Emanuel son impresionantes. Es director del Departamento de Bioética Clínica del Instituto Nacional de Salud de Estados Unidos, presidente del Departamento de Ética Médica y Políticas de Salud de la Universidad de Pennsylvania, vicerrector de la Universidad de Pennsylvania y autor del famoso libro

Reinventando el Sistema de Salud Americano: Cómo la ley de asequibilidad del seguro médico mejorará nuestro sistema, que es terriblemente complejo, flagrantemente injusto, escandalosamente caro, grotescamente ineficiente y tendente al error, un libro que supuso una defensa acérrima de las iniciativas en el campo de la salud del presidente Barack Obama^[171].

Es evidente que Emanuel posee grandes conocimientos. Por tanto, se trata de un importante defensor del paradigma de aceptación del envejecimiento. Su punto de vista merece nuestra atención. Construye su argumento haciendo referencia al caso de su padre, Benjamin Emanuel, que también era médico:

Mi padre ejemplifica muy bien la situación. Hace más o menos una década, apenas celebrado su 77 cumpleaños, empezó a tener dolores en el abdomen. Como todo buen médico, se empeñó en negar que tuviera importancia. Pero tras tres semanas sin mejoría, le convencimos para que fuera al médico. Había sufrido un ataque al corazón que desembocó en un catéter cardíaco y, en última instancia, en un bypass. Desde entonces, dejó de ser el mismo.

De repente, el que una vez fuera el hiperactivo Emanuel, se convirtió en alguien cuyo andar, hablar y estado de ánimo se ralentizaron. Hoy puede nadar, leer el periódico, mantener a sus hijos pegados al teléfono y todavía vive con mi madre en su propia casa. Sin embargo, todo resulta muy lento. Aunque no murió del ataque al corazón, nadie puede decir que lleve una vida animada. Al hablar de esto conmigo, me dijo: «Me he ralentizado muchísimo. Es innegable. Ya no hago rondas en el hospital ni tampoco enseño».

He aquí la conclusión de Emanuel:

Durante los últimos 50 años, los cuidados médicos no han ralentizado el proceso del envejecimiento tanto como lo han hecho con el proceso de morir... El proceso de morir se ha alargado.

La cuestión es que esa esperanza de una vida más larga conlleva periodos más largos de mala salud al final de la vida. Emanuel hace referencia a datos cuantitativos que apoyan su punto de vista:

Durante las últimas décadas, el aumento de la longevidad parece haber venido acompañado de aumentos (no descensos) en la discapacidad. Por ejemplo, mediante datos procedentes del National Health Interview Survey, Eileen Crimmins, una investigadora de la Universidad del Sur de California, y un colega han evaluado el estado físico de los adultos. Para ello han analizado su capacidad para andar un cuarto de milla, subir 10 escalones, quedarse de pie o sentado durante dos horas, y levantarse, doblarse o arrodillarse. Los resultados muestran que a medida que la gente envejece, se produce una erosión progresiva de su estado físico. Y lo que es más importante, Crimmins descubrió que entre 1998 y 2006 la pérdida de movilidad funcional en los ancianos aumentó. En 1998, alrededor del 28% de los estadounidenses varones de 80 o más años sufrían una limitación funcional; en 2006 esa cifra era casi del 42%. En el caso de las mujeres los resultados fueron todavía peores: más de la mitad de las mujeres de 80 años o más sufría alguna limitación funcional.

Las opciones de llevar una vida desgraciada en la vejez aumentan si se tienen en cuenta algunas estadísticas sobre apoplejías:

Tomemos la apoplejía como ejemplo. La buena noticia es que hemos hecho grandes avances a la hora de reducir la mortalidad debida a apoplejías. Entre 2000 y 2010, el número de muertes a causa de apoplejías disminuyó más de un 20%. La mala noticia es que muchos de los aproximadamente 6,8 millones de americanos que han sobrevivido a una apoplejía sufren de parálisis o incapacidad para hablar. Y muchos de los 13 millones más de norteamericanos que se calcula que han sobrevivido a una apoplejía «en silencio» padecen disfunciones cerebrales más sutiles como anormalidades en los procesos cognitivos, en la

regulación del carácter y en la función intelectual. Y lo que es peor, se prevé que durante los próximos 15 años se producirá un aumento del 50% en el número de estadounidenses que padezcan discapacidades provocadas por apoplejías.

Además, debemos considerar el reto que supone la demencia:

La situación se vuelve todavía más preocupante cuando analizamos la más espantosa de todas las posibilidades: vivir con demencia y con otras discapacidades mentales adquiridas. Actualmente hay aproximadamente 5 millones de estadounidenses con más de 65 años que sufren alzhéimer, y uno de cada tres estadounidenses con 85 años o más tiene alzhéimer. Las probabilidades de que esto cambie en las próximas décadas no son buenas. Numerosos ensayos recientes con medicamentos que se suponía que detenían el alzhéimer pero que ni mucho menos lo revertían ni lo prevenían, han fracasado tan estrepitosamente que los investigadores están replanteándose todo el paradigma de la enfermedad que ha guiado la mayor parte de la investigación en las últimas décadas. En vez de predecir una cura en el futuro inmediato, muchos alertan de un tsunami de demencia, un aumento de alrededor del 300% en el número de ancianos estadounidenses con demencia en 2050.

El coste del envejecimiento

El punto de vista defendido por Emanuel resuena en la opinión expresada en 2003 por Francis Fukuyama, politólogo estadounidense de origen japonés y profesor de las universidades Johns Hopkins y Stanford. Fukuyama habló en un debate de SAGE Crossroads sobre «El futuro del envejecimiento» y explicó^[172]:

La extensión de la vida me parece un ejemplo perfecto de externalidad negativa. Esto significa que, individualmente, es racional y deseable para cualquier persona, pero que conlleva costes para la sociedad que pueden ser negativos.

A los 85 años, alrededor del 50% de la gente desarrolla alguna forma de alzhéimer, y la razón por la que vivimos la actual explosión de esta enfermedad en particular se debe a que todos los esfuerzos acumulados por la biomedicina han permitido a la gente vivir lo suficiente como para contraer esta enfermedad debilitante...

Yo tuve una experiencia personal con ella. Mi madre estuvo en una residencia de ancianos durante los últimos años de su vida. Si analizamos la situación de esas personas, nos enfrentamos a un importante conflicto desde el punto de vista moral. Nadie quiere que sus seres queridos mueran, pero esos seres queridos han caído en una situación en la que han perdido cualquier control.

Los investigadores estadounidenses Berhanu Alemayehu y Kenneth E Warner estudiaron en 2004 qué proporciones del gasto (ajustado a la inflación) invertido por alguien en servicios sanitarios se correspondía con cada una de las etapas de su vida, resultados que publicaron en su informe *La distribución de los costes derivados de los cuidados médicos a lo largo de la vida*^[173]. Allí analizaron el gasto en servicios médicos de casi cuatro millones de miembros del plan de seguros médicos Blue Cross Blue Shield de Michigan, así como datos procedentes del Medicare Current Beneficiary Survey, el Medical Expenditure Panel Survey, el Michigan Mortality Database y las cuentas de los pacientes en residencias de ancianos de Michigan. Demostraron que una persona que sigue viva a la edad de 85 años aún tendrá que

enfrentarse al 35,9% de los costes totales de servicios médicos de toda su vida. Si alguien vive hasta los 65 años, encontramos la pavorosa cifra del 59,6%.

El mayor gasto en servicios médicos destinados a personas ancianas puede comprenderse como el resultado de varios factores:

- A medida que la gente envejece, se vuelve susceptible de sufrir más de una dolencia al mismo tiempo, lo que se conoce como «comorbilidad».
- Los pacientes con comorbilidad ya consumen una parte importante del gasto nacional sanitario debido a las complejas interacciones que se producen entre los diferentes problemas de salud.
- Incluso sin sufrir comorbilidad, es menos probable que un anciano responda rápidamente a los tratamientos médicos estándar, ya que su cuerpo es más débil y menos resistente.
- A medida que la salud de los ancianos se deteriora, la ciencia médica puede mantener a los ancianos con vida durante más tiempo que en el pasado, pero a cambio de prolongar los tratamientos, que por tanto se vuelven más caros.
- Este patrón encaja dentro de otro más amplio que a veces solemos llamar «crisis demográfica»:
 - Las familias tienen menos hijos.
 - Los ancianos viven más.
 - La cantidad de gente que trabaja disminuye continuamente en comparación con aquellos que han abandonado la fuerza laboral, y que probablemente generarán más costes sanitarios.
 - Si no hay cambios sustanciales, las economías nacionales se enfrentan al riesgo de entrar en bancarrota debido a la creciente demanda de servicios sanitarios.

Emanuel no defiende ni la eutanasia, ni el suicidio asistido, ni nada parecido, y de hecho cuenta con un largo historial de oposición férrea a este tipo de iniciativas. No es eso lo que tiene en mente. Por el contrario, lo que propone es que:

Cuando cumpla 75 años, mi manera de ver los cuidados médicos cambiará completamente. No acabaré con mi vida a propósito. Pero tampoco trataré de alargarla. Hoy, cuando un médico recomienda una prueba o un tratamiento, especialmente uno que alargaría nuestras vidas, nos corresponde dar una buena razón por la que rechazaremos dicho tratamiento. La presión de la medicina y de la familia nos hace aceptarlo casi siempre.

Mi intención es cambiar por completo esta dinámica. Me guío por lo dicho por *sir* William Osler en su libro de texto, un clásico escrito durante el cambio de siglo, *Los Principios y la Práctica de la Medicina*: «La neumonía podría definirse como la mejor amiga de los ancianos. Llevado por ella, una enfermedad

aguda, corta y normalmente no dolorosa, el anciano escapa de las “frías progresiones del deterioro”, tan penosas para él y para sus amigos».

Mi filosofía, inspirada por Osler, es esta: a partir de los 75 años necesitaré una buena razón para ni tan siquiera visitar al médico y someterme a cualquier tipo de prueba o tratamiento, independientemente de lo rutinarios e indoloros que sean. Y esa buena razón no es «esto prolongará tu vida». Dejaré de hacerme pruebas, revisiones o intervenciones preventivas periódicas. Solo aceptaré cuidados paliativos, no curativos, si sufro dolores o cualquier otra discapacidad.

Esto significa que las colonoscopias y otras pruebas para detectar el cáncer quedan descartadas (incluso antes de los 75 años). Si hoy, con 57 años, me diagnosticaran cáncer, probablemente me lo trataría, a no ser que el pronóstico fuera muy grave. Pero a los 65 años me haré mi última colonoscopia. No me haré más exámenes para detectar el cáncer de próstata. (Si un urólogo me hiciera una prueba PSA pese a haber dicho que no estaba interesado y me llamara para decirme los resultados, le colgaría antes de que me los pudiera contar. Habría hecho la prueba por él, le diría, no por mí). Después de los 75, si desarrollo cáncer, me negaré a ser tratado. De la misma forma, no me haré pruebas de esfuerzo cardiaco. No me pondré un marcapasos y desde luego que no llevaré un desfibrilador implantable. No me someteré a ningún cambio de válvulas ni a ninguna cirugía para ponerme un bypass. Si contraigo enfisema o alguna enfermedad similar que conlleve agravamientos frecuentes que, por lo general, me lleven al hospital, aceptaré el tratamiento para aliviar la molestia causada por la sensación de ahogo, pero me negaré a ser retenido.

¿Y en caso de problemas sencillos? Las inyecciones contra la gripe quedan descartadas. No cuestiono que, de producirse una epidemia de gripe, alguien más joven con toda la vida por delante debería vacunarse o tomar medicamentos antivirales. Un reto importante lo plantean los antibióticos contra la neumonía o contra las infecciones de la piel y urinarias. Los antibióticos son baratos y muy efectivos a la hora de curar infecciones. Es muy difícil negarse a tomarlos. De hecho, incluso las personas que están seguras de no querer someterse a tratamientos que extiendan la vida encuentran dificultades a la hora de negarse a tomar antibióticos. Pero, tal y como recuerda Osler, a diferencia del deterioro asociado a las enfermedades crónicas, la muerte por estas infecciones es rápida y relativamente indolora. De manera que nada de antibióticos.

Obviamente, he escrito y registrado una orden para que no se me resucite y directrices precisas para que no se me apliquen respiradores, diálisis, cirugías, antibióticos ni ninguna otra medicación, nada excepto cuidados paliativos incluso si estoy consciente pero no mentalmente capacitado. En resumen, nada de intervenciones para mantenerme con vida. Moriré de lo primero que acabe conmigo.

Choque de paradigmas

El punto de vista de Emanuel puede ser calificado de valiente y generoso. Además, es coherente con el paradigma que utiliza para interpretar el mundo:

- Los costes médicos continúan creciendo debido a los ancianos y la sociedad es cada vez menos capaz de asumir esos costes.
- Antiguas esperanzas de realizar progresos en la cura de enfermedades como la demencia han demostrado ser infundadas.
- Los ancianos, al estar aquejados por largas enfermedades relacionadas con la edad, disfrutan de una mala calidad de vida.
- La sociedad necesita una estrategia racional y humana para repartir sus limitados recursos sanitarios.

- Los ancianos ya han vivido los mejores años de sus vidas, ya han pasado su momento de máxima productividad y creatividad.

En relación con el último punto, Emanuel cita al famoso científico Albert Einstein:

El hecho es que a los 75 años la creatividad, la originalidad y la productividad se han acabado para la inmensa mayoría de nosotros. Es bien sabido que Einstein dijo: «Si alguien no ha hecho su gran contribución a la ciencia antes de los 30 años, entonces nunca la hará».

Es interesante que Emanuel se sienta obligado a contradecir a Einstein inmediatamente y que luego reitere su opinión de forma menos radical:

[Einstein] fue muy drástico en su apreciación. Y estaba equivocado. Dean Keith Simonton, de la Universidad de California, en Davis, un destacado investigador sobre el envejecimiento y la creatividad, ha llevado a cabo muchos estudios y ha descrito la curva que normalmente relaciona edad y creatividad: la creatividad aumenta rápidamente cuando comienza la carrera profesional, llega a su máximo unos 20 años después, a los 40 o 45 años de edad, y luego entra en un lento declive relacionado con el envejecimiento. Se producen variaciones entre las diferentes disciplinas, pero no son muy grandes. Actualmente, la edad media a la que los físicos que consiguen el premio Nobel realizan su descubrimiento (no a la que reciben el premio) es de 48 años. Los químicos y físicos teóricos hacen sus mayores aportaciones un poco antes que los investigadores empíricos. De igual forma, los poetas tienden a alcanzar su máximo antes que los novelistas. Un estudio del propio Simonton sobre compositores musicales demuestra que, por lo general, un compositor escribe su primera gran obra a los 26 años, alcanza su mejor etapa a los 40 con su mejor obra y su máximo nivel de producción, y luego entra en declive (su última composición importante la escribe a los 52 años).

Sin embargo, Emanuel también se ve obligado a citar después algunos contraejemplos:

Hace más o menos una década, empecé a trabajar con un importante economista de la salud que estaba a punto de cumplir 80 años. Nuestra colaboración fue extraordinariamente productiva. Publicamos numerosos estudios que influyeron en los debates en torno a la reforma del sistema sanitario. Mi colega es brillante y sigue siendo un importante colaborador, y este año ha celebrado su 90 cumpleaños. No obstante, se trata de un caso atípico, ya que es una persona muy especial.

Emanuel da a entender que dichos contraejemplos son muy escasos debido a la complejidad del cerebro y al declive en la llamada «plasticidad cerebral»:

La curva que relaciona edad y creatividad, sobre todo en lo que se refiere al declive, es la misma en diferentes culturas y en diferentes periodos históricos, lo cual sugiere la existencia de cierto determinismo biológico subyacente relacionado con la plasticidad cerebral.

Sobre la biología solo podemos especular. Las conexiones entre neuronas están sujetas a intensos procesos de selección natural. Las conexiones neuronales más utilizadas son reforzadas y mantenidas, mientras que aquellas que se usan poco o nada se atrofian y desaparecen con el tiempo. Aunque la plasticidad cerebral se mantiene toda la vida, no podemos recablearnos por completo. A medida que envejecemos, forjamos una red muy grande de conexiones construidas a lo largo de toda la vida gracias a experiencias, pensamientos, sentimientos, acciones y memorias. Estamos sometidos a quienes hemos sido. Es difícil, si no imposible, generar pensamientos nuevos y creativos, ya que no desarrollamos un nuevo conjunto de conexiones neuronales que pueda sustituir a la red existente. A las personas mayores les resulta muy difícil aprender nuevos idiomas. Todos esos rompecabezas mentales son un esfuerzo por ralentizar la

erosión de nuestras conexiones neuronales. Una vez exprimes la creatividad de las redes neuronales construidas durante el primer tramo de tu carrera, no es probable que se desarrollen nuevas conexiones cerebrales fuertes que den lugar a ideas innovadoras, excepto en el caso de aquellos que, como mi colega, son excepcionales y representan una minoría dotada de una plasticidad superior.

En respuesta a la cuestión sobre por qué la medicina no puede hacer que mucha más gente experimente ese mismo tipo de creatividad y productividad aumentadas que él califica como «excepcionales», Emanuel se apoya nuevamente en uno de los puntos de su paradigma, es decir, que las antiguas esperanzas de realizar progresos en la cura de enfermedades como la demencia han demostrado ser infundadas.

Cambio de paradigma

No es de extrañar que los diferentes puntos de ese paradigma encajen bien entre sí y se refuercen los unos a los otros. De ahí es de donde los paradigmas extraen su fuerza. Sin embargo, el objetivo de reducir el gasto en sanidad de los ancianos puede conseguirse de una manera muy diferente: a través de las ideas que anticipan el paradigma del rejuvenecimiento. Si resulta ser verdad que la investigación médica inteligente y concentrada puede retrasar el inicio y las consecuencias del envejecimiento (quizás indefinidamente), la sociedad se beneficiaría enormemente. De hecho, un mayor número de gente:

- Dejará de envejecer y debilitarse.
- Dejará de ser víctima de enfermedades relacionadas con la edad (incluidas enfermedades como el cáncer y las dolencias cardiovasculares, cuyas probabilidades y gravedad aumentan con la edad).
- Dejará de consumir grandes cantidades de servicios médicos derivados de largos periodos de enfermedad.
- Continuará formando parte activa y productiva de la fuerza de trabajo, y conservará su vigor y entusiasmo.

Por tanto, inversiones a corto plazo darán como resultado cuantiosos beneficios financieros y sociales gracias a la mejora de la salud y al retraso del envejecimiento. A esto se lo conoce como «dividendo de la longevidad».

El dividendo de la longevidad

El concepto de dividendo de la longevidad fue introducido en un artículo de 2006 en la revista científica *The Scientist*, «En busca del dividendo de la longevidad». El artículo fue escrito por un cuarteto de experimentados investigadores procedentes de varias áreas del envejecimiento: S. Jay Olshansky, profesor de epidemiología y bioestadística en la Universidad de Illinois, Chicago; Daniel Perry, entonces director ejecutivo de Alliance for Aging Research en Washington, DC; Richard A. Miller, profesor de patología en la Universidad de Míchigan, en Ann Arbor; y Robert N. Butler, presidente y director ejecutivo del International Longevity Center de Nueva York. El artículo llama urgentemente a:^[174]

Un esfuerzo coordinado para ralentizar el envejecimiento que [debería] empezar inmediatamente, ya que salvaría y extendería vidas, mejoraría la salud y crearía riqueza.

Merece destacar la última de estas razones: este esfuerzo por ralentizar el envejecimiento *crearía riqueza*. Los autores del artículo son optimistas sobre las perspectivas científicas del anti-envejecimiento:

En décadas recientes, los biogerontólogos han recopilado mucha información sobre las causas del envejecimiento. Han revolucionado nuestra comprensión de la biología de la vida y de la muerte. Han disipado ideas erróneas muy arraigadas sobre el envejecimiento y sus efectos, y por primera vez han proporcionado bases científicas reales sobre la posibilidad de extender y mejorar la vida.

La idea de que las enfermedades relacionadas con el envejecimiento se producen independientemente de los genes y/o factores de riesgo relacionados con los hábitos ha sido descartada por evidencias que demuestran que las intervenciones genéticas y alimentarias pueden retrasar casi todas las enfermedades de la vejez al mismo tiempo. Varios modelos sobre líneas de evidencia que van desde las simples eucariotas hasta los mamíferos sugieren que nuestros propios cuerpos pueden que tengan «interruptores» que influyan en la velocidad con la que envejecemos. Estos interruptores no están grabados en piedra, sino que es posible ajustarlos.

Se sabe que es falsa la creencia de que el envejecimiento es un proceso inmutable programado por la evolución. En décadas recientes, nuestro conocimiento sobre cómo, por qué y cuándo tienen lugar los procesos de envejecimiento ha progresado tanto que muchos científicos creen que si se promociona lo suficiente, esta línea de investigación podría ser provechosa para personas vivas actualmente. La ciencia del envejecimiento tiene el potencial para conseguir lo que ningún medicamento, procedimiento quirúrgico o modificación del comportamiento puede conseguir, extender nuestros años de vigor juvenil y a la vez posponer todas las costosas, incapacitantes y letales enfermedades que surgen con el envejecimiento.

Como consecuencia, los investigadores prevén muchas ventajas, incluidos «enormes beneficios económicos»:

Además de los obvios beneficios para la salud, gracias a la extensión de la vida saludable se producirán enormes beneficios económicos. Al extender el periodo de la vida en el que se manifiestan niveles más altos en las capacidades físicas y mentales, la gente se mantendrá más tiempo en el mercado laboral, los ingresos y los ahorros personales aumentarán, los programas de asistencia a la vejez se enfrentarán a menores presiones provenientes de los cambios demográficos y hay razones para creer que las economías nacionales florecerían. La ciencia del envejecimiento tiene el potencial de producir lo que nosotros llamamos un «Dividendo de la Longevidad» en forma de mejoras sociales, económicas y de salud tanto para los individuos como para poblaciones enteras, un dividendo que comenzaría con las generaciones vivas hoy en día y que continuaría con todas las siguientes.

Los autores continúan con una lista con las diferentes maneras en las que la extensión de la vida saludable crearía riqueza, tanto para los individuos como para las sociedades en las que viven:

- Los ancianos saludables acumulan más ahorros e inversiones que aquellos aquejados por enfermedades.
- Tienden a mantenerse productivos en la sociedad.
- Desencadenan *booms* económicos en los llamados mercados maduros, entre los que se encuentran los servicios financieros, el turismo, la hostelería y las transferencias intergeneracionales a generaciones más jóvenes.
- Las mejoras en el estado de salud también provocan menos absentismo escolar y laboral y están asociadas a una mejor educación y mayores ingresos.

Sin embargo, los autores también toman en consideración el escenario alternativo, en el cual la investigación sobre las terapias de rejuvenecimiento tiene escasos recursos y avanza muy despacio. En este escenario, las enfermedades relacionadas con el envejecimiento exigirían de la sociedad cada vez mayores aumentos del gasto:

Utilicemos a modo de ejemplo el impacto que tiene solo uno de los desórdenes relacionados con el envejecimiento, el alzhéimer (A). Solamente debido al inevitable cambio de la demografía, el número de americanos aquejados de A pasará de los 4 millones actuales hasta los 16 millones a mediados de siglo. Esto significa que en Estados Unidos habrá más gente con A en 2050 que habitantes actualmente en los Países Bajos.

A nivel mundial, la prevalencia de A se espera que llegue a los 45 millones en 2050, cuando tres de cada cuatro pacientes con A vivirán en una nación en vías de desarrollo. Actualmente, las pérdidas económicas en Estados Unidos son de entre 80 y 100 mil millones de dólares, pero en 2050 serán de un billón de dólares en gastos anuales en A y en demencias asociadas. Solo el impacto de esta enfermedad será catastrófico, y este es solo uno de los ejemplos posibles.

Las enfermedades cardiovasculares, la diabetes, el cáncer y otros problemas relacionados con el envejecimiento son responsables de miles de millones de dólares desviados al «cuidado de enfermos». Imaginemos los problemas que padecen en muchos países en vías de desarrollo en los que hay poca o nula formación geriátrica en los sistemas de salud. A mediados de este siglo, los habitantes de China e India superarán el total de la población actual de Estados Unidos. La ola demográfica es un fenómeno global que está llevando la financiación de los sistemas sanitarios directamente hacia el abismo.

En otras palabras, estos investigadores prevén la misma crisis financiera expuesta por Ezekiel Emanuel. Sin embargo, mientras que Emanuel recomienda un retiro (voluntario) de la costosa ayuda médica una vez que se alcanza cierta edad, por ejemplo a los 75 años, estos cuatro autores creen que la ciencia del anti-envejecimiento puede proporcionar una solución mejor que no implique la muerte ni el cese de la ayuda médica:

Los países pueden verse tentados a continuar atacando las enfermedades y discapacidades de la vejez por separado, como si no tuvieran nada que ver las unas con las otras. Así es como se practica la mayor parte de la medicina y de la investigación médica hoy en día. Los Institutos Nacionales de Salud de Estados Unidos están organizados bajo la premisa de que las enfermedades y desórdenes sean atacados de forma individual. En Estados Unidos, más de la mitad del presupuesto para luchar contra el envejecimiento del Instituto Nacional del Envejecimiento se dedica al alzhéimer. Pero los cambios biológicos que predisponen a que todos suframos enfermedades y desórdenes mortales e incapacitantes son producidos por procesos del envejecimiento. Por tanto, lo razonable sería que las intervenciones para retrasar el envejecimiento se convirtieran en una de nuestras máximas prioridades.

Queda claro que dichas intervenciones son el tema de este libro. Defendemos la previsión que afirma que relativamente pronto dispondremos de tratamientos que permitirán extender indefinidamente la esperanza de vida saludable. Los impulsores del dividendo de la longevidad señalan que, incluso si la extensión no llega a ser indefinida, si, por ejemplo, solo desembocase en siete años más de vida saludable, seguiría siendo extraordinariamente positiva desde un punto de vista tanto económico como humanitario:

Prevedemos un objetivo que, siendo realistas, es alcanzable: una pequeña desaceleración en el ritmo del envejecimiento suficiente como para posponer todas las enfermedades y desórdenes relacionados con el envejecimiento durante unos 7 años. Elegimos este objetivo porque el riesgo de muerte y de sufrir la mayor parte de los atributos negativos del envejecimiento tiende a crecer de forma exponencial durante la edad adulta, y se multiplica por dos aproximadamente cada siete años. Un retraso de estas características provocaría más beneficios para la salud y para la longevidad que los conseguidos con la eliminación del cáncer y de las enfermedades cardiovasculares. Y creemos que puede conseguirse por generaciones que ya han nacido.

Si conseguimos ralentizar el envejecimiento siete años, el riesgo específico de cada edad de sufrir una enfermedad mortal, debilidad y discapacidades se vería reducido aproximadamente a la mitad. Los que en el futuro lleguen a los 50 tendrían el perfil de salud y el riesgo de sufrir enfermedades de aquellos que hoy tienen 43; aquellos que lleguen a los 60 se asemejarían a quienes hoy tienen 53, etc. Una vez conseguido esto, es igualmente importante el hecho de que este retraso de siete años conllevaría los mismos beneficios de salud y de longevidad para las generaciones venideras, de la misma manera en la que los niños que nacen actualmente en la mayor parte de los países se benefician del descubrimiento y desarrollo de vacunas.

Cuantificación del dividendo de la longevidad

Contra la idea del dividendo de la longevidad se suelen considerar tres argumentos principales, concretamente:

1. El primero es la posición radical que dice que ninguna acumulación de investigaciones va a llegar a extender la longevidad saludable en humanos ese periodo de siete años del que se habla. Esta posición sostiene que mejoras similares a las del pasado no pueden repetirse en el presente, independientemente del nivel de inversión realizado.

2. El segundo argumento sostiene que dicha investigación será extremadamente cara, de manera que los posibles beneficios económicos derivados de esperanzas de vida saludables más largas quedarán contrarrestados por los enormes costes de obtener dichos beneficios.
3. Por último, el tercer argumento sostiene que los beneficios del dividendo de la longevidad son solo temporales: el importante gasto médico destinado a los ancianos no queda anulado, solo pospuesto.

Rechazamos de plano el primer argumento de que en la longevidad saludable «nunca se conseguirán más avances importantes». Por el contrario, lo que sí está por ver es el «cuánto», el «cómo de rápido» y el «a qué coste». Esto nos lleva al segundo argumento. Es un argumento que merece nuestra atención, así que deberíamos tratar de cuantificar las cifras en juego.

Una manera de abordar las cifras la encontramos en un artículo escrito por los académicos estadounidenses Dana Goldman, David Cutler y otros colaboradores bajo el título «Una mejora sustancial de la salud y los beneficios derivados del retraso del envejecimiento puede que avalen un nuevo enfoque sobre la investigación médica». Goldman es profesor de políticas públicas y economía farmacéutica, así como director del Centro Schaeffer de Políticas y Economía de la Salud en la Universidad del Sur de California, mientras Cutler ejerce como profesor de economía en la Universidad de Harvard^[175].

Estos autores empiezan por decir que, *si los sistemas de salud mantienen la dinámica que llevan en el presente*, el gasto en el seguro médico para personas mayores (el llamado Medicare que proporciona seguros médicos a los estadounidenses a partir de los 65 años) va a pasar del 3,7% del PIB de Estados Unidos en 2012 a suponer un gigantesco 7,3% en 2050. Esto refleja el mayor tiempo en estado de discapacidad que pasan los ancianos en comparación con el pasado:

Aunque la lucha contra las enfermedades ha extendido la vida de los jóvenes y de la gente de mediana edad, las evidencias sugieren que pueden no extender la vida saludable una vez hemos alcanzado edades muy avanzadas. El aumento de los índices de discapacidad va acompañado de un aumento en la esperanza de vida, pero dejando la esperanza de vida saludable intacta o incluso disminuida respecto al pasado...

A medida que envejece, le gente se vuelve menos propensa a ser víctima de una sola enfermedad, que era lo que pasaba antes. Por el contrario, causas contrapuestas de muerte que están más directamente asociadas con el envejecimiento biológico (por ejemplo, las enfermedades coronarias, el cáncer, la apoplejía y el alzhéimer) se acumulan en un mismo individuo cuando alcanza edades muy avanzadas. Estos problemas elevan el índice de mortalidad y dan lugar a la fragilidad y a la discapacidad que acompañan a la vejez.

Los autores estudian cuatro escenarios diferentes. Todos surgen dependiendo de los diferentes tipos de progresos médicos que se puedan dar en el periodo entre 2010 y 2050:

- El «escenario del *statu quo*», en el que las tasas de mortalidad por enfermedad no cambian durante el periodo indicado.
- Un «escenario de retraso del cáncer», en el que la incidencia del cáncer se reduzca un 25% entre 2010 y 2030, y que luego se mantenga constante.
- Un «escenario de retraso de las enfermedades coronarias», en el que la incidencia de las enfermedades coronarias se reduzca un 25% entre 2010 y 2030, y que luego se mantenga constante.
- Un «escenario de retraso del envejecimiento», en el que «la mortalidad derivada de factores como la edad, al contrario de lo que pasa con la exposición a factores de riesgo externos como los traumatismos o el tabaco... se reduzca en un 20% en 2050».

El cuarto de estos escenarios encaja con la idea que este libro defiende. Tal y como lo describen los autores:

Aunque este escenario alteraría las consecuencias de enfermar, no se trataría del mismo escenario que los escenarios en los que se previenen las enfermedades, ya que abordaría los procesos biológicos que se esconden detrás del envejecimiento. Este escenario reduciría la mortalidad y la probabilidad de contraer tanto enfermedades crónicas (enfermedades cardiovasculares, apoplejías o ataques isquémicos transitorios, diabetes, bronquitis crónica y enfisema, e hipertensión), como discapacidades en un 1,25% por cada año de vida una vez superados los 50 (el periodo vital en el que surgen la mayor parte de las enfermedades). Las fases de esta reducción se reparten en 20 años. Se empieza con una reducción del 0% en 2010 y se incrementa linealmente hasta alcanzar la reducción del 1,25% en 2030.

Los tres escenarios de intervención conllevan un aumento en la esperanza de vida. A alguien que en 2030 tenga 51 años le quedaría una esperanza de vida de 35,8 años (escenario del *statu quo*), 36,9 años (escenario del cáncer retrasado), 36,6 años (escenario de enfermedades cardiovasculares retrasadas) o 38,0 años (escenario del envejecimiento retrasado). El escenario del envejecimiento retrasado es el que llega más lejos porque afecta al conjunto de enfermedades relacionadas con el envejecimiento, mientras que en los otros dos casos la gente sigue siendo vulnerable a todas las enfermedades, con excepción de la enfermedad particularmente abordada en cada una de las intervenciones.

Los aumentos en la esperanza de vida son modestos, solo alrededor de un año en los escenarios de enfermedades específicas y de 2,2 años en el escenario del envejecimiento retrasado. Sin embargo, lo que resulta mucho más impactante son las consecuencias financieras de estos retrasos en cada uno de los modelos estudiados. Al agregar los costes esperados generados por los programas públicos como el del cuidado sanitario de ancianos, cuidado sanitario de personas desfavorecidas, seguros por discapacidad, primas por complementos de la seguridad social, etc., y al incluir las estimaciones sobre los beneficios de la productividad derivados de las mejores condiciones de vida, los autores calculan que el valor económico del escenario de

retraso del envejecimiento sería de 7,1 billones de dólares durante el periodo que dista hasta 2060. Este beneficio tiene dos orígenes:

1. Un menor número de ancianos discapacitados, hasta cinco millones menos en Estados Unidos por cada uno de los años entre 2030 y 2060.
2. Un aumento en el número de ancianos no discapacitados, hasta diez millones más en Estados Unidos durante el periodo considerado, lo que da como resultado mayores contribuciones a la economía (tanto desde el punto de vista de la producción como del consumo).

Como las diferencias que se conseguirían en los otros dos escenarios (el del retraso del cáncer y el del retraso de las enfermedades coronarias) son mucho menores, los beneficios derivados de ellos también son mucho más pequeños. Esta es otra de las razones por las que se debería dar prioridad al rejuvenecimiento en vez de seguir tratando las enfermedades de forma individualizada.

Es inevitable que existan muchas dudas en relación a las cifras mencionadas. Sin embargo, incluso si la cifra destacada de 7,1 billones de dólares estuviera significativamente equivocada, las ventajas seguirían siendo muy importantes. Y lo que resulta especialmente interesante es que estos beneficios surgen de un incremento en la esperanza de vida muy pequeño, de apenas 2,2 años. *Imagínese lo grandes que podrían ser los beneficios derivados de un incremento mayor.*

Beneficios financieros derivados de vidas más largas

Hay que tener en cuenta que los ahorros descritos en la sección anterior dependen de que se produzcan importantes cambios en las reglas que determinan el derecho a recibir pensiones del Estado del Bienestar. Tal y como Goldman, Cutler y sus colegas afirman:

El retraso del envejecimiento aumentaría considerablemente el número de personas con derecho a pensión, especialmente a una pensión de la seguridad social. Sin embargo, estos cambios podrían contrarrestarse con un aumento en la edad de admisión en el programa de cuidados sanitarios para ancianos y por un aumento por parte de la seguridad social en la edad de jubilación.

Sin cambios en el comienzo y en el plan de pagos de las pensiones, más años de vida sí aumentarían las dificultades financieras ya existentes. El alcance de estos problemas se puso de manifiesto en un informe de 2012 del Fondo Monetario Internacional, tal y como aparece resumido en un artículo de Reuters escrito por

Stella Dawson titulado «Los costes del envejecimiento aumentan más deprisa de lo esperado^[176]»:

En todo el mundo, la gente vive de media tres años más de lo esperado, lo que hace aumentar los costes del envejecimiento un 50%, y los gobiernos y los fondos de pensiones están mal preparados, según el Fondo Monetario Internacional.

Los costes de cuidar a los ancianos de la generación del «*baby boom*» (el período posterior a la segunda guerra mundial, entre los años 1946 y 1964) está empezando a sobrecargar los presupuestos públicos, sobre todo en las economías avanzadas, donde en 2050 los ancianos prácticamente igualarán al número de trabajadores activos. El estudio del FMI señala que el problema es global y que la longevidad es un riesgo mayor de lo que se pensaba.

Si en 2050 todo el mundo viviera tan solo tres años más de lo esperado actualmente, tal y como ha pasado con la infravaloración que se ha hecho de la longevidad hasta ahora, la sociedad necesitaría un aumento de los recursos equivalente al 1 o al 2% anual.

Solo en el caso de los planes de pensiones en Estados Unidos, un aumento de tres años en la esperanza de vida generaría un aumento del 9% en la deuda, según el FMI, con intención de llamar la atención de los gobiernos y del sector privado para que se preparen ya para el riesgo que suponen esperanzas de vida más largas.

Hablamos, por tanto, de cifras enormes:

Para dar una idea de lo caro que sería, el FMI ha calculado que, si las economías avanzadas cubrieran inmediatamente los costes en pensiones relativas a tres años más de vida, tendrían que ahorrar el equivalente al 50% del PIB de 2010 (el ahorro en los países emergentes tendría que ser del 25% del PIB de 2010).

Estos costes adicionales se suman a un aumento total del gasto que se espera que se multiplique por dos hasta el año 2050 debido al envejecimiento de la población. Cuanto antes se afronte el problema, más fácil será controlar el riesgo derivado de que la gente viva más, según el FMI.

Sin embargo, este informe no habla de dos cosas fundamentales que hay considerar en cualquier visión de futuro:

1. El potencial de personas más longevas para contribuir más a la economía (y no representar un drenado de recursos).
2. La posibilidad de cambiar la edad en la que se empiecen a pagar las pensiones para armonizarla con los cambios en la esperanza de vida media.

Un argumento similar defienden los economistas Henry Aaron y Gary Burtless, del Brookings Institution de Washington DC, en su libro *Acabar con el déficit: ¿cuánto ayudaría retrasar la edad de jubilación?*^[177] Sus conclusiones son resumidas por Walter Hamilton en *Los Angeles Times*^[178]:

El libro señala que las personas de más de 60 años han retrasado progresivamente su edad de jubilación durante los últimos 20 años. Entre 1991 y 2010, la tasa de ocupación aumentó en más de la mitad entre los hombres de 68 años, y en alrededor de dos tercios en el caso de las mujeres de esa edad.

Como la gente trabaja hasta edades más avanzadas, también genera ingresos adicionales por el pago de impuestos, lo que podría reducir los déficits del Gobierno federal y el gasto de la seguridad social.

El aumento del trabajo podría incrementar los ingresos del Gobierno en hasta 2,1 billones durante las próximas tres décadas.

Los gastos de la seguridad social y del programa de atención sanitaria a ancianos podrían reducirse en más de 600 mil millones de dólares a medida que la gente retrase su entrada en dichos programas. El efecto total, incluidos los ahorros por intereses derivados de déficits anuales más bajos, podría reducir la diferencia entre los ingresos del sector público y los gastos del mismo en más de 4 billones de dólares hasta el año 2040.

William Nordhaus, el famoso economista estadounidense de la Universidad de Yale, había llegado más o menos a la misma conclusión en su publicación de 2002 «La salud de las naciones: la contribución de las mejoras en salud en la calidad de vida^[179]». Nordhaus analizó las causas de las mejoras de los resultados económicos durante el siglo XX, y su conclusión fue que el aumento en la esperanza de vida es, en términos de aumento del rendimiento económico, «aproximadamente igual al valor del resto de bienes y servicios de consumo juntos». A medida que viven más, la gente trabaja más tiempo, produce más y proporciona más experiencia a la fuerza laboral y a la comunidad en su conjunto. Al final de su estudio, Nordhaus resume sus tesis de la siguiente manera:

En un primer cálculo, se puede afirmar que el valor económico de los aumentos en longevidad durante los últimos cien años es más o menos igual de significativo que el aumento en el valor medido de bienes y servicios no relacionados con la salud.

Kevin Murphy y Robert Topel, dos prestigiosos economistas de la Universidad de Chicago, hacen otro cálculo de las ganancias históricas derivadas de una mayor longevidad en su artículo de 2005 «El valor de la salud y de la longevidad». Dichos economistas realizan un cálculo extenso, dado que el artículo consta de 60 páginas, y sus conclusiones se pueden leer en la sinopsis^[180]:

Las ganancias históricas derivadas del aumento de la longevidad han sido enormes. Durante el siglo XX, las ganancias acumuladas con el aumento de la esperanza de vida tuvieron un valor de más de 1,2 millones de dólares por persona (hombre o mujer). Entre 1970 y 2000, el aumento de la longevidad añadió unos 3,2 billones de dólares al año a la riqueza nacional... Solamente la disminución en la mortalidad por enfermedades coronarias ha hecho que el valor correspondiente al aumento de la esperanza de vida haya supuesto alrededor de 1,5 billones de dólares al año desde 1970.

Murphy y Topel muestran su deseo de que estas ganancias derivadas de nuevas mejoras en la salud continúen en el futuro:

Las ganancias potenciales derivadas de innovaciones sanitarias futuras también son ingentes. Incluso una modesta reducción de la mortalidad por cáncer del 1% equivaldría a casi 500 mil millones de dólares.

Sin embargo, dos cuestiones fundamentales siguen pendientes:

1. ¿Superarán los costes de conseguir esta extensión de la longevidad saludable al beneficio económico de (quizás) billones de dólares?

2. ¿Desembocarán los años adicionales de longevidad saludable en años particularmente caros en cuanto a cuidados sanitarios se refiere, de manera que los problemas solo se aplacen y no se resuelvan?

Contestemos por orden a estas dos preguntas.

Los costes de desarrollar terapias de rejuvenecimiento

No es posible conocer de antemano y con certeza los costes de desarrollar terapias de rejuvenecimiento que extenderían la esperanza de vida saludable una media de, pongamos por caso, siete años (tal y como se propone en el artículo de 2006 mencionado anteriormente, «En busca del dividendo de la longevidad», de Olshansky y sus colegas). Hay demasiadas incógnitas por despejar como para ni siquiera estimar un «orden de magnitud» plausible. Desconocemos cuán difícil será resolver las claves celular y molecular de las enfermedades relacionadas con el envejecimiento. Sin embargo, podemos hacernos una idea aproximada gracias a la observación de los proyectos para extender la vida saludable del pasado, ya que por lo general lograron cubrir sus costes con facilidad. A modo de ejemplo, consideremos los programas para vacunar a los niños contra las enfermedades asociadas a la infancia. El principio básico es que la prevención puede resultar mucho más barata que la cura. Según el científico estadounidense Brian Kennedy, que fue director ejecutivo del Buck Institute para la Investigación del Envejecimiento en California, «los costes de prevención pueden llegar a ser la veintava parte de los costes de tratamiento^[181]».

Murphy y Topel, cuya investigación fue mencionada en la sección anterior, hacen la siguiente valoración global:

Entre 1970 y 2000, el aumento de la longevidad generó un valor social bruto de 95 billones de dólares, mientras que el valor capitalizado de los gastos médicos creció en 34 billones de dólares, lo que arroja una ganancia neta de 61 billones de dólares... En general, el aumento de los gastos médicos absorbe solo el 36% del valor generado por el aumento de la longevidad.

Los autores señalan las implicaciones de su análisis para determinar el nivel de la inversión futura en innovación sanitaria:

Un análisis del valor social de las mejoras sanitarias es un primer paso hacia la evaluación correcta de los beneficios sociales que acompañan a la investigación médica y a las innovaciones destinadas a la mejora de la salud. Las mejoras en la salud y en la longevidad vienen determinadas en parte por la acumulación de conocimientos médicos de la sociedad, y para dicha acumulación la investigación médica de base es fundamental. Estados Unidos invierte más de 50 mil millones de dólares al año en investigación médica, de los cuales el 40% proviene de fondos federales (que equivalen al 25% del gasto público en investigación y

desarrollo). Los 27 mil millones de dólares del gasto federal en investigación relacionada con la salud durante el año fiscal 2003, la mayoría de ellos destinados a los Institutos Nacionales de Salud, representaron, en dólares constantes, el doble que en 1993. ¿Están justificados estos gastos?

Nuestro análisis señala la enorme potencialidad de los beneficios derivados de la investigación básica, de manera que gastos incluso mayores estarían justificados. Para ilustrarlo, consideremos nuestra estimación de que una reducción del 1% en la mortalidad debida al cáncer reportaría unos 500 mil millones de dólares. Siendo así, una «guerra contra el cáncer» que supusiera un gasto de 100 mil millones de dólares adicionales (durante un periodo determinado) en la investigación y tratamiento del cáncer estaría justificada si existe una posibilidad entre cinco de reducir la mortalidad un 1% y cuatro posibilidades entre cinco de no conseguir ningún avance.

Es importante prestar atención al análisis probabilístico. Una inversión puede tener sentido aun cuando la probabilidad de éxito sea relativamente pequeña. Es algo que tienen claro los gestores de capital riesgo, dispuestos a aceptar probabilidades pequeñas de éxito en los objetivos comerciales de una empresa siempre y cuando la cuantía derivada del éxito (en caso de que ocurra) sea lo suficientemente grande. Una probabilidad del 5% en una eventual capitalización multimillonaria de una empresa podría significar una gran inversión si, por ejemplo, su valoración futura excediera a su valoración presente en 100 veces o más.

Este tipo de consideraciones resultan familiares a cualquiera que evalúe pólizas de seguros. Es razonable pensar que los desastres más improbables también han de cubrirse mediante pólizas de seguro.

Si merecen nuestra atención las probabilidades pequeñas porque las consecuencias de que ocurran son lo suficientemente importantes, ¿cómo no vamos a prestar aún más atención a la posibilidad de que algo ocurra con un 50% de probabilidades y con unas consecuencias financieras que, de llevarse a cabo, alcanzarían los billones de dólares? Teniendo en cuenta las cifras asociadas al escenario más satisfactorio, esa sería la situación si el programa de rejuvenecimiento tuviera éxito, incluso a una escala muy pequeña.

Fuentes adicionales de financiación

Existen al menos cinco fuentes potenciales de financiación que acelerarían las terapias de rejuvenecimiento y, por tanto, la consecución del dividendo de la longevidad.

Primero, consideremos toda la financiación que hoy se dedica a luchar contra enfermedades individuales y comparémosla con la que se dedica a abordar los mecanismos subyacentes al envejecimiento. De los cerca de 30 mil millones de dólares anuales del presupuesto destinado a la investigación médica monitorizados por los Institutos Nacionales de Salud de Estados Unidos, actualmente menos del 10% se destina al envejecimiento, y el resto se reparte entre diversas enfermedades individuales^[182]. Este patrón de reparto actual de la financiación, que también se

repite en los presupuestos sanitarios de muchos países, concuerda con la estrategia dominante que dice que para mejorar la salud «las enfermedades son lo primero». Sin embargo, si el envejecimiento recibiera una parte mayor del presupuesto total (quizás si llegara al 20% durante los próximos 10 años en vez de representar menos del 10%), entonces muchas enfermedades podrían dejar de ser tan predominantes y tan graves, pese a la reducción en los fondos de investigación destinados específicamente a ellas. Esto significaría asumir una estrategia alternativa para mejorar la salud, una que dice que «el envejecimiento es lo primero», ya que el envejecimiento aumenta la tendencia del cuerpo a sufrir enfermedades e incrementa la probabilidad de que dichas enfermedades se compliquen.

Una segunda manera de conseguir un mayor avance en el rejuvenecimiento sería aumentando el tiempo de libre disposición de aquellos que se dedican a investigar las terapias anti-envejecimiento. Apenas se necesitaría una pequeña modificación a nivel individual en los porcentajes de tiempo de los investigadores para que a nivel agregado se produjera un gran aumento. Si solo una persona de entre mil dedicara apenas cuatro horas más a la semana a la investigación del rejuvenecimiento, y por tanto cuatro horas menos a actividades de tiempo libre como ver programas de entretenimiento en la televisión, el número total de horas dedicadas al rejuvenecimiento en un país podría dispararse. Gran parte de ese esfuerzo tendrá poca importancia en términos absolutos si se dedicara a revisar lo que ya han hecho otros y si las personas involucradas tienen restringido el acceso a material e instalaciones experimentales. Sin embargo, si se pusieran en marcha marcos y procesos destinados a la «ingeniería colaborativa del rejuvenecimiento», incluyendo actividades educacionales y de orientación, el beneficio a nivel global podría ser considerable.

Tercero. La alternativa a dedicar una mayor parte de su tiempo podría ser que la gente de todo el mundo donara una mayor cantidad de sus ahorros a iniciativas de investigación sobre el rejuvenecimiento. Por ejemplo, en vez de hacer las habituales donaciones a la universidad en la que se formaron o a la parroquia de su localidad, podrían redirigir esos fondos (o parte de ellos) a organizaciones filantrópicas del campo del anti-envejecimiento. Estas inversiones podrían verse como una especie de contribución paralela a los planes de pensiones y pólizas de seguros: cuanto más gente done, menor será la probabilidad de que familiares, vecinos y demás allegados sufran las enfermedades relacionadas con el envejecimiento. Si, siguiendo lo expuesto en este libro, se produjera un cambio drástico en la manera de actuar de la opinión pública, podríamos presenciar un aumento de este tipo de financiación, de la misma forma que ha ocurrido con campañas que se han generalizado (como los lazos color rosa para la lucha contra el cáncer de mama).

Cuarto. Las empresas (tanto grandes como pequeñas) podrían decidir invertir en este campo dado el potencial beneficio financiero que supondría participar del dividendo de la longevidad. Al fin y al cabo, si estas terapias consiguen generar un mayor nivel de riqueza en la sociedad al aumentar la actividad económica productiva

y al disminuir las bajas laborales prolongadas, debería haber maneras de que las empresas que proporcionen estas terapias recibieran parte de esa nueva riqueza generada. Si ese tipo de reparto de beneficios pudiera concretarse y especificarse, se conseguiría que una parte sustancialmente mayor de la gran capacidad de emprendimiento del mundo de los negocios ayudara a la causa del rejuvenecimiento.

Quinto. Toca abordar la cuestión del aumento de fondos públicos en lugar de la reubicación de fondos públicos ya existentes destinados a la salud. A menudo, los fondos públicos pueden cubrir el espacio no cubierto por los fondos de empresas privadas. La inversión pública puede permitirse ser más paciente con los retornos esperados. Los beneficios van a parar a toda la sociedad, no son reorientados ni a accionistas ni a ejecutivos. Un ejemplo fue la gran aportación de Estados Unidos con el Plan Marshall (13 mil millones de dólares durante la década de 1940), un programa de ayuda financiera para reconstruir Europa occidental tras la devastación causada por la segunda guerra mundial. Otros dos ejemplos serían el atómico Proyecto Manhattan para ganar la segunda guerra mundial y el Proyecto Apolo durante la Guerra Fría para llevar al primer humano a la Luna.

Otro caso comparable sería el de la financiación pública británica del Servicio Nacional de Salud. También la inversión europea en el CERN, la Organización Europea para la Investigación Nuclear, que cuenta con un inmenso colisionador de hadrones. Esta inversión de miles de millones de euros durante varias décadas no fue emprendida pensando en los beneficios económicos a corto plazo. Por el contrario, los políticos apoyaron el CERN basándose en una visión de conjunto cuyo objetivo era recabar información fundamental sobre el mundo natural, y quizá generar beneficios económicos en un futuro de una forma que es difícil de anticipar. Por sí solo, se estima que el proyecto CERN para detectar el bosón de Higgs ya ha consumido unos 13 250 millones de dólares^[183]. Incluso internet nació a partir del trabajo de Tim Berners-Lee en el CERN entre 1989 y 1991. Sin embargo, hay buenas razones para rebajar la prioridad de varias iniciativas públicas como el CERN (se podrían poner varios ejemplos más) durante las próximas décadas e incrementar, en cambio, los fondos de investigación públicos destinados al rejuvenecimiento.

En conclusión, existen varias posibles fuentes de recursos para realizar un esfuerzo adicional significativo que pueda aplicarse al proyecto de rejuvenecimiento con la esperanza de que, al menos parte de dicho esfuerzo, acabe produciendo ingentes beneficios económicos. La sociedad tiene que tomar una decisión importante en cuanto a las prioridades de estos recursos y en cuanto a la escala en la que tendrían que invertirse.

Curar el envejecimiento será más barato de lo que muchos piensan

Ya hemos visto que existen múltiples vías de financiación tanto públicas como privadas que dependen de las decisiones de gobiernos y empresarios, con el apoyo fundamental de los ciudadanos, pues el envejecimiento es una enfermedad que afecta a toda la humanidad. Nunca debemos olvidar que el envejecimiento es la principal causa de muerte en el mundo.

También hemos explicado cómo hasta ahora nos hemos centrado en atacar los síntomas más que las causas del envejecimiento. Necesitamos una verdadera medicina preventiva, y no tanto curativa, para evitar los procesos de envejecimiento. En lugar de gastar 7 billones de dólares en curar las enfermedades, especialmente en las dolorosas fases finales de la vida de la gente, tenemos que invertir esa cantidad en prevenir desde bien temprano los procesos de envejecimiento.

Si analizamos los fundamentos básicos de los seres humanos, en términos de nuestra composición química básica podemos afirmar que somos bastante simples. Un humano adulto está compuesto en cerca de 60% de agua (aunque depende mucho de la edad, sexo y adiposidad, entre otros factores). Además, ni siquiera somos agua Evian o Perrier, somos agua muy normal compuesta por H_2O , es decir, dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno. Tenemos órganos con más agua y otros con menos agua: Por ejemplo, se estima que los huesos contienen un 22% de agua, los músculos y el cerebro un 75%, el corazón un 79%, la sangre y los riñones un 83%, y el hígado un 86%^[184]. La proporción de agua también cambia mucho con la edad. Los niños tienen hasta un 75% de agua, los adultos un 60%, y los ancianos un 50%. Según la compañía Nestlé Waters, un adulto promedio de 60 kilogramos tiene 42 litros de agua en su cuerpo, distribuidos de la siguiente forma^[185]:

- 28 litros es agua intracelular:
- 14 litros se encuentran en el fluido extracelular, de los cuales:
 - 10 litros es el líquido intersticial (incluida la linfa), que es un medio acuoso que rodea las células.
 - 3 litros es el plasma de la sangre.
 - 1 litro es el líquido transcelular (fluido cerebroespinal, líquido ocular, pleural, peritoneal y sinovial).

Aparte de ser principalmente agua, que además del oxígeno contiene el elemento más abundante de todo el universo, el hidrógeno, el resto del cuerpo humano está compuesto por pocos elementos químicos, relativamente abundantes y baratos. Tan solo cuatro elementos básicos (oxígeno, carbono, hidrógeno y nitrógeno representan el 99% del total de todos los átomos y el 96% del peso de un humano promedio de edad media y 70 kg de peso, como se puede ver claramente en la Figura 5-1^[186].

FIGURA 5-1

Composición química de un humano promedio de edad media y 70 kg de peso

Elemento químico	Número Atómico	Átomos (%)	Peso (%)	Peso (Kg)
Oxígeno	8	24	65	43
Carbono	6	12	18	16
Hidrógeno	1	62	10	7,0
Nitrógeno	7	1,1	3,0	1,8
Calcio	20	0,22	1,4	1,0
Fósforo	15	0,22	1,1	0,78
Potasio	19	0,033	0,020	0,14
Azufre	16	0,038	0,020	0,14
Sodio	11	0,024	0,015	0,095
Cloro	17	0,037	0,015	0,010
otros (50)	3 ~ 92	0,328	1,430	0,035

Fuente: Autores basado en John Emsley

Aunque tenemos menos átomos de oxígeno que de hidrógeno, los átomos de oxígeno (con número atómico 8, es decir, los átomos de oxígeno tienen 8 protones) son más pesados que los átomos de hidrógeno (con número atómico 1, o sea, un solo protón). El oxígeno es también el elemento más abundante de la corteza terrestre, y en el cuerpo humano se encuentra principalmente en el agua, además de ser un componente fundamental de todas las proteínas, ácidos nucleicos (como ADN y ARN), carbohidratos y grasas.

Aunque el cuerpo humano contiene más de 60 tipos de elementos químicos diferentes, la mayoría solo está presente en cantidades mínimas. El cuerpo humano no contiene helio (un gas volátil con número atómico 2, es decir, el segundo elemento en la tabla química después del hidrógeno), pero tenemos «trazas» desde litio (número atómico 3) hasta uranio (número atómico 92).

Se estima que el universo está compuesto por cerca de un 73% de átomos de hidrógeno y un 25% de átomos de helio. Todos los demás átomos más «pesados» (con número atómico de 3 en adelante) apenas representan el 2% restante del universo conocido. Se cree que los átomos pesados se crearon como resultado de las explosiones de las estrellas en el inicio del universo, así que somos realmente «polvo cósmico» o «polvo de las estrellas», como lo describió el físico estadounidense Carl Sagan en su famoso libro y programa de televisión *Cosmos*^[187].

En pocas palabras, mantener organismos básicos, como es el caso de los humanos, será fácil y barato cuando sepamos reparar la materia a nivel atómico y molecular, como ya hacemos a nivel biológico. Si consideramos la nanotecnología como una forma de biología «artificial», es muy probable que logremos reparar átomos en las próximas décadas.

La idea de la manufactura atómica y molecular fue popularizada por el ingeniero

estadounidense Eric Drexler, que en 1986 publicó su libro *La nanotecnología: El surgimiento de las máquinas de creación*. En dicha obra, Drexler formaliza, junto con el experto en inteligencia artificial del MIT Marvin Minsky, las bases de la nanotecnología molecular, dentro de un proyecto que formaba parte de su tesis doctoral^[188].

En el año 2013, Drexler escribió *Abundancia radical*, donde explica cómo gracias a los impresionantes avances en nanotecnología podremos componer, descomponer y recomponer la materia a un coste muy bajo, probablemente de tan solo un dólar por kilogramo^[189]. Es decir, con nanotecnología avanzada, en las próximas décadas una persona de 70 kg se podría arreglar por 70 dólares, y probablemente por menos. Si sumamos todos los elementos que componen un humano, veremos que todos nuestros elementos químicos cuestan menos de 100 dólares en total.

A menos que exijamos que el cuerpo humano esté lleno de agua Evian o Perrier, el precio de mercado de los componentes de un ser humano es realmente bajo. Los humanos estamos compuestos por los elementos más abundantes de la corteza terrestre: no estamos hechos de plutonio (número atómico 94) con incrustaciones de diamante y oro en antimateria, estamos hechos básicamente de agua, con un poco de carbono y nitrógeno (además de «trazas» de otros elementos presentes en el medio ambiente, en el aire, en el agua, en la comida y en la bebida que consumimos).

La biología y la medicina siguen avanzando a pasos agigantados. Las famosas sangrías médicas, que fueron utilizadas durante siglos e incluso hasta mediados del siglo xx en algunas partes del mundo, son tenidas hoy como cosas poco menos que de bárbaros. En pocos años pensaremos igual de las radioterapias y quimioterapias actuales. Exagerando un poco, tratar de matar un tumor con radioterapia o quimioterapia es como matar un mosquito con un cañón. Esperemos que pronto la radioterapia y la quimioterapia pasen a la historia de los métodos bárbaros como en su día lo hicieron las sangrías del pasado.

Para avanzar en la cura del envejecimiento debemos pensar en los fundamentos básicos. El famoso ingeniero e inventor surafricano, canadiense y estadounidense Elon Musk explica que su éxito se debe a la fijación por pensar en principios básicos y no por analogía. Cuando pensamos por analogía, copiamos otras ideas y solo se producen mejoras lineales. Cuando pensamos en principios básicos podemos visualizar cambios exponenciales, hasta llegar a los límites impuestos por la ciencia. Musk pone el ejemplo de la física como ciencia básica para razonar^[190]:

Creo que es importante razonar desde los principios básicos más que por analogía. Existe un buen marco para pensar, y es la física... En general, creo que hay cosas que se reducen a sus verdades fundamentales y hay que razonar desde allí, en lugar de razonar por analogía.

Durante la mayor parte de nuestra vida nos pasamos el día razonando por analogía, lo que esencialmente significa copiar lo que otros hacen con ligeras variaciones.

Musk continúa con el ejemplo de las baterías para coches eléctricos, y explica

por qué sus costes seguirán disminuyendo aceleradamente si pensamos en los principios básicos:

Alguien podría decir por analogía: «Los paquetes de baterías son realmente caros y así es como siempre serán... Históricamente, las baterías han costado 600 dólares por kilovatio hora. En el futuro, las cosas no serán muy diferentes».

Utilizando los fundamentos básicos, uno se preguntaría: «¿Cuáles son los componentes materiales de las baterías? ¿Cuál es el valor de mercado de los materiales constituyentes?».

Una batería tiene cobalto, níquel, aluminio, carbono, algunos polímeros para la separación y una lata de sellado. Si compráramos todo en la Bolsa de Metales de Londres: ¿cuánto costaría cada una de ellas?

Serían unos 80 dólares por kilovatio hora. Así que está claro que se trata de pensar en maneras inteligentes de combinar esos materiales para producir y de esta forma obtener baterías que serán mucho más baratas de lo que cualquiera pensaría.

Este tipo de razonamientos ha permitido a Musk revolucionar la industria de pagos con PayPal, la industria de energía solar con SolarCity, la industria de coches eléctricos con Tesla Motors, la industria espacial con Space X, la industria del transporte con Hyperloop y los túneles con The Boring Company. Por si fuera poco, Musk trabaja actualmente para hacer lo mismo con las conexiones cerebro-ordenador a través de Neuralink, y con la inteligencia artificial amigable a través de su nueva iniciativa OpenAI (una nueva plataforma abierta para la inteligencia artificial^[191]).

Si nos centramos en los fundamentos básicos, veremos que el cuerpo humano no es tan complejo, y que podremos repararlo con nuevas tecnologías, tales como la nanotecnología. El cuerpo humano es, además, barato, y arreglar algo barato va a ser barato cuando sepamos hacerlo bien. No habrá sangrías ni quimioterapias ni radioterapias en el futuro. Hoy también sabemos que hay células y organismos que no envejecen, y esa es la prueba de concepto de que no envejecer es biológicamente posible, pues ya ocurre en la propia naturaleza. Ahora tenemos que entender y replicar el no envejecimiento a través de los fundamentos básicos.

Como explica el futurista estadounidense Ray Kurzweil, todas las tecnologías son caras y malas al principio, pero se abaratan y mejoran cuando se popularizan. Todos conocemos el ejemplo de los teléfonos móviles. Cuando salieron a la venta, los primeros modelos costaban miles de dólares, eran enormes, funcionaban mal, las baterías duraban muy poco y solo servían para hacer o recibir llamadas. Actualmente, gracias a la generalización de la tecnología, los teléfonos móviles son baratos y muy buenos, de hecho, hoy se les llama teléfonos inteligentes debido al sinnúmero de tareas que realizan a través de cada vez más y mejores aplicaciones, muchas de ellas gratuitas. Hoy todo el mundo, en todo el mundo, tiene un teléfono móvil si quiere.

A nivel biotecnológico, es todavía más impactante el caso de la secuenciación del genoma humano, que comenzó en el año 1990 y terminó en 2003. Es decir, secuenciar el primer genoma humano llevó 13 años, con un coste de cerca de 3 mil millones de dólares. En 2018, la secuencia completa del genoma cuesta menos de mil dólares y se hace en menos de un día. Es muy probable que en menos de una década se pueda secuenciar un genoma por tan solo diez dólares en un minuto. Seguramente

se desarrollen pronto dispositivos para secuenciar el genoma con una conexión a los teléfonos móviles inteligentes del futuro.

Otro ejemplo es el virus de la inmunodeficiencia humana (VIH), que llevó años identificar y que en su momento era considerado una «sentencia de muerte» al atacar directamente el sistema inmunológico de la persona infectada. Gracias a la aceleración de los cambios tecnológicos, Kurzweil enfatiza que^[192]:

El ritmo del cambio es exponencial, no lineal. Así que las cosas serán muy diferentes dentro de cincuenta años. Eso es maravilloso. Nos llevó 15 años secuenciar el VIH pero secuenciamos el SARS en 31 días.

Estamos doblando la capacidad de los ordenadores cada año por el mismo coste. En 25 años, serán mil millones de veces más poderosos que hoy. Al mismo tiempo estamos reduciendo el tamaño de toda la tecnología, electrónica y mecánica, por un factor de cien por década, es decir, cien mil en 25 años.

Llevó años identificar el VIH, llevó años secuenciar el virus, y llevó años desarrollar los primeros tratamientos. Las primeras terapias contra el VIH costaban millones de dólares al año, después se generalizaron rápidamente y bajaron a miles, y luego a cientos de dólares al año. En países como India hay tratamientos genéricos por solo decenas de dólares contra el VIH. Es posible que en pocos años dispongamos de terapias de tan solo unos dólares y después consigamos una cura definitiva. Hoy el VIH es una enfermedad crónica controlable, al igual que la diabetes.

Debemos proponernos lo mismo con el envejecimiento: convertirlo en una enfermedad crónica controlable, y más tarde, curarlo definitivamente. Gracias a los avances exponenciales es incluso posible que podamos curar el envejecimiento antes de que se convierta en una enfermedad crónica.

Es fundamental comenzar los ensayos humanos con las tecnologías de rejuvenecimiento que se han demostrado útiles en otros animales. Ese es uno de los objetivos del nuevo Proyecto 21 (Project 21) de la Fundación para la Investigación SENS^[193]:

Podemos poner fin a las enfermedades relacionadas con el envejecimiento. Las cargas sociales y económicas de las enfermedades relacionadas con la edad están aumentando drásticamente. Para un número creciente de personas mayores, la atención médica se reduce con demasiada frecuencia al control de crisis en la sala de urgencias, a tratamientos dolorosamente severos para enfermedades como el cáncer, o a los cuidados paliativos. No tiene por qué ser así.

Para curar el envejecimiento debemos focalizar las inversiones sobre las causas y así evitar los gastos sobre los síntomas. En una entrevista, el biogerontólogo inglés Aubrey de Grey comentaba que el 90% de las muertes y al menos el 80% de los costes médicos en Estados Unidos se deben al envejecimiento. Sin embargo, se dedica una ínfima cantidad de recursos contra ella, y es poco lo que pueden hacer por sí mismas fundaciones como SENS si no cuentan con más apoyo público o privado. A modo de ejemplo, comparemos los siguientes presupuestos^[194]:

Institutos Nacionales de la Salud: ~ 30 000 millones de dólares.

Instituto Nacional de Envejecimiento: ~ 1000 millones de dólares.

División de Biología del Envejecimiento: ~ 150 millones de dólares.

Fundación para la Investigación SENS: ~ 5 millones de dólares.

Nuevamente, recordemos que el gasto médico mundial está en el orden de los 7 billones de dólares al año, cada año, y subiendo. Lamentablemente, casi todo el gasto se destina a los últimos años de la vida, y sin mucho éxito, pues al final los pacientes mueren igualmente, muchas veces en condiciones trágicas. Tenemos que repensar todo el sistema de salud e invertir al comienzo, no gastar al final. Como dice el refrán: «más vale prevenir que curar».

Para avanzar en la dirección correcta también debemos cambiar nuestra propia mentalidad y aceptar la muerte como un terrible enemigo, el enemigo más grande de toda la humanidad, pero un enemigo al que podemos vencer. Si abandonamos el terror a la muerte y actuamos con cerebro y con corazón, entonces llegaremos a la muerte de la muerte.

6

El terror a la muerte

La figura de la muerte, en cualquier traje que venga, es espantosa.

MIGUEL DE CERVANTES, 1617

El hombre teme la muerte porque ama la vida.

FIÓDOR DOSTOIEVSKI, 1880

Todas las grandes verdades comienzan como blasfemias.

GEORGE BERNARD SHAW, 1919

No creo en una vida futura, aunque me llevo una muda de ropa interior.
No le tengo miedo a la muerte, simplemente no quiero estar allí cuando ocurra.

WOODY ALLEN, 1971-1975

La tecnología se está acelerando. Por tanto, las terapias para el rejuvenecimiento van a avanzar a pasos agigantados. Las oleadas de mejoras de las que disfrutó la sociedad a raíz de la Revolución Industrial —el crecimiento de la economía, la mejora educativa, el aumento de la movilidad, la mejora sanitaria, el aumento de las oportunidades— seguirán produciéndose a un ritmo todavía más rápido que antes. En múltiples sectores tecnológicos convergentes, cada vez más gente quiere y puede formar parte de actividades de investigación y desarrollo, una enorme red de trabajo que se expande por todo el mundo:

- Universidades y otras instituciones están formando más ingenieros, científicos, diseñadores, analistas, emprendedores y otros agentes de cambio que nunca en toda la historia.
- El acceso a material educativo online de alta calidad, a menudo gratis, significa que estos tecnólogos en ciernes comienzan desde un punto de partida mucho más avanzado que el de sus predecesores hace apenas unos años.
- Aquellos que están en las etapas tardías de sus vidas profesionales son capaces de incorporarse a nuevos campos fértiles; puede que al principio solo lo hagan «echando una ojeada» en su tiempo libre, sobre todo en el caso los que se hayan retirado o que hayan dejado de ser profesionalmente imprescindibles pero que todavía posean muchas capacidades útiles.

- Las conexiones entre investigadores a través de multitud de canales de comunicación online como wikis, bases de datos, enlaces de IA, y similares, hacen posible que investigadores brillantes puedan encontrar rápidamente líneas de análisis más prometedoras que tengan lugar en cualquier parte del mundo.
- El aumento de la importancia del *software* de código abierto y de distribución gratuita anima a una mayor participación.

Este efecto positivo en las redes de trabajo basado en el concurso de más gente, más formada, mejor conectada y que enriquece las soluciones a las que han llegado otros, hace que, de mantenerse estable el resto de parámetros, el ritmo de mejora tecnológica vaya a seguir aumentando sin parar. Es posible que los rápidos avances de las últimas décadas con las TIC (tecnologías de información y comunicación), *smartphones*, impresión 3D, ingeniería genética, escaneo del cerebro, etc., se correspondan con iguales (o mayores) avances en numerosos campos en las próximas décadas. Es especialmente relevante el hecho de que este patrón también sea aplicable a la innovación de los tratamientos médicos, sobre todo en lo que se refiere a la innovación para terapias de rejuvenecimiento o ingeniería del rejuvenecimiento.

Por otro lado, todavía existen muchos obstáculos importantes que dificultan el progreso médico, entre ellos los impedimentos legales y demás ejemplos de complejidad e inercia sistémica. Sin embargo, también hay un número sin precedentes de gente muy bien formada y capaz que ya está explorando posibles soluciones y alternativas a estos impedimentos. Guiados por la idea del «divide y vencerás», trabajan en la mejora de herramientas, módulos de prueba, metodologías, vías regulatorias alternativas, análisis de grandes bases de datos mediante IA y muchas otras cosas. Pueden producir de forma creativa sobre las aportaciones de los demás, y cuando alcanzan resultados, podrán unir sus esfuerzos a los de grandes empresas para dar a sus ideas el impulso adicional que necesiten.

Los primeros signos de éxito de la ingeniería del rejuvenecimiento ya los encontramos por cualquier parte. Ya no se puede despreciar (tal y como solían hacer ciertos críticos) como si se tratara de medicina milagrera o de pócimas mágicas. Un mundo de interesantes avances aguarda a ser descubierto mediante la investigación y el desarrollo. Algunas de estas líneas de investigación resultarán infructuosas, pero no hay razón para creer que este campo en su conjunto esté destinado al fracaso.

Bien al contrario, existen poderosas razones económicas para seguir adelante con el trabajo. Si el contexto no varía, la gente que se beneficie de la ingeniería del rejuvenecimiento contribuirá más a la economía y al crecimiento global del capital social. La sociedad en su conjunto tiene muchas razones económicas para acelerar la inversión en la ingeniería del rejuvenecimiento.

Si hay buenas razones financieras para hacer algo, la sociedad tiene que ser capaz de ponerse de acuerdo y decir: «sí, vamos a hacerlo». Pero eso no es en absoluto lo que ocurre con respecto a la ingeniería del rejuvenecimiento. Por el contrario, muchos sectores sociales se oponen a ella. Ha llegado el momento de escarbar más hondo hasta llegar a las raíces de dicha oposición.

Una variedad de objeciones

La gente suele oponerse por diferentes razones, aunque algunas de las objeciones más citadas son:

- ¿Cómo propone la ingeniería del rejuvenecimiento tratar las enfermedades incurables?
- Principios físicos como la entropía, ¿no hacen imposible la ingeniería del rejuvenecimiento?
- ¿No es el programa de la ingeniería del rejuvenecimiento tan intrínsecamente complicado que necesitará de siglos de trabajo?
- ¿Acaso no existen limitaciones naturales a la cantidad de tiempo que los humanos podemos vivir?
- ¿No desencadenaría la ingeniería del rejuvenecimiento una terrible explosión demográfica?
- ¿No supondrán los más longevos un freno a los necesarios cambios sociales?
- En ausencia del envejecimiento y de la muerte, ¿qué motivación tendrá la gente para emprender nuevos retos?
- ¿No se aprovecharán los ricos de la ingeniería del rejuvenecimiento de forma desproporcionada?
- ¿No es egocéntrico perseguir el éxito de la ingeniería del rejuvenecimiento?

Frente a todas esas preguntas y otras similares, en todos los casos, los ingenieros del rejuvenecimiento tienen buenas razones que oponer, basadas en evidencias científicas y en principios morales. No obstante, las respuestas, por sí mismas, parecen insuficientes a la hora de cambiar la mentalidad de los críticos y escépticos. Hay algo más profundo en dicho escepticismo.

Para entender lo que pasa debemos distinguir entre *motivaciones subyacentes* y

razonamientos propicios. El psicólogo estadounidense Jonathan Haidt expone en *La hipótesis de la felicidad* la poderosa metáfora del elefante y del jinete: la mente consciente es una especie de jinete montado a horcajadas sobre un poderoso elefante, el subconsciente. Haidt desarrolla esta analogía en el primer capítulo de su libro^[195]:

¿Por qué la gente sigue haciendo estupideces? ¿Por qué no se controlan y, por tanto, dejan de hacer lo que saben que es perjudicial para ellos? En mi caso, soy capaz de resistir fácilmente la tentación de los postres del menú. Pero si el postre ya está en la mesa, no me puedo resistir. Puedo decidir concentrarme en una tarea y no dejarla hasta que haya concluido, pero entonces me encuentro dando un paseo hasta la cocina y perdiendo el tiempo de diferentes maneras. Puedo tomar la decisión de levantarme a las seis de la mañana para escribir pero, tras haber apagado la alarma, las repetidas órdenes que me doy a mí mismo para levantarme de la cama no surten ningún efecto...

Empecé a darme cuenta del alcance de mi incapacidad para enfrentarme a las citas cuando me vi frente a decisiones vitales más importantes. Sabía exactamente lo que debía hacer y, sin embargo, incluso cuando les decía a mis amigos que lo haría, en el fondo una parte de mí sabía que no lo iba a hacer. Sentimiento de culpa, de codicia o de miedo se imponían a los razonamientos.

Las teorías actuales sobre elección racional y procesamiento de la información no explican satisfactoriamente la debilidad de la voluntad. Pero las antiguas metáforas sobre el control de los animales funcionan perfectamente. La imagen que me hice de mí mismo cuando me sorprendí por mi debilidad, fue la de un jinete a espaldas de un elefante. Llevo en las manos las riendas, y al tirar de ellas de una manera o de otra puedo decirle al elefante que tuerza, que se pare o que ande. Puedo dirigir las cosas, pero siempre y cuando el elefante no tenga voluntad propia. Si el elefante quiere hacer algo, no puedo hacer nada para evitar que lo haga.

El jinete puede creer que tiene el control, pero a menudo el elefante tiene sus propias ideas, sobre todo en lo que se refiere a gustos y a moralidad. En dichos casos, la mente consciente actúa más como un abogado que como un conductor. Tal y como dice Haidt a continuación:

El juicio moral es como el juicio estético. Cuando ves un cuadro, sueles saber al instante y automáticamente si te gusta. Si alguien te pregunta que justifiques tu juicio, dudas. En realidad, no sabes por qué algo te resulta bonito, pero tu módulo interpretativo (el jinete) es muy bueno a la hora de inventarse razones... Buscas una razón plausible para que te guste el cuadro y te agarras a la primera razón que tenga sentido (quizás alguna vaguedad sobre el color o la luz, o sobre el reflejo del pintor en la reluciente nariz del payaso). Los argumentos morales son muy parecidos: dos personas tienen ideas muy enraizadas sobre una cuestión, sus sentimientos son lo primero y crean sus razones en el momento para poder lanzárselas el uno al otro. Cuando refutamos a alguien su argumento, ¿suele cambiar de opinión y decir que está de acuerdo contigo? Por supuesto que no, ya que el argumento que has desbancado no era la causa de su opinión, sino que dicho argumento fue posterior al juicio.

Si prestas atención a los argumentos morales, a veces se escuchan cosas sorprendentes: he ahí el elefante tomando las riendas y guiando al jinete. Es el elefante el que decide lo que está bien y lo que está mal, lo que es bonito o feo. Los sentimientos viscerales, las intuiciones y los juicios precipitados se producen todo el tiempo y automáticamente... pero solo el jinete puede concatenar las frases y crear argumentos que puedan esgrimirse ante otros. En los argumentos morales, el jinete es más que un mero asesor del elefante, el jinete se convierte en un abogado que lucha en la corte de la opinión pública para persuadir a los demás de que el elefante tiene razón.

Haidt escribiría más adelante *La mente justa*, basado en la metáfora del jinete y el elefante, con la idea de proponer un principio fundamental de la psicología moral: primero se producen las intuiciones y después viene el razonamiento estratégico^[196]:

Las intuiciones morales surgen automáticamente y casi instantáneamente, mucho antes de que el razonamiento moral haya tenido oportunidad de emerger, y son esas primeras intuiciones las que tienden a dirigir nuestros razonamientos posteriores. Si usted cree que el razonamiento moral es algo que realizamos para encontrar la verdad, se verá constantemente frustrado por lo necia, sesgada e ilógica que se vuelve la gente cuando no está de acuerdo con usted. Pero si se toma el razonamiento moral como una capacidad que hemos desarrollado los humanos para justificar nuestros intereses sociales —para justificar nuestras propias acciones y defender a los grupos a los que pertenecemos— entonces las cosas cobrarán mucho más sentido. Preste atención a las intuiciones y no se tome los argumentos morales de los demás al pie de la letra. En su mayor parte son construcciones *post-hoc* hechas en el momento, diseñadas interesadamente para conseguir uno o más objetivos estratégicos.

Lo que nos indica la metáfora central es que *la mente está dividida, igual que un jinete en un elefante, y que la labor del jinete es servir al elefante*. El jinete es nuestra razón consciente, la corriente de palabras e imágenes que recorren el escenario de nuestra percepción consciente. El elefante es el otro 99% de los procesos mentales, aquellos que ocurren fuera de la percepción consciente pero que realmente rigen la mayor parte de nuestro comportamiento.

El mayor reto al que se enfrenta la ingeniería del rejuvenecimiento no es el conjunto de razonamientos propicios que los críticos esgrimen como razones para oponerse al proyecto. Por el contrario, la motivación subyacente es la que es necesario afinar urgentemente, pues es ella la que dirige las críticas, a menudo sin que los críticos sean conscientes de ello. No es el jinete con quien tenemos que discutir, más bien debemos encontrar la manera de cautivar al elefante.

La muerte y el terror

Un hecho fundamental que se da en los animales es que pueden experimentar terror. Al enfrentarse a una amenaza real de muerte, el metabolismo de los animales aumenta. Las glándulas producen las hormonas de la adrenalina y del cortisol, que aceleran el corazón, dilatan las pupilas de los ojos para obtener más información sobre el acechante peligro, e incrementan el flujo sanguíneo hacia los músculos y los pulmones para prepararse ante una acción violenta. Los animales están preparados para luchar o huir. Para que la máxima cantidad de energía posible esté disponible ante una acción urgente encaminada a la supervivencia, el resto de los procesos corporales, incluida la digestión de alimentos, se ralentizan. Se reduce la visión periférica, de manera que el animal pueda concentrarse mejor en la amenaza inmediata. También se produce una pérdida de audición.

El terror es un estado de vital importancia cuando los animales se enfrentan a una amenaza mortal inminente. En dicho estado, el cuerpo se optimiza para sobrevivir al reto. Sin embargo, dicho estado está lejos de ser óptimo para la existencia a largo plazo. Por el contrario, si se entra en pánico, la atención se reduce, los patrones de pensamiento se estrechan, la digestión se resiente y el cuerpo puede caer víctima de convulsiones y temblores. Es posible que la emanación incontrolada

del contenido de la vejiga y del esfínter reporte el beneficio de espantar y asquear a posibles atacantes, pero no contribuye a una vida social sana.

La capacidad humana de anticiparse con claridad a la muerte, es decir, antes de encontrarse ante un peligro inminente, representa un problema para la gestión del subsistema corporal que controla la sensación de terror. Si el pensamiento de la muerte se convierte en dominante, los procesos normales se vuelven imposibles. Peor aún, otro aspecto de la psicología animal es que el terror es contagioso: si dentro de un grupo un animal ha detectado a un depredador cerca, el grupo entero puede reaccionar de forma rápida y decidida. De igual manera, si un humano cae presa del pánico, el estado de ánimo del grupo puede contagiarse rápidamente, incluso en ausencia de una causa objetiva para dicho pánico.

Por tanto, la gestión del terror es un asunto esencial en las sociedades humanas. Ha sido así desde la prehistoria, cuando los humanos empezamos a adquirir las capacidades de consciencia, planificación y reflexión introspectiva. Al observar el aumento de la fragilidad de individuos del grupo que, en el pasado, habían disfrutado de un estupendo y saludable estado de forma, los primeros humanos debieron de sentirse impactados ante la idea de que un declive similar los esperaba a ellos y a todos a los que amaban y apreciaban. En otras palabras, el terror mortal pasó de ser un estado coyuntural necesario para la supervivencia individual a ser algo que podía surgir en la mente en cualquier momento, sin necesidad de una amenaza externa, algo que puede hacernos presa del pánico y paralizarnos.

Es más, la anticipación consciente de la muerte a causa de amenazas como los depredadores o grupos rivales de humanos hizo que, en condiciones normales, desarrolláramos una profunda animadversión al riesgo. Comportamientos que reducen el riesgo a corto plazo, tales como mantenerse escondido en las profundidades de una caverna, es probable que no sean los más indicados para propiciar el progreso del grupo a largo plazo.

Por esa razón podemos especular con fundamento que los grupos de humanos que sobrevivieron con éxito fueron aquellos que desarrollaron herramientas sociales y psicológicas que les permitieron gestionar el terror ante la perspectiva de la muerte, un terror que de otra manera habría inhabilitado al grupo entero. De varias maneras, estas herramientas contrarrestaban el espanto representado por la amenaza de la muerte. Entre estas herramientas están la mitología, el tribalismo, la religión, los trances extáticos y el *aparente* contacto con los espíritus. En épocas más recientes, estas herramientas también incorporaron tradiciones culturales y patrones de pensamiento que ofrecían diferentes tipos de transcendencia tras la muerte física a través de la supervivencia de nuestro legado o de la de un grupo más amplio del que formamos parte. Estos patrones de pensamiento van unidos a elementos pertenecientes a nuestra filosofía social, es decir, a la manera en la que concebimos quiénes somos, qué papel jugamos en nuestra sociedad y cómo nuestra sociedad encaja en un cosmos más amplio.

De manera que nuestra filosofía social proporciona un elemento importante de estabilidad mental contra el siempre acechante miedo a la muerte. Pero esto significa que cualquier cosa que cuestione nuestra filosofía social, cualquier cosa que sugiera que contiene defectos importantes, es en sí misma una amenaza para nuestro bienestar mental. Al percatarse de ello, nuestro elefante interior puede volverse loco y empujarnos a todo tipo de comportamientos irracionales, comportamientos que entonces nuestro abogado/jinete interior se apresura a racionalizar. Esta teoría fue popularizada por el filósofo estadounidense Ernest Becker en su libro *La negación de la muerte*, premio Pulitzer en 1973^[197].

Más allá de la negación de la muerte

Al comienzo de *La negación de la muerte*, Becker escribió:

La perspectiva de la muerte, dijo el doctor Johnson, hace que la mente se concentre de una manera extraordinaria. La tesis principal de este libro es que, además, consigue otras muchas cosas: la idea de la muerte, el miedo que despierta, obsesiona a los humanos más que cualquier otra cosa; es un impulso primario de la actividad humana, una actividad diseñada sobre todo para evitar la fatalidad de la muerte, para superarla negando de alguna manera que sea el destino final del hombre.

Sam Keen, redactor colaborador de la revista *Psychology Today*, escribió el prólogo de *La negación de la muerte*, donde describe la filosofía de Becker como «un tejido trenzado a partir de cuatro hebras». La tesis de Becker resulta arrolladora. Se encuadra dentro del puñado de ideas que intentan demostrar que la historia humana ha sido moldeada por fuerzas que, a menudo, preferimos ignorar:

- Galileo defendió que la Tierra no es el centro del universo sino un pequeño planeta más.
- Darwin mostró que los humanos no descendemos de dioses sino de otros simios inferiores.
- Marx enfatizó el papel de la lucha de clases y de la alienación social.
- Freud puso de relieve la sexualidad reprimida y los complejos más tempranos.
- Becker explicó nuestra inclinación a negar la realidad de la muerte.

Al igual que pasa con todas las grandes teorías de esta índole, la tesis de Becker despierta críticas que se cuestionan: ¿dónde están las pruebas? Por desgracia, tampoco el propio Becker fue capaz de responder satisfactoriamente a dichas críticas

ya que murió de cáncer de colon antes de que se publicase *La negación de la muerte*. Sam Keen incluye en su prólogo un relato conmovedor de su primer encuentro con un Becker que estaba ya a las puertas de la muerte:

Las primeras palabras que me dijo Ernest Becker cuando entré en su habitación del hospital fueron: «Me encuentras *in extremis*. Esto es una prueba para todo lo que he escrito sobre la muerte. Estoy ante la oportunidad de mostrar cómo morimos, cómo reaccionamos. Si uno muere de forma digna y valiente, qué pensamientos nos rondan, cómo se acepta la propia muerte...».

Aunque era la primera vez que nos veíamos y hablábamos, Ernest y yo no tardamos en entablar una profunda conversación. La cercanía de su muerte y las estrictas limitaciones de su energía disiparon cualquier intención de conversar sobre temas vacuos. Hablamos de la muerte encarando la muerte, de la maldad en presencia del cáncer. Al terminar el día a Ernest ya no le quedaban más fuerzas, así que el tiempo se había acabado. Durante unos minutos me resistí aparatosamente a despedirme, ya que decir «adiós» por última vez es duro y ambos sabíamos que no viviría para ver nuestra conversación impresa. Un vaso de cartón con jerez medicinal en la mesilla de noche sirvió de piadoso ritual de despedida. Nos bebimos juntos el vino y me fui.

Otros investigadores han envuelto las palabras Becker con resultados empíricos que refuerzan su teoría, evidencias que provienen de un campo al que a veces se le llama «psicología existencial experimental». Los psicólogos sociales estadounidenses Jeff Greenberg, Tom Pyszczynski y Sheldon Solomon, resumieron exhaustivamente este nuevo trabajo en el libro de 2015 *El gusano en el corazón*^[198].

La frase que da título al libro proviene de un extracto sacado de *Las variedades de experiencia religiosa: un estudio de la naturaleza humana*, escrito en 1902 por el filósofo William James. Los autores elogian este extracto y comentan^[199]:

Ya hay pruebas convincentes de que, tal y como sugirió William James hace un siglo, la muerte es en realidad el gusano en el corazón de la condición humana. La conciencia de que los humanos estamos destinados a morir tiene un efecto profundo y penetrante en nuestros pensamientos, sentimientos y comportamientos, así como en casi todos los ámbitos de la vida humana, seamos conscientes de ello o no.

A lo largo de la historia humana, el terror a la muerte ha condicionado el desarrollo del arte, la religión, el lenguaje, la economía y la ciencia. Hizo que se erigieran las pirámides de Egipto y que destruyeran las Torres Gemelas de Manhattan. Ha alimentado conflictos en todo el mundo. En un nivel más personal, el reconocimiento de nuestra propia mortalidad nos lleva a desear coches lujosos, a broncearnos hasta convertirnos en una costra insana, a rebasar el límite de nuestras tarjetas de crédito, a pelearnos con alguien a quien consideramos enemigo, a luchar por la fama, por efímera que sea o por mucho que implique beber orina de yak en un programa de *Supervivientes* en televisión.

La teoría de la gestión del terror

Greenberg, Pyszczynski y Solomon han acuñado el acrónimo TMT como abreviatura de teoría de la gestión del terror, basado en las ideas de Ernest Becker. La página web de la Fundación Ernest Becker describe la TMT^[200]:

La TMT presupone que, aunque los humanos compartimos una predisposición biológica con todas las formas vivas hacia la autopreservación para favorecer la reproducción, somos los únicos que tenemos la capacidad de pensar simbólicamente, lo que da lugar a la autoconciencia y a la capacidad de reflexionar

sobre el pasado y ponderar el futuro. Esto engendra la toma de conciencia sobre la inevitabilidad de la muerte y sobre el hecho de que puede acaecernos en cualquier momento por razones que no pueden anticiparse ni controlarse.

La toma de conciencia de la muerte puede producir un terror debilitante que es «gestionado» por el desarrollo y el mantenimiento de las cosmovisiones culturales: creencias que los humanos nos fabricamos sobre la realidad y que compartimos con otros para minimizar el terror existencial otorgando significado y valor a las cosas. Las culturas sostienen que la vida tiene sentido creando un relato sobre el origen del universo, normas para hacer lo correcto y la afirmación de la inmortalidad de aquellos que se comporten de acuerdo con los dictados culturales. La inmortalidad literal se logra mediante almas, paraísos, otras vidas y reencarnaciones asociadas a todas las principales religiones. La inmortalidad simbólica se obtiene formando parte de una gran nación, amasando grandes fortunas, mediante logros importantes y teniendo descendencia.

El equilibrio psicológico también hace que los individuos necesiten percibirse a sí mismos como personas valiosas en un mundo dotado de significado. Algo que se consigue a través de roles sociales con estándares de logros y comportamientos asociados. La autoestima es el sentimiento de importancia personal que surge de cumplir o superar dichos estándares.

La página web de la Fundación también resume tres líneas de resultados empíricos que apoyan la TMT:

1. La función amortiguadora de la ansiedad que lleva a cabo la autoestima ha sido demostrada por estudios en los que una autoestima momentáneamente elevada da como resultado un autodiagnóstico más bajo de la ansiedad y de la agitación psicológica.
2. El énfasis en la muerte conseguido pidiendo a gente que se imagine muriéndose (o que mire imágenes de muertos, entrevistándola frente a una funeraria o exponiéndola subliminalmente a la palabra «muerto» o «muerte») intensifica sus esfuerzos por defender sus cosmovisiones culturales, ya que aumenta las reacciones positivas frente a sus semejantes y las reacciones negativas ante los diferentes.
3. La investigación confirma la función existencial de las cosmovisiones culturales y de la autoestima, ya que demuestra que los pensamientos no conscientes sobre la muerte acuden más fácilmente a la mente cuando creencias culturales importantes o la autoestima se ven amenazadas.

La TMT ha generado estudios empíricos (más de quinientos hasta la fecha) que han examinado diferentes formas de comportamiento social en humanos, incluidas las agresiones, los estereotipos, la necesidad de estructura y de significado, la depresión y las psicopatologías, las preferencias políticas, la creatividad, la sexualidad, el apego romántico e interpersonal, la autoconciencia, la cognición inconsciente, el martirio, la religión, la identificación con un grupo, el disgusto, las relaciones de naturaleza humana, la salud física, la asunción de riesgos y los juicios legales.

Existen raíces profundas que explican la oposición que tantos muestran ante la

idea de extender la esperanza de vida saludable. La gente suele hacer razonamientos intelectuales para justificar su oposición. Por ejemplo, algunos se preguntan: ¿cómo haría frente la humanidad a las decenas de millones de ancianos gruñones? Pero estas racionalizaciones no son las que realmente conforman la posición de los contrarios a la extensión de la vida.

Su oposición a la extensión de la esperanza de vida saludable proviene de lo que podríamos llamar fe. Pyszczynski explicó esta actitud en una conferencia en la Fundación para la Investigación SENS en Cambridge, el Reino Unido: «Comprender la paradoja de la oposición a la extensión radical de la esperanza de vida humana: miedo a la muerte, cosmovisiones culturales e ilusión de objetividad^[201]».

La paradoja de la oposición a la extensión de la esperanza de vida

He aquí la «paradoja» a la que Pyszczynski hace referencia en el título de su charla: nadie quiere morir, pero mucha gente se opone a la extensión radical de la esperanza de vida humana mediante la reversión del proceso de envejecimiento. La explicación que ofrece Pyszczynski defiende que aquello que hace a la gente oponerse a la idea de vivir vidas más largas y saludables es la activación de un arraigado «sistema de amortiguación de la ansiedad», una mezcla de cultura y filosofía. En su origen, este sistema de amortiguación de la ansiedad fue una respuesta adaptativa ante el perturbador hecho de que algo que deseamos con todas nuestras fuerzas —una esperanza de vida saludable indefinidamente larga— fuera inalcanzable.

Durante toda nuestra historia y hasta el día de hoy, la aspiración de disfrutar esperanzas de vida saludables indefinidamente largas ha sido algo en profunda contradicción con todo aquello que nos rodea. La muerte parecía inevitable. Para reducir el riesgo de que esta constatación nos paralizara, desarrollamos racionalizaciones y técnicas que nos impidieran pensar contraproducentemente sobre nuestra propia finitud y mortalidad. Es ahí donde emerge la inercia básica de nuestra cultura a crear y sostener nuestro complejo sistema de amortiguación de la ansiedad. Al solventar una importante necesidad social, interiorizamos profundamente estos aspectos de nuestra cultura.

Nuestra cultura opera a menudo por debajo del nivel de la consciencia. Numerosas creencias ocultas nos dirigen sin que seamos conscientes de las causas y los efectos que conllevan. En estas creencias encontramos consuelo, sobre todo cuando «otros como nosotros» también abrazan estas creencias, ya que eso nos proporciona una sensación de aprobación social. Esta fe (la creencia pese a la ausencia de una razón suficiente) nos ayuda a mantener la cordura y mantiene la cohesión social, incluso cuando, como individuos, nos produzca una mayor debilidad

y, finalmente, la muerte.

Por ser claros, la «fe» tal y como se describe aquí, es decir, como algo intrínseco al paradigma que nos lleva a aceptar el envejecimiento, puede o no conllevar a que alguien crea en una «vida después de la muerte» a nivel sobrenatural, tal y como la describen muchas religiones. No obstante, en todos los casos la fe conlleva la creencia de que el buen ciudadano debería aceptar la muerte cuando llegue su hora, dado que la sociedad no podría funcionar adecuadamente si ignorara este principio, y que el significado fundamental de la vida es indisociable del florecimiento a largo plazo de la sociedad o de la tradición a la que se pertenezca.

En el caso de que nuevas ideas confrontaran esta fe, los creyentes suelen sentirse obligados a fustigar dichas ideas sin detenerse a analizarlas. Buscan preservar el núcleo de su cultura y de su fe, ya que esta conforma los cimientos que dan sentido a sus vidas. Combaten las nuevas ideas incluso en el caso de que representaran una mejor respuesta para su deseo ancestral de vivir una vida saludable indefinidamente larga. Como algunos dicen: «Más vale malo conocido que bueno por conocer». Paradójicamente, es su miedo a la muerte lo que les hace ofenderse ante ideas contrarias. Estas ideas generan dinámicas de alienación aunque la gente no sea consciente de ello. Su fe debilita a nuestros ojos su racionalidad.

Otra buena metáfora sugerida por Pyszczynski es la que nos invita a ver nuestro sistema de amortiguación de la ansiedad como un sistema inmunológico psicológico que busca destruir ideas externas que podrían generarnos ansiedad mental. Al igual que nuestro sistema inmunológico físico, nuestro sistema inmunológico psicológico a veces funciona mal y ataca cosas que mejorarían nuestra salud.

Aubrey de Grey también ha escrito sobre ello. En el segundo capítulo de *El fin del envejecimiento* señala lo siguiente^[202]:

Hay una razón muy sencilla por la cual la gente defiende el envejecimiento con tanta fuerza; una razón que ya no es válida pero que hasta hace más bien poco tiempo era del todo razonable. Hasta hace poco, nadie tenía una idea coherente sobre cómo vencer al envejecimiento, de tal forma que este ha sido, en efecto, inevitable. Cuando uno se enfrenta a un destino tan aterrador como el envejecimiento frente al que no hay nada que uno pueda hacer, ya sea en lo que respecta a uno mismo o en lo que respecta a otros, tiene perfecto sentido psicológico que lo apartemos de la mente para estar en paz con esta tragedia, por así decirlo, en vez de pasarnos la triste y corta vida preocupándonos por ello. Que para mantener este estado mental tengamos que renunciar al pensamiento racional respecto al tema e, inevitablemente, tomemos parte en conversaciones irracionales y embarazosas sobre formas de apuntalar esa irracionalidad, es el precio a pagar.

En dicho texto, de Grey se refiere al «trance proenvejecimiento» basándose en lo que describe como «la profundidad de la irracionalidad exhibida por tantos^[203]». Otros autores se refieren al mismo fenómeno mediante el concepto de «mortalismo». La página web Fight Aging! ha publicado lo que han denominado «Preguntas frecuentes antimortalistas^[204]». Nosotros preferimos utilizar términos como «paradigma de aceptación del envejecimiento» por su menor carga peyorativa, que puede ayudar a rebajar la tensión de una discusión ya de por sí bastante caldeada.

Cómo enfrentarse al elefante

Retomemos el excelente consejo de Jonathan Haidt respecto al cambio de dirección del elefante que representan nuestras inclinaciones subconscientes. Si nos damos cuenta de que estas inclinaciones no son racionales, como es el caso de la aceptación del paradigma del envejecimiento, ¿qué podemos hacer para cambiarlas? A continuación citamos un pasaje de «La Regla del Elefante», capítulo incluido en *La mente justa*^[205]:

El elefante es mucho más poderoso que el jinete, pero no es un dictador con poderes absolutos. ¿Cuándo atiende el elefante a la razón? La mejor manera de cambiar nuestra forma de pensar sobre cuestiones morales es interactuar con los demás. Se nos da muy mal encontrar pruebas que refuten nuestras propias creencias, pero son los demás quienes cubren esta flaqueza, de la misma forma que a nosotros se nos da muy bien encontrar errores en las creencias ajenas. Cuando las discusiones son hostiles, las probabilidades de cambio son escasas. El elefante se aleja del oponente y el jinete trata de rebatir los embates del oponente de forma frenética. Pero si lo que hay es afecto, admiración o deseo por contentar al otro, entonces el elefante se inclina y el jinete trata de hallar la verdad que se halla en los argumentos del otro. Es posible que, a menudo, el elefante no cambie su dirección en respuesta a las objeciones expresadas por su propio jinete, pero será fácilmente atraído por la mera presencia de elefantes amigables o por buenos argumentos lanzados por los jinetes de esos elefantes amigables...

En circunstancias normales, el jinete del elefante obedecerá, de la misma forma que un abogado sigue las instrucciones procedentes de un cliente. Pero si obligas a que ambos se sienten y charlen durante unos minutos, el elefante se abrirá al consejo del jinete y a los argumentos procedentes de fuentes externas. Lo primero son las intuiciones, y en circunstancias normales nos hacen llevar a cabo razonamientos estratégicos desde un punto de vista social, pero hay maneras de hacer que esta relación se parezca a una calle con más de dos direcciones...

El elefante (los procesos automáticos) representa el lugar donde se desarrolla la mayor parte de la acción tratada por la psicología moral. El razonamiento es importante, por supuesto, sobre todo entre personas y cuando las razones desencadenan nuevas intuiciones. Los elefantes mandan, pero no son ni tontos ni despóticos. Las intuiciones pueden ser modeladas por el razonamiento, sobre todo cuando las razones forman parte de una conversación amistosa o de una novela, una película o una noticia emotiva.

Esto nos proporciona tres maneras de hacer que el elefante cambie de opinión sobre una cuestión tan controvertida como, sin duda, lo es la cuestión de si la esperanza de vida saludable es un objetivo deseable. Es más probable que la gente acepte consejos sobre cuestiones sensibles si dichos consejos:

1. Proviene de alguien a quien perciben como «uno de los nuestros», es decir, un amigo, alguien con un origen demográfico similar, no un completo extraño.
2. Si vienen apoyados por «una novela, una película o una noticia emotiva».
3. Se dan en un contexto en el que el elefante sienta que sus propias necesidades son genuinamente comprendidas y apoyadas.

La primera de estas condiciones coincide con un principio, bien conocido del *marketing* tecnológico, que dice que las empresas necesitan cambiar su estrategia de ventas para «cruzar el abismo» que separa a los usuarios pioneros de una tecnología del mercado mayoritario, compuesto por una «mayoría pionera». El autor estadounidense Geoffrey Moore llamó en 1991 la atención sobre esta idea en *Cruzar el abismo*^[206]. A su vez, las ideas de Moore se basan en las jugosas observaciones hechas por Everett Walker en su trabajo de 1962 *La difusión de la innovación*^[207]. El enfoque básico se puede resumir así: mientras los pioneros de una idea nueva están listos para hacer de visionarios, el acceso al mercado en un sentido amplio está controlado por gente pragmática a la que un fuerte instinto le sugiere «permanecer con la manada». Por lo general, solo adoptarán una solución (o idea) si ven que otros en su «manada» ya la han adoptado y la defienden públicamente.

Esto tiene importantes consecuencias. Los defensores y los discursos que tuvieron éxito a la hora de conseguir formar una comunidad inicial de seguidores en pro de una nueva causa —como es el caso del paradigma que anticipa el rejuvenecimiento— suelen cambiar para que la corriente principal esté lista a sumarse a esa nueva causa. Por ejemplo, el discurso sobre el antienvjecimiento y la inmortalidad, que atrajo a los seguidores pioneros de la ingeniería del rejuvenecimiento, puede ser contraproducente a la hora de conseguir un conjunto más amplio de seguidores. Gente que podría apoyar el dividendo de la longevidad podría a su vez sentir rechazo por el discurso sobre la muerte de la muerte.

La antropóloga australiana Mair Underwood, de la Universidad de Queensland, abordó las mencionadas condiciones segunda y tercera durante una conferencia de la Fundación de Investigación SENS. Underwood hizo una reflexión general y se preguntó: «¿Qué tipo de información necesita una comunidad respecto a la extensión de la vida? Datos extraídos de estudios sobre la reacción de las comunidades y un análisis de arquetipos cinematográficos^[208]».

Underwood ha estudiado muchas de las maneras en las que el cine refleja a los aspirantes a ingenieros del rejuvenecimiento en películas populares como *La fuente de la vida*, *La muerte os sienta tan bien*, *Los inmortales*, *Entrevista con el vampiro*, *Vanilla Sky*, *Dorian Gray*, etc. Estas películas dan a entender que los ingenieros del rejuvenecimiento son emocionalmente inmaduros, egoístas, imprudentes, molestos, gente de mente estrecha y, por lo general, desagradable. Los héroes de estas películas —los personajes tranquilos, racionales, loables y mentalmente sanos— son aquellos que eligen voluntariamente *no* extender sus vidas.

Las películas con un mensaje positivo sobre la extensión de la vida son mucho menos habituales. *Cocoon*, dirigida por el actor y productor estadounidense Ron Howard, es quizás el mejor ejemplo. No cabe duda de que una de las razones por las que los estereotipos negativos prevalecen en las películas populares es que la distopía

suele vender más que la utopía. Sin embargo, los estereotipos de Hollywood extraen su fuerza de normas culturales preexistentes. Por tanto, estas películas reflejan y magnifican puntos de vista sobre la extensión de la vida que ya están ampliamente presentes entre el público en general. Estos puntos de vista negativos son:

- La extensión de la vida sería aburrida y repetitiva.
- Las relaciones se resentirían a largo plazo.
- La extensión de la vida también significa la extensión de enfermedades crónicas.
- La extensión de la vida se distribuiría de forma injusta.

Para contrarrestar estos puntos de vista negativos y ayudar a la sociedad a liberarse del paradigma de aceptación del envejecimiento, Underwood sugiere los siguientes consejos para la comunidad de ingenieros del rejuvenecimiento y pioneros del antienviejecimiento:

1. Evitar regañar al público general por ser «increíblemente estúpido» en lo que respecta a la extensión de la vida.
2. Ratificar que la ciencia de la extensión de la vida y la distribución de las tecnologías de la extensión de la vida son éticas y están sujetas a regulaciones, y que es así como hay que considerarlas.
3. Mitigar las preocupaciones de la comunidad sobre si la extensión de la vida es «antinatural» o «jugar a ser dios».
4. Afirmar que la extensión de la vida conllevaría una extensión de la vida saludable.
5. Confirmar que la extensión de la vida no supone pérdida de vida sexual o de fertilidad.
6. Reafirmar que la extensión de la vida no exacerbaría las divisiones sociales y que aquellos que extiendan sus vidas no serán un lastre para la sociedad.
7. Crear un nuevo marco cultural para la comprensión de la extensión de la vida.

En todo momento hemos intentado seguir dichos consejos durante la redacción de este libro. Debemos transmitir visiones positivas sobre el tipo de sociedad que puede surgir del despertar de la ingeniería del rejuvenecimiento: un nuevo marco cultural para comprender no solo la extensión de la vida, sino también la expansión de la vida. Para avanzar hacia la muerte de la muerte, primero tenemos que dejar atrás

el propio terror a la muerte.

Paradigmas «buenos», «malos» y «expertos»

Pienso vivir para siempre, o morir intentándolo.

Groucho Marx, 1960

¿Por qué nací, si no fue para siempre?

EUGÈNE IONESCO, 1962

En los debates en los que ambas partes tienen planteamientos mentales y sociales muy enraizados, puede ser difícil cambiar opiniones. Ese es claramente el caso en el debate sobre si hay que aceptar la inevitabilidad del envejecimiento o si, por el contrario, hay que abrazar la posibilidad de crear una sociedad sin envejecimiento. No obstante, podemos albergar ciertas esperanzas —y aprender algunas lecciones— a partir de ejemplos basados en debates similares, también aparentemente irresolubles, pero que, al final, fueron superados.

Ilusiones ópticas y paradigmas mentales

Todos estamos familiarizados con las ilusiones ópticas que pueden ser percibidas de dos formas diferentes. Por ejemplo, un dibujo puede ser un pato o un conejo dependiendo de cómo lo miremos^[209]. Otros dibujos pueden representar un jarrón o dos caras mirándose^[210]. Incluso algunos dibujos, además en movimiento, pueden ser vistos como una bailarina que gira en la dirección de las manillas del reloj o como la misma bailarina girando en dirección opuesta a las manillas del reloj, lo cual resulta bastante inquietante^[211]. En todos estos ejemplos es imposible aceptar ambos puntos de vista al mismo tiempo. Nuestros cerebros pueden saltar de una perspectiva a otra, pero no pueden captar ambas posiciones a la vez.

Algo parecido sucede con el progreso de la ciencia, aunque en este caso el esfuerzo por desplazarse de una perspectiva a otra puede ser todavía más difícil. Aquí las dos perspectivas en conflicto son dos teorías científicas diferentes dentro de un campo del conocimiento determinado. Por ejemplo, consideremos el enfrentamiento del siglo XVI entre el principio aristotélico imperante que sostenía que los cuerpos tendían al reposo y la idea nueva defendida por Galileo de que el estado natural de los cuerpos era mantener su movimiento en línea recta y a velocidad constante. O consideremos el choque en el siglo XX entre la otrora dominante teoría de que los

continentes siempre habían estado fijos en su lugar actual y la nueva teoría de que Sudamérica y África estuvieron un día unidas en un solo continente y que luego ese supercontinente se dividió y los dos continentes se alejaron.

Dentro de poco vamos a presenciar ejemplos de choques entre paradigmas científicos dentro del campo de la medicina. Consideremos también el conflicto entre el paradigma de «aceptación del envejecimiento» y el paradigma rival de «anticipación del rejuvenecimiento». Primero vamos a estudiar más detenidamente el intrigante e ilustrativo caso de la teoría de la deriva continental. La hostilidad mostrada por los geólogos de la mentalidad imperante contra la teoría «demasiado grande, demasiado unificadora y demasiado ambiciosa» de la deriva continental parecía en aquel entonces más que justificada. Este hecho debería dar una razón a los actuales críticos del rejuvenecimiento para detenerse un momento y reflexionar antes de rechazar dicha teoría como «imposible».

Hostilidad científica de los «expertos»

¿Qué niño que haya crecido en el siglo xx, al mirar un mapamundi, no se ha preguntado sobre la similitud que hay entre la costa de Sudamérica y la de África? ¿Es posible que estos dos continentes gigantescos formaran parte un día de un todo todavía más grande y que de alguna manera se separaran? Con esa misma ingenuidad se podría sonreír al pensar que, de forma similar, la costa Este de Norteamérica encaja más o menos con las costas del norte de África y de Europa. ¿Es esto producto de una coincidencia o indica algo más profundo?

Los geólogos de la corriente principal hasta inicios del siglo xx se resistían a aceptar la segunda posibilidad. Para ellos, la Tierra era algo fijo y sólido. Ideas que defendieran lo contrario podían ser mantenidas por ingenuos niños de escuela, pero según ellos no podían ser defendidas por científicos serios.

Incluso cuando académicos como el meteorólogo alemán Alfred Wegener (a partir de 1912) y el geólogo sudafricano Alexander du Toit (a partir de 1937) reunieron más datos que apoyaban la idea de que los continentes debieron separarse a partir de una prehistórica masa unificada, la ortodoxia ignoró las evidencias. Wegener y Du Toit señalaron las sorprendentes similitudes de los fósiles, la flora y la fauna repartidos por los bordes de los continentes que ahora estaban muy separados, pero que (según ellos) tuvieron que estar juntos en tiempos pasados. Además, incluso los estratos geológicos en los bordes de dichos continentes eran sorprendentemente coincidentes. Por ejemplo, piedras en partes de Irlanda y Escocia son muy similares a las de Nueva Brunswick y Terranova en Canadá.

Pero Wegener era un «outsider». Se doctoró en Astronomía y se dedicó a la meteorología (la predicción del tiempo atmosférico). Su formación no era la de un

especialista en geología. ¿Quién era él para contradecir el pensamiento convencional? De hecho, su puesto como asesor en la Universidad de Marburgo en Alemania no era remunerado, y esto era considerado como otro signo de su falta de autoridad. Los detractores de Wegener pudieron criticarle muchas cosas:

- Recortes reproducidos en cartón de los bordes de los continentes mostraban que la supuesta coincidencia no era precisa; la coincidencia no resultaba en absoluto tan aparente como en un primer vistazo.
- La formación de Wegener como explorador del Ártico y experto en altos vuelos en globo despertaba las burlas que le tildaban de «apestado vagabundo del polo» y «difusor de enfermedades contagiosas».
- No había un mecanismo claro para explicar cómo los continentes pudieron separarse teniendo en cuenta que la Tierra era considerada como algo absolutamente sólido.

En 1926, el geólogo estadounidense Rollin Chamberlin, un «experto ortodoxo» de la Universidad de Chicago, dijo a gritos durante una reunión de la Asociación Americana de Geólogos del Petróleo en Nueva York que^[212]:

Si nos creyéramos la hipótesis de Wegener, deberíamos olvidarnos de todo lo aprendido en los últimos setenta años y empezar de nuevo.

En la misma reunión, el también geólogo estadounidense Chester Longwell, otro «experto ortodoxo» de la Universidad de Yale, exclamó que:

Insistimos en la necesidad de comprobar con excepcional rigurosidad esta hipótesis, ya que su aceptación significaría descartar teorías sostenidas durante tanto tiempo que casi se han convertido en parte integrante de nuestra ciencia.

El escritor estadounidense Richard Conniff, en un artículo de la revista científica *Smithsonian Magazine* titulado «Cuando la deriva continental era considerada pseudocientífica» escribió que, durante décadas^[213]:

Los geólogos más veteranos advirtieron a los recién llegados que cualquier viso de interés en la deriva continental condenaría sus carreras al fracaso.

El eminente estadístico y geofísico inglés *sir* Harold Jeffreys, de la Universidad de Cambridge, fue otro firme detractor de la teoría de la deriva continental. Según su opinión, la deriva continental era «imposible», ya que ninguna fuerza sería lo suficientemente grande como para mover las placas continentales por la superficie del globo. No se trataba de una conjetura vana. Tal y como se explica en la página web de la Universidad Estatal de Pensilvania dedicada a la biografía de Jeffreys, este contaba con amplios cálculos que respaldaban sus opiniones^[214]:

Su principal problema con la teoría era la idea de Wegener sobre cómo se movían los continentes. Wegener sostenía que los continentes simplemente roturaban el suelo oceánico al moverse. Jeffreys calculó que la Tierra es simplemente demasiado rígida como para que eso pudiera pasar. Según los cálculos de Jeffreys, si la Tierra era lo suficientemente endeble como para que las placas se movieran por el suelo oceánico, entonces las montañas se derrumbarían bajo su propio peso.

Wegener también sostenía que los continentes se desplazaron hacia el oeste debido a la fuerza que las mareas ejercen sobre el interior del planeta. De nuevo, los cálculos de Jeffreys demuestran que si la fuerza de las mareas fuera tan grande, pararía la rotación de la Tierra en un año. Según Jeffreys, la Tierra es simplemente demasiado rígida para permitir cualquier movimiento importante de su corteza.

Los detractores de la deriva continental daban sus propias opiniones sobre cómo, en ciertos casos, la flora y la fauna de continentes muy alejados podían presentar similitudes asombrosas. Por ejemplo, es posible que los continentes en cuestión hayan estado conectados en algún momento por delgadas líneas de tierra, similares a las que solían conectar Alaska y Siberia a través del estrecho de Bering. Otro detractor mencionado anteriormente, Chester Longwell, llegó a hacer la alocada sugerencia de que^[215]:

Si la coincidencia entre Sudamérica y África no es genética, seguramente sea un ardid de Satán para hacer que nos frustremos.

En resumen, había dos opiniones enfrentadas (dos paradigmas en conflicto). Los dos paradigmas se enfrentaban a cuestiones que no podían contestar de manera plenamente satisfactoria, cuestiones de coincidencia y cuestiones de mecanismo. En esos casos, las opiniones adoptadas por los científicos más importantes dependían, por lo menos en parte, de sus filosofías vitales más que del significado intrínseco de cualquier evidencia. La historiadora de la ciencia estadounidense Naomi Oreskes señala unos cuantos factores que fueron especialmente importantes, por lo menos en el caso de algunos prominentes geólogos americanos^[216]:

Para los norteamericanos, el método científico correcto era empírico, inductivo y requería del estudio de las evidencias ante otras posibilidades de explicación. Una buena teoría también era modesta y se mantenía apegada a los objetos de estudio... La ciencia de buena calidad era antiautoritaria, como la democracia. La ciencia buena era pluralista, como una sociedad libre. Si la ciencia de buena calidad proporcionaba un ejemplo de buen gobierno, la ciencia de mala calidad lo amenazaba. A ojos de los norteamericanos, el trabajo de Wegener era ciencia de mala calidad: primero presentaba la teoría y luego buscaba las evidencias. Se instaló demasiado rápido en un solo marco interpretativo. Era demasiado grande, demasiado unificadora, demasiado ambiciosa. En resumen, era vista como *autocrática*...

Los norteamericanos (también) rechazaban la deriva continental por el (principio) del uniformismo. A principios del siglo XX, el principio metodológico que usaba el presente para interpretar el pasado estaba muy arraigado en la práctica de la geología histórica. Muchos creían que esta era la única manera de interpretar el pasado, que era el uniformismo lo que había convertido la geología en una ciencia. Si no, ¿qué prueba había de que Dios no había hecho la Tierra, incluidos los fósiles y todo lo demás, en siete días? ... Pero según la teoría de la deriva, los continentes en latitudes tropicales no tenían necesariamente que tener faunas tropicales, ya que la reconfiguración de los continentes y océanos podría haberlo cambiado todo. La teoría de Wegener hizo surgir el fantasma de que el presente no era la clave para explicar el pasado, es decir, que el presente no era más que un momento más en la historia de la Tierra, ni más ni menos importante que cualquier otro. Esta no era una idea que fuera fácil de aceptar para los norteamericanos.

Cambios de mentalidad sobre el movimiento de los continentes

El científico inglés Geoffrey Hinton, pionero del aprendizaje profundo, nos da un ejemplo más sobre la férrea resistencia ante la idea de la deriva continental. Nos explica lo acaecido con su padre, que era entomólogo (un especialista en el estudio de los insectos^[217]):

Mi padre fue un entomólogo defensor de la deriva continental. A principios de la década de 1950, la deriva continental era considerada un sinsentido. No fue hasta mediados de la década de 1950 cuando tomó fuerza. Una persona llamada Alfred Wegener ya la había planteado treinta o cuarenta años antes, pero no llegó a verla triunfar. Se basaba en una serie de ideas muy ingenuas, como que África encajaba más o menos con Sudamérica, de manera que los geólogos simplemente la despreciaron. La tildaron de *absoluta basura y pura fantasía*.

Me acuerdo de un debate muy interesante en el que mi padre tomó parte. Versaba sobre el chinche de agua, que no puede ni viajar grandes distancias ni volar. Los encontramos en la costa norte de Australia y, tras millones de años, no han sido capaces de viajar desde una costa hasta otra. Pero resulta que en la costa norte de Nueva Guinea hay también chinches de agua, aunque presentan pequeñas variaciones. La única manera de explicar esto era que Nueva Guinea se hubiera desprendido de Australia y se hubiera dado la vuelta, es decir, que la costa norte de Nueva Guinea hubiera estado pegada a la costa australiana. Fue muy interesante ver la reacción de los geólogos ante este argumento, ya que sostenían que «los chinches no pueden mover continentes». Se negaban a ver lo evidente.

Las descripciones anteriores nos pueden dar a entender que se llegó a un *impasse* irresoluble en el que las personas que defendían paradigmas diferentes ni siquiera querían ver las evidencias que no podían explicar. De hecho, este *impasse* duró varias décadas. Entonces, por fortuna, se impuso la ciencia de verdad. Pese a la obstinación de cierto número de científicos «expertos», la comunidad científica se abrió finalmente a la posibilidad de hallar nuevas evidencias importantes, hasta que dichas evidencias aparecieron.

Primero, en la década de 1950, los geólogos empezaron a prestar más atención al emergente campo del paleomagnetismo^[218]. Dicho campo estudia la orientación del material magnético de las rocas o de los sedimentos. Se pudo comprobar que esta orientación variaba entre las rocas prehistóricas y las rocas más recientes. Además, las rocas mostraban interesantes patrones de variación que fueron descubiertos gracias a la mejora de las técnicas de medición. Esto hizo que los científicos concluyeran que, o bien los polos magnéticos de la Tierra estaban en otra ubicación cuando estas piedras se formaron, o bien las piedras se habían desplazado grandes distancias durante eones. Cuanto más estudiaban estos datos, más se convencían los geólogos de la veracidad del principio de la deriva continental. Por ejemplo, muestras de rocas procedentes de la India sugerían con claridad que la India había estado previamente al sur del ecuador geográfico, aunque hoy día esté al norte.

Segundo, el examen de las zanjas en el fondo marino, así como el examen de profundas fumarolas termales y de volcanes submarinos, proporcionaba todavía más evidencias de una importante actividad líquida subterránea. Esto ayudó a consolidar la idea de que las placas continentales se separaron debido a la dispersión del fondo

marino. Lo que convenció a muchos científicos fue el resultado de una prueba en concreto. Oreskes nos cuenta la historia:

Mientras tanto, los geofísicos habían demostrado que el campo magnético de la Tierra había invertido su polaridad frecuentemente y en repetidas ocasiones. Las inversiones magnéticas sumadas a la dispersión del fondo marino conformaban una hipótesis falsable... Si el fondo marino se expande mientras el campo magnético terrestre se revierte, entonces los basaltos que forman el fondo marino registrarán estos eventos en forma de una serie de «tiras» paralelas de rocas magnetizadas normales y revertidas.

Desde la segunda guerra mundial, la Oficina de Investigación Naval de Estados Unidos había estado apoyando los estudios en el fondo marino con fines militares, y habían sido reunidos grandes cantidades de datos magnéticos. Científicos estadounidenses y británicos examinaron los datos, y hacia 1966 la... hipótesis se confirmó. En 1967-1968, las evidencias de la deriva continental y de la expansión del suelo marino se unificaron en un solo marco global.

Al final, el consenso científico se produjo relativamente rápido, ya que más y más datos se veían corroborados por modelos cada vez más sofisticados y refinados del fondo marino y de la expansión de dicho fondo marino. Así también se confirmó la deriva continental, después de casi medio siglo de discusiones entre «expertos» defendiendo diferentes paradigmas.

Paralelamente, las enraizadas posiciones filosóficas que previamente habían predisuesto a algunos científicos a oponerse a la teoría de la deriva continental (posiciones como la preferencia por teorías «modestas» y por el uniformismo frente a cualquier tipo de catastrofismo) fueron perdiendo apoyos. Estas filosofías fueron reconocidas, en el mejor de los casos, como guías de uso general, pero también como carentes de la universalidad necesaria como para derrocar teorías que tenían por sí mismas una gran capacidad explicativa y predictiva.

Lavarse las manos

Los principios que se aplicaron en el caso de la deriva continental también se aplicaron en el caso de la desinfección de las manos en los hospitales. Alfred Wegener fue la triste víctima en el primer caso, ya que murió en Groenlandia en 1930 después de caer en el olvido y mucho antes de que su hipótesis fuera ampliamente aceptada, y el médico húngaro Ignaz Semmelweis fue la víctima en el segundo caso.

Semmelweis había reunido datos experimentales a favor de la mejora de las condiciones higiénicas en los hospitales, pero sus teorías encontraron en su época muy poca consideración. Cayó en una profunda depresión y fue recluido en una institución para enfermos mentales en la que fue golpeado por los guardas y confinado con camisa de fuerza. Murió dos semanas después de entrar en la institución, y solo tenía cuarenta y siete años^[219].

Dos décadas antes, en 1846, el joven Semmelweis había sido nombrado ayudante médico en el departamento de maternidad del Hospital General de Viena, un

puesto muy importante. El hospital tenía dos clínicas de maternidad, y los lugareños ya sabían que el índice de mortalidad en una de esas clínicas (10% o más) era más del doble que en la otra (4%). Gran número de mujeres morían en la primera clínica debido a la fiebre puerperal (la fiebre de parto) tras dar a luz. Semmelweis se esforzó mucho por comprender esta disparidad en el número de muertes. Por fin se dio cuenta de que los estudiantes de medicina de la primera clínica también solían hacer autopsias antes de visitar la sala de maternidad en la que examinaban a las mujeres. Estos estudiantes no trabajaban en la segunda maternidad, y esa fue una aguda observación empírica de Semmelweis.

Basándose en sus observaciones, Semmelweis empezó a sospechar que algún tipo de material microscópico procedentes de los muertos y portado por las manos de los estudiantes de medicina era la causa del alto índice de mortalidad en la primera clínica. Por tanto, introdujo un riguroso sistema de lavado de manos que incluía el uso de cal clorada. Esta práctica eliminaba de las manos de los doctores el olor a cadáver mucho mejor que el tradicional lavado con agua y jabón. El resultado fue que el índice de mortalidad se desplomó y llegó a ser nulo en un año.

Desde nuestro punto de vista actual, estamos tentados a decir «¡Por supuesto!». Nos asombramos de lo mal que se lavaban las manos en el pasado. Sin embargo, todo esto tuvo lugar varias décadas antes de que Louis Pasteur popularizara la teoría de las enfermedades producidas por gérmenes. En aquel entonces era ampliamente aceptado que las enfermedades se propagaban por el «mal aire» (miasma). De hecho, la falta de conocimiento sobre los gérmenes hizo que la ortodoxia médica de aquel entonces se resistiera a que el consejo de Semmelweis sobre el riguroso lavado de manos fuera más ampliamente seguido.

El mismo coro de críticas de «expertos» que casi un siglo más tarde recibiera Alfred Wegener se ciñó sobre las ideas de Semmelweis, que fueron tildadas de demasiado universales, es decir, de un alcance demasiado grande y demasiado disruptivas. Semmelweis sostenía que una sola causa (la falta de limpieza) era responsable de gran parte de las enfermedades hospitalarias. Esto se oponía frontalmente a la doctrina médica dominante, que sostenía que cada caso de enfermedad individual tenía sus propias causas y que, por tanto, tenía que estar sujeta a investigación y tratamiento individualizados. Echarle la culpa de todo a la falta de higiene era una idea demasiado concreta.

La práctica de lavarse las manos de forma exhaustiva también era algo que, aparentemente, ofendía por lo menos a ciertos doctores, que se sintieron insultados por la idea de que sus caballerosos niveles de higiene personal pudieran de alguna manera no ser suficientes. No podían aceptar que ellos personalmente fueran los responsables de las muertes de los pacientes que examinaban.

Semmelweis perdió su puesto en el Hospital General de Viena en 1848, año en el que en Europa se produjeron numerosas revoluciones. El jefe del departamento era políticamente conservador, y progresivamente fue perdiendo su confianza en

Semmelweis, ya que algunos de sus hermanos estaban involucrados activamente en el movimiento a favor de la independencia de Hungría frente a Austria. Estas diferencias políticas exacerbaron un conflicto personal que ya de por sí era muy tenso. Semmelweis abandonó el hospital y fue sustituido en su puesto por el médico austriaco Carl Braun. Resulta significativo que Braun destruyera gran parte de los avances conseguidos en la clínica por Semmelweis. Más tarde, Braun publicó un libro de texto que recogía las treinta causas de la fiebre de parto. El mecanismo identificado por Semmelweis, la infección procedente de material microscópico de cadáveres, aparecía en el número 28 de la lista, un lugar muy poco relevante^[220]. Los índices de mortalidad materna volvieron a aumentar en la clínica, y la atención sobre la higiene fue remplazada por la mejora en los sistemas de ventilación, una preferencia que encajaba mucho más con el paradigma dominante del miasma («mal aire») como causante de muchas enfermedades.

Por tanto, incluso en el hospital en el que se produjo la identificación de la mejora, el gran peso de la tradición ortodoxa dio como resultado que muchas mujeres murieran después innecesariamente. Patrones igualmente deplorables se siguieron en toda Europa hasta que se acumularon las evidencias contrastadas en favor de la teoría de las enfermedades basadas en los gérmenes. Esta teoría fue recogida, entre otros, por los científicos John Snow, Joseph Lister y Louis Pasteur. En la década de 1880, el exhaustivo lavado antiséptico ya se había convertido en una práctica estandarizada y el paradigma del miasma había sido superado por la teoría de los gérmenes.

Esta no fue la primera (ni la última) vez en la que una práctica asentada en la profesión médica no cumplió con el principio fundador de la profesión: *lo primero es no dañar*. El pensamiento erróneo de los doctores «expertos» produjo una falta de higiene y a su vez esto produjo una gran cantidad de muertes innecesarias. Esta desviación del Juramento Hipocrático se debió en parte a la falta de conocimiento (no existía la teoría de las enfermedades basada en los gérmenes) pero también al exceso de hábitos y formas de pensar adquiridos, incluyendo el honor de los médicos que se consideraban limpios.

Nuestra opinión es que el paradigma de *aceptación del envejecimiento* encaja en este mismo patrón. El paradigma actual persiste en parte debido a la falta de conocimiento (el progreso hecho por la biotecnología del rejuvenecimiento), pero también por el exceso de hábitos y formas de pensar adquiridos. Aquellos que están inmersos en el viejo paradigma tienden a ver las cosas de manera diferente, y bajo sus propias visiones e intereses, por supuesto.

Resistencia de «expertos» ante los cambios de paradigma en la medicina

De Ignaz Semmelweis se suele decir que fue un pionero fundamental de un área más amplia llamada «medicina basada en hechos». Comprobó sus hipótesis sobre las causas de la fiebre del parto modificando las prácticas del personal médico y observando los subsiguientes cambios en la mortalidad. Previamente, sus observaciones habían descartado otras causas potenciales para explicar las diferencias en la mortalidad de las dos clínicas (diferente estatus socioeconómico, adopción de diferentes posiciones físicas por parte de las madres a la hora de dar a luz, etc.). Cuando la nueva rutina antiséptica de lavarse las manos fue introducida, los resultados fueron drásticos.

Sin embargo, tal y como hemos visto, esta evidencia irrefutable no llegó a ser aceptada por los «expertos» del paradigma imperante, quienes veían en el «mal aire» la causa más probable de las enfermedades. Los que apoyaban ese paradigma dominante reinterpretaron el cambio en las tasas de mortalidad como si estas tuvieran otras causas, como, por ejemplo, la mejora de la ventilación. Por desgracia, no se llevaron a cabo pruebas rigurosas para diferenciar cuál de estas dos teorías era correcta. Los principios que hoy día aplicamos en los ensayos médicos no eran todavía comprendidos entonces, pese a lo expresado por Semmelweis. Entre estos ejemplos encontramos:

- Control: los pacientes que reciben un tratamiento nuevo son comparados con un conjunto de «control» que no recibe dicho tratamiento (en su lugar puede que reciban un placebo), pero que por lo demás es lo más parecido posible al primer grupo.
- Aleatorización: el reparto de pacientes entre los dos grupos, el de control y el tratado, tiene lugar de forma aleatoria para prevenir prejuicios (conscientes o inconscientes) en la selección que pudieran manipular el resultado.
- Valor estadístico: el diseño de las pruebas evita confusiones debidas a las desviaciones que ocurren de forma natural de vez en cuando; sobre todo las pruebas con muestras pequeñas son de poco valor.
- Reproducibilidad: la repetición de pruebas con diferentes grupos de profesionales médicos; si se repiten los resultados obtenidos, significa que se está ante un tratamiento fiable.

De hecho, el término «medicina basada en hechos» solo tiene unas pocas décadas. El primer trabajo académico publicado sobre el tema data de tan solo 1992^[221]. El término fue introducido para hacer una distinción frente a la práctica dominante del «juicio clínico», que hace referencia a las decisiones de los médicos sobre posibles tratamientos basándose en sus propias corazonadas e intuiciones. El

desarrollo de estas corazonadas e intuiciones era enseñado mediante la gran experiencia obtenida por doctores «expertos». Otro término para referirse al «juicio clínico» era el de «el arte de la medicina».

Los inconvenientes de depender del «juicio clínico» fueron subrayados contundentemente en el libro *Efectividad y eficiencia: reflexiones casuales sobre los servicios de salud*, escrito por el médico escocés Archie Cochrane en 1972^[222]. Cochrane era un apasionado crítico de la mayor parte del pensamiento y de las prácticas de sus colegas médicos, y en su libro explicó que:

- Una parte importante de las mejoras en salud pública fueron debidas a mejoras en factores ambientales, como, por ejemplo, en la higiene, más que en mejoras en los propios tratamientos médicos.
- Los médicos sufren una gran presión por parte de sus pacientes para que les receten medicamentos o cualquier otro tipo de tratamiento, y es posible que algunos tratamientos se receten aunque no haya evidencias clínicas sobre la efectividad de dichos tratamientos.
- El hecho de que algunos pacientes se recuperen tras seguir un cierto tratamiento no demuestra la efectividad de dicho tratamiento; la recuperación puede estar causada por otros factores (incluida la tendencia del cuerpo a recuperarse por sí mismo y a su debido tiempo).
- De nuevo, el hecho que los pacientes crean que haber seguido un tratamiento les ha hecho bien no prueba la efectividad de dicho tratamiento.

Cochrane señaló que, en el momento en el que escribió el libro, se vivía en una cultura que se dejaba impresionar más por la «opinión» que por el «experimento»^[223]:

Parece que entre el público en general y entre ciertos sanitarios sigue reinando una gran confusión sobre el valor de las opiniones, de las observaciones y de los experimentos a la hora de comprobar hipótesis.

Dos de los cambios más sorprendentes en el uso de las palabras durante los últimos veinte años son el ascenso de la «opinión» con respecto a otros tipos de evidencias y la minusvaloración de la palabra «experimento». No cabe duda de que el ascenso de la «opinión» tiene muchas causas, pero una de las más importantes es, de eso estoy seguro, el papel jugado por los entrevistadores y productores de televisión. Quieren que todo sea breve, dramático, blanco o negro. Cualquier discusión de las evidencias es descartada por ser demasiado larga, aburrida y anodina. Pocas veces he oído en televisión que un entrevistador le pregunte a alguien qué evidencias hay para hacer una declaración. Afortunadamente, esto no suele tener ninguna importancia; el entrevistador solo quiere entretener (de ahí el interés de las opiniones de los cantantes pop sobre la teología), pero cuando se trata de cuestiones médicas, estas cuestiones sí pueden ser importantes.

La suerte del «experimento» ha sido muy diferente... Ha sido absorbida y corrompida por los periodistas... y ahora el «experimento» se usa en su sentido arcaico de «acción de intentar algo». De ahí provienen las interminables referencias a teatros, arte, arquitectura y colegios «experimentales».

Cochrane tenía muchas cosas buenas que decir sobre la práctica de la medicina.

Describió algunos ejemplos positivos que podrían servir a modo de ejemplo para futuras generaciones —por ejemplo, el desarrollo de tratamientos eficaces contra la tuberculosis, que conllevaron una amplia utilización de ensayos controlados aleatorizados durante los años posteriores a la segunda guerra mundial—. Alabó a los médicos por estar mucho más adelantados que otros profesionales, tales como jueces y directores de colegios, a la hora de organizar ensayos experimentales controlados de tratamientos «terapéuticos» o «disuasorios». Sin embargo, tal y como apunta Cochrane, la historia de la medicina está llena de ejemplos en los que opiniones fuertemente defendidas por «expertos» acabaron siendo refutadas gracias a experimentos rigurosos:

- La amigdalectomía, sobre todo en niños, se pensaba que era prácticamente una panacea y se practicó ampliamente, pero tras una revisión crítica de las evidencias en 1969 (en un artículo titulado «Cirugía ritual: circuncisión y amigdalectomía») dejó de practicarse tan a menudo.
- El compuesto basado en oro llamado «sanocrysin» se popularizó en Estados Unidos durante la década de 1920. Era un tratamiento contra la tuberculosis. En 1931, un médico publicó los resultados de un ensayo con 46 pacientes tras el que declaró que el medicamento era «excepcional». Sin embargo, en ese ensayo no hubo pacientes de control, los 46 pacientes recibieron el medicamento. Ese mismo año, otros médicos de Detroit ensayaron el medicamento en un subgrupo de 12 pacientes elegidos al azar de entre un grupo total de 24 pacientes de tuberculosis. Uno de cada dos pacientes recibió una inyección que tan solo contenía agua esterilizada, pero esto ellos no lo sabían. En este caso el resultado fue definitivo: los pacientes de control, quienes recibieron agua en vez de sanocrysin, eran los que más posibilidades de supervivencia tenían. El sanocrysin, anteriormente aclamado como medicamento milagroso, se demostró que no lo era en absoluto.
- Los reposos en cama obligatorios eran otro tratamiento muy popular contra la tuberculosis, hasta que pruebas realizadas en las décadas de 1940 y 1950 demostraron que eran dañinos, no beneficiosos. Los pacientes que se tumbaban en posición supina sufrían complicaciones adicionales derivadas de la tos. Sanatorios de todo el mundo fueron cerrados tras conocerse los resultados de este estudio.

Por otro lado, Cochrane mostró casos en los que supuestos conocimientos clínicos no fueron en absoluto infalibles, en contra de lo que se quería hacer creer. El médico inglés Druin Burch cuenta el siguiente episodio en su libro *Tomarse la*

medicina: una breve historia sobre la bonita idea de la medicina y sobre nuestra dificultad para tragarla de 2009^[224]:

Los electrocardiogramas (ECG) son registros de la actividad eléctrica del corazón... Los cardiólogos dicen que a la hora de leerlo tienen capacidades que superan a las de otros médicos. Cochrane tomó ECG seleccionados al azar y envió copias a cuatro cardiólogos veteranos. Luego les pidió que explicaran los registros. Comparó sus opiniones y se dio cuenta de que estos expertos sólo estaban de acuerdo el 3% de las veces. Sus convicciones en ser capaces de mirar los registros y ver la «verdad» no parecían estar justificadas. De 100 veces, por lo menos en 97 casos alguno de ellos estaba interpretando algo mal.

Cuando Cochrane hizo una prueba similar con profesores de odontología, les pidió que evaluaran las mismas bocas y se dio cuenta de que solamente había una cosa en la que sus capacidades de diagnóstico estaban siempre de acuerdo: el número de dientes.

En 1993, tras su muerte en 1988, el apellido Cochrane fue incorporado al nombre de la organización recién fundada Colaboración Cochrane en Londres. Esta iniciativa de investigación colaborativa describe su trabajo de la siguiente manera^[225]:

Cochrane existe para mejorar las decisiones tomadas por los sistemas de salud.

Durante los últimos veinte años, Cochrane ha ayudado a transformar la manera en la que se toman decisiones con respecto a la salud.

Reunimos y resumimos las mejores evidencias procedentes de las investigaciones para ayudarle a tomar decisiones informadas sobre los tratamientos a seguir...

Cochrane está al servicio de cualquiera que esté interesado en usar información de alta calidad para tomar decisiones que afectan a la salud. Ya sea usted un médico o una enfermera, un paciente o un cuidador, un investigador o un financiador, las evidencias mostradas por Cochrane suponen una poderosa herramienta para mejorar su conocimiento y su toma de decisiones en lo referente a la salud.

Los contribuyentes de Cochrane —37 000 personas de más de 130 países— trabajan conjuntamente para producir información referente a la salud creíble y accesible que sea independiente del patrocinio comercial y que no esté sujeta a conflictos de interés.

La Colaboración Cochrane, que trata de satisfacer la idea de una medicina basada en hechos que fue defendida por Archie Cochrane y por otros, está reconocida hoy día como una organización que lleva a cabo una tarea extremadamente importante. Por ejemplo, las Reseñas de Cochrane (*Cochrane Reviews*) han sido descargadas de su página web a un ritmo de una cada tres segundos^[226]. Entre las descargas más populares del momento encontramos reseñas sobre las evidencias en temas como^[227]:

- Acupuntura para luchar contra la cefalea tensional.
- Modelos de continuidad dirigidos por comadronas frente a otros modelos en el cuidado de mujeres embarazadas.
- Intervenciones para prevenir las caídas de ancianos de su vecindario.
- Vacunas para prevenir la gripe en adultos saludables.

Estas son áreas en las que el «juicio clínico» intuitivo es muy útil si se complementa con un cuidadoso estudio de las evidencias experimentales, evidencias

que suelen desconcertar las expectativas de los «expertos».

Si no se conoce la historia, sería difícil de imaginar el grado de hostilidad que despertó el concepto de medicina basada en hechos antes de ser ampliamente aceptada. Las primeras críticas contra el «juicio clínico» se encontraron con una amplia oposición:

- Los profesionales de la medicina más veteranos, los «expertos», temían que su arduamente conseguido conocimiento tácito fuera minusvalorado por la tendencia hacia la objetividad de la medicina basada en hechos.
- Esos mismos profesionales solían insistir en que los pacientes debían ser tratados de forma individualizada, en vez de ser confinados en un pequeño número de estereotipos descritos en recientes libros de texto médicos.

Las sangrías de los médicos «expertos»

Ahora analicemos un último ejemplo revelador sobre las creencias de «expertos» médicos del pasado. Las sangrías —la extracción de sangre del cuerpo de un paciente, a menudo mediante el uso de sanguijuelas— fueron ampliamente defendidas como tratamiento médico durante más de dos mil años. Se recomendaban para una gran variedad de problemas médicos, entre los que estaban el acné, el asma, la diabetes, la gota, el herpes, la neumonía, el escorbuto, la viruela y la tuberculosis. Entre los primeros defensores de esta práctica están los médicos griegos Hipócrates de Cos (460-370 a. C.) y Galeno de Pérgamo (129-200 d. C.), dos de los médicos más famosos de toda la historia. Repartidos entre los siglos en los que se llevó a cabo, esta práctica también tuvo importantes críticos, como el médico inglés William Harvey, quien descubrió las vías de la circulación de la sangre por todo el cuerpo durante la década de 1620, pero aun así se siguió usando durante más siglos. Por ejemplo, el hematólogo inglés Duncan P. Thomas escribió un artículo en 2014 para la *Revista del Real Colegio de Médicos de Edimburgo*, donde señala^[228]:

El fervor con el que los médicos de tiempos pasados llevaban a cabo las sangrías es, si lo vemos desde la perspectiva de hoy día, extraordinario. Guy Patin (1601-1672), decano de la Facultad de Medicina de París, sangró a su mujer doce veces debido a una «fluxión» en el pecho, veinte veces a su hijo por fiebres continuadas y siete veces a sí mismo por un «enfriamiento de la cabeza». Carlos II (1630-1685) fue sangrado tras una apoplejía y el general George Washington (1732-1799), aquejado de una infección severa de garganta, fue sangrado cuatro veces en cuestión de unas pocas horas. La cantidad de sangre que se le sacó se estima que estuvo entre cinco y nueve pintas. Pese a su fortaleza, no pudo soportar los esfuerzos descarriados de sus médicos y parece que el tratamiento apresuró su muerte.

Thomas continúa con la mención del caso de Benjamin Rush:

Benjamin Rush (1746-1813), un distinguido médico americano y firmante de la Declaración de Independencia, estaba convencido de que la sangría de sus pacientes era el mejor de los tratamientos... Durante la epidemia de fiebre amarilla de Filadelfia en 1793, Rush sangró y purgó a sus pacientes...

La estrategia seguida por Rush es un buen recordatorio de los peligros que encierra la creencia sincera en el valor de los métodos tradicionales, y pone de manifiesto la necesidad de evaluaciones críticas y basadas en evidencias de todas las formas de tratamiento.

Las evidencias sistemáticas sobre el efecto de las sangrías empezaron a ser reunidas en el siglo XIX. El médico francés Pierre Charles Alexandre Louis analizó en 1828 los datos procedentes de 77 pacientes de neumonía, que mostraban que las sangrías, en el mejor de los casos, ejercieron efectos muy escasos en las perspectivas de recuperación de los pacientes. Sin embargo, muchos médicos dejaron sus resultados a un lado y prefirieron basarse en lo que *creían* que estaba confirmado por su propia experiencia personal. Así, siguieron confiando en la importancia de las venerables tradiciones que se remontaban hasta Hipócrates y Galeno.

En la segunda mitad del siglo XIX, el médico inglés John Hughes Bennett, de la Universidad de Edimburgo, revisó más datos que versaban sobre los índices de supervivencia de hospitales norteamericanos y británicos. Señaló que, por ejemplo, durante un período de dieciocho años, en el Hospital Real de Edimburgo, de 105 casos de neumonía típica tratados por él mismo sin recurrir a sangrías, ninguno de los pacientes murió. Por el contrario, por lo menos un tercio de los pacientes que recibieron sangrías bajo el tratamiento de otros médicos del hospital acabó muriendo. Pese a estos datos, Hughes Bennett se enfrentó a feroces críticas procedentes de su propia profesión. Thomas comenta al respecto:

Desde la perspectiva de hoy día, quizás el aspecto más sorprendente del trabajo pionero de Louis y Hughes Bennett fue lo lento que la profesión médica aceptó las poderosas evidencias, especialmente en relación al tratamiento de la neumonía. Hughes Bennett intentó introducir una estrategia con mayor rigor científico para identificar y tratar la enfermedad. Esta estrategia involucraba tanto a las observaciones hechas en el laboratorio como al análisis estadístico de los resultados. Sin embargo, su estrategia entró en conflicto con la de los médicos más tradicionales, que continuaban confiando en su propia experiencia, basada exclusivamente en la observación clínica. Pese a que el escepticismo con respecto al tratamiento crecía, la controversia sobre las sangrías continuó durante toda la segunda mitad del siglo XIX y sobrevivió hasta bien entrado el siglo XX.

En su escrito de 2010 para el *Diario Médico de la Columbia Británica*, el médico Gerry Greenstone reflexiona sobre esta cuestión preguntándose por qué se siguieron haciendo sangrías durante tanto tiempo, hasta mediados del siglo XX^[229]:

Tenemos que preguntarnos por qué la práctica de las sangrías persistió tanto tiempo, especialmente cuando por descubrimientos hechos por Vesalius y Harvey en los siglos XVI y XVII se pusieron de manifiesto errores graves en la anatomía y fisiología de Galeno. Sin embargo, tal y como I. H. Kerridge y M. Lowe han sostenido, «que las sangrías hayan perdurado tanto tiempo no es una anomalía intelectual, es el resultado de la interacción dinámica de presiones sociales, económicas e intelectuales, un proceso que sigue determinando la práctica médica».

Gracias a nuestro conocimiento actual de la patofisiología, podemos estar tentados a reírnos de dichos métodos terapéuticos. Pero ¿qué será lo que piensen los médicos en cien años sobre nuestras prácticas médicas actuales? Puede que se asombren de nuestro uso excesivo de antibióticos, de nuestra tendencia polifarmacológica y de lo burdo que son tratamientos como la radiación y la quimioterapia.

Olvidémonos de «dentro de cien años». Nuestra opinión es que probablemente dentro de diez o veinte años los médicos «expertos» volverán los ojos hacia nuestros días y se quedarán atónitos de que el proceso del envejecimiento recibiera tan poca atención, y de que la biotecnología del rejuvenecimiento solo fuera un interés minoritario.

Pero como hemos visto, los paradigmas surten efectos muy profundos. La frase de Kerridge y Lowe citada anteriormente describe con otras palabras el mismo sentimiento: las prácticas médicas de los «expertos» surgen «de la interacción dinámica de presiones sociales, económicas e intelectuales».

Todo el mundo se puede equivocar, no solo los expertos, evidentemente. Para cerrar irónicamente este capítulo, recordemos la profunda reflexión de la reina de belleza estadounidense Heather Whitestone, quien fue *Miss Alabama* 1994 y luego *Miss América* 1995, cuando le preguntaron durante el concurso de belleza si ella querría vivir para siempre, y ella respondió así^[230]:

No viviría para siempre, porque no deberíamos vivir para siempre, porque si fuéramos a vivir para siempre, entonces viviríamos para siempre, pero no podemos vivir para siempre, por eso es que yo no viviría para siempre.

Plan B: la criopreservación

Ser criopreservado después de la muerte es la segunda peor cosa que podría pasarte. Lo peor es morir sin ser criopreservado.

BEN BEST, 2005

Si la criónica fuera una estafa, tendría una comercialización mucho mejor y sería mucho más popular.

ELIEZER YUDKOWSKY, 2009

Según nuestras estimaciones, los primeros tratamientos biotecnológicos para el rejuvenecimiento humano se comercializarán en la década de 2020, a los que seguirán en 2030 los tratamientos nanotecnológicos, hasta llegar a controlar y revertir el envejecimiento en 2045. Hasta ese momento, por desgracia, la gente va a seguir muriéndose. Para la totalidad de los que han vivido en el pasado y para gran parte de los que lo hacen ahora las tecnologías del rejuvenecimiento llegan demasiado tarde, bien porque ya han envejecido y perecido durante este siglo o alguno de los muchos siglos precedentes, o bien porque, pese a seguir vivos, es probable que mueran antes de que las terapias de rejuvenecimiento efectivas estén disponibles y se generalicen. En cualquier caso, pertenecen a la era AR: la era Antes del Rejuvenecimiento, cuyo año 0 será 2045.

No obstante, dentro de la amplia gama de futuras tecnologías para el rejuvenecimiento, algunos investigadores se atreven a sugerir que puede haber esperanzas para los pertenecientes a la era AR. Estas ideas forman un conjunto de alternativas y complementos radicales para los métodos que hemos analizado en este libro, y constituyen el Plan A hacia la inmortalidad.

El puente hacia la eternidad

Como discutimos anteriormente, una esperanza de vida indefinida será posible en pocas décadas, pero ¿qué podemos hacer hasta entonces? La triste verdad es que la gente seguirá muriendo durante los próximos años, y la única forma que conocemos hoy para conservarse relativamente bien es a través de la criopreservación. Podríamos decir que la criopreservación es algo parecido al Plan B de la esperanza de vida indefinida hasta que llegue el Plan A.

La era moderna de la criopreservación humana, o simplemente criónica, se inició en 1962 cuando el estadounidense Robert Ettinger, un reputado físico, publicó *La perspectiva de la inmortalidad*, donde consideraba que «congelar» (en realidad: criopreservar) pacientes es la forma de esperar la llegada de futuras tecnologías médicas mucho más avanzadas que curen las enfermedades actuales, incluido el envejecimiento^[231]. Aunque la criopreservación de un ser humano pueda parecer fatal, Ettinger argumentaba que lo que parece ser fatal hoy puede ser reversible en el futuro. Se aplica el mismo argumento para el proceso de la muerte en sí misma, es decir, las primeras etapas de la muerte clínica podrían ser reversibles en el futuro. Combinando estas ideas, Ettinger sugiere que la congelación de personas recién fallecidas puede ser una forma de salvar vidas. Sobre la base de esas ideas, Ettinger y otros cuatro colegas fundaron en 1976 el Cryonics Institute en Detroit, Michigan. La primera paciente fue la propia madre de Ettinger, que fue criopreservada en 1977. Su cuerpo se conserva congelado a la temperatura de ebullición del nitrógeno líquido (-196 °C).

Mientras tanto, en California, Fred y Linda Chamberlain fundaron otra institución de criopreservación en 1972 bajo el nombre de Alcor Life Extension Foundation (originalmente y hasta 1977 llamada Alcor Society for Solid State Hypothermia). Su primer paciente fue, en 1976, el padre de Fred Chamberlain, que se sometió a una neuropreservación en la que solo criopreservaron la cabeza. Alcor acabaría por trasladarse en 1993 a Scottsdale, Arizona, lejos de la sísmica California, y su actual presidente es el filósofo y futurista inglés Max More, que explica^[232]:

La ciencia de la criónica es una rama de la medicina de urgencias actual y en el futuro podría ofrecer a la humanidad otra oportunidad de vivir una vez la tecnología haya avanzado lo suficiente para revivir a los pacientes criopreservados en Alcor.

Muchos pacientes deciden congelar exclusivamente la cabeza. Algunos lo hacen por razones económicas; otros creen que la identidad humana y la memoria se almacenan en el cerebro y, por lo tanto, no es necesario criopreservar el cuerpo entero, que además podrá ser reconstruido mediante diferentes tecnologías.

Por su parte, *Cryonics Institute* solo hace criopreservaciones totales, mientras Alcor hace tanto neuropreservaciones como criopreservaciones completas. Actualmente, *Cryonics Institute* ha sobrepasado los 150 pacientes criopreservados y los más de mil miembros, mientras Alcor tiene un número similar de pacientes (de los cuales alrededor de tres cuartas partes son neuropacientes) y de miembros. Cada mes se incorporan nuevos pacientes y miembros a los dos principales centros de criopreservación de Estados Unidos. Ambas instituciones conservan también muchas muestras congeladas de ADN, tejidos, mascotas y otros animales bajo criopreservación. *Cryonics Institute* cobra entre 28 000 y 35 000 dólares (que no incluyen los altos costes de EET: Espera/Estabilización/Transporte, del inglés SST: *Standby/Stabilization/Transport*) para criopreservaciones de cuerpo completo. Por su

lado, Alcor cobra 80 000 dólares para neuropreservaciones y 200 000 dólares para criopreservaciones de cuerpo completo (incluidos los elevados costes de EET^[233]).

Dado que el número de pacientes y de afiliados es todavía relativamente pequeño, Cryonics Institute y Alcor eran prácticamente las dos únicas organizaciones de criopreservación en el mundo hasta 2005, cuando se fundó KrioRus a las afueras de Moscú. Actualmente hay también pequeños grupos en Alemania, Argentina, Australia, Canadá y China, además de en los estados de Florida y Oregón en Estados Unidos, que tiene previsto crear o ya han creado nuevas instalaciones para la criopreservación humana.

¿Cómo funciona la criónica?

Hasta ahora nadie ha revivido tras haber sido criopreservado, pero también se debe a que aún no sabemos cómo curar las condiciones que causaron la enfermedad terminal que el paciente sufrió su momento. Sin embargo, gracias a los avances tecnológicos exponenciales, es muy probable que seamos capaces de reanimar a los pacientes en las próximas décadas. El futurista estadounidense Ray Kurzweil habla de la década de 2040 para las primeras reanimaciones de pacientes criopreservados, primero con los últimos en haberse sometido a dicha técnica, que deben de haber sido criopreservados con mejores tecnologías, y terminando con los primeros pacientes^[234].

La prueba de concepto es que ya se ha hecho la criopreservación con diferentes células vivas, tejidos y pequeños organismos. Los minúsculos osos de agua (tardígrados) son organismos multicelulares microscópicos que pueden sobrevivir si se sustituye la mayor parte de su agua interna por azúcar trehalosa, que evita la cristalización de las membranas celulares. Varios vertebrados también toleran la congelación, y existen organismos que sobreviven el invierno por congelación sólida y cesando sus funciones vitales. Algunas especies de ranas, tortugas, salamandras, serpientes y lagartos pueden sobrevivir al congelamiento y recuperarse completamente después de pasar el invierno en climas fríos. Algunas especies de bacterias, hongos, plantas, peces, insectos y anfibios que viven cerca de los polos han desarrollado crioprotectores que les permiten sobrevivir en condiciones de congelación.

El científico británico James Lovelock, conocido por proponer la hipótesis Gaia acerca de la vida en la Tierra, fue quizá la primera persona que intentó congelar y reanimar animales. En 1955, Lovelock congeló algunas ratas a 0° C y luego las reanimó exitosamente usando la diatermia de microondas. Recientemente, DARPA, la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzados de Defensa en Estados Unidos, ha

comenzado a financiar investigaciones sobre animación suspendida, esencialmente «apagar» el corazón y el cerebro para poder ofrecer más adelante el tratamiento adecuado a determinados pacientes, algo que puede considerarse como un paso para la criopreservación de los seres humanos.

Óvulos, espermatozoides e incluso embriones son criopreservados hoy día para ser reanimados en el futuro. Se han utilizado óvulos y esperma congelados en reproducción animal, e incluso se han criopreservado embriones humanos que posteriormente se han desarrollado sin problemas congénitos ni de ninguna otra índole. Además, actualmente se congela y descongela sangre, cordones umbilicales, médula ósea, semillas de plantas y diferentes muestras de tejido. Uno de los grandes éxitos recientes de la criónica fue el nacimiento en 2017 de un embrión criopreservado durante casi veinticinco años.

Estimamos que las personas criopreservadas hoy podrán ser reanimadas en el futuro mediante el uso de técnicas avanzadas. Cada vez hay más literatura científica que apoya la viabilidad de la criónica. Algunos científicos prestigiosos firmaron una carta abierta apoyando la criónica, incluidos Aubrey de Grey y el científico estadounidense Marvin Minsky, considerado uno de los «padres» de la inteligencia artificial, que fue criopreservado al morir en 2016^[235]:

La criónica es un esfuerzo legítimo con fundamentos científicos que busca preservar a los seres humanos, especialmente el cerebro humano, con la mejor tecnología disponible. Las futuras técnicas de reanimación podrían implicar la reparación molecular mediante nanomedicina, computación altamente avanzada, control detallado del crecimiento celular y regeneración tisular.

Teniendo en cuenta estos avances tecnológicos, existe una posibilidad real de que la criónica realizada en las mejores condiciones que se pueden lograr hoy día conserve la suficiente información neurológica para permitir la eventual restauración de una persona sana.

Los derechos de aquellos que eligen la criónica son importantes y deben respetarse.

En 2015, un grupo de científicos de las universidades de Liverpool, Cambridge y Oxford, estableció una red de investigación criónica en el Reino Unido para el impulso y la promoción de la investigación en criónica y sus aplicaciones, incluida la criopreservación humana^[236]. Gracias a estos avances, cada día más personas en todo el mundo empiezan a darse cuenta de que la criopreservación humana es posible, sobre todo porque la prueba de concepto ya está disponible. En 2016 también se inauguró la Sociedad Criónica como una asociación de apoyo y promoción a la criónica en España, Argentina y México^[237].

Desde Rusia con amor: una visita a KrioRus

Los familiarizados con la criónica suelen conocer las dos principales instalaciones de criopreservación de Estados Unidos: Cryonics Institute, cerca de Detroit, Michigan, y

Alcor, en Scottsdale, Arizona. Pero no son tantos los que saben que en 2005 se fundó una nueva organización a las afueras de Moscú bajo el liderazgo del futurista ruso Daniel Medvedev.

Durante un encuentro con Medvedev en 2015 pudimos visitar las instalaciones actuales de KrioRus de Sérguiiev Posad, una hermosa y antigua ciudad a unos 70 kilómetros al noreste de Moscú. Sérguiiev Posad es conocida por ser un destino religioso y turístico donde se encuentra uno de los más grandes monasterios rusos, el monasterio de la Trinidad y San Sergio, fundado por San Sergius de Radonezh en el siglo XIV. Sérguiiev Posad parece un lugar muy apropiado tanto para la criopreservación como lo fue para el tradicional descanso de santos y monarcas rusos. KrioRus está creciendo rápidamente y está considerando la idea de ampliar sus instalaciones o mudarse a otro lugar también cerca de Moscú, donde además podrían fundar un hospicio e instalaciones anejas para pacientes terminales, además de unas instalaciones de criopreservación con más capacidad de investigación.

El crecimiento de KrioRus ha sido espectacular en comparación con Alcor y Cryonics Institute. En poco más de una década, KrioRus ha logrado criopreservar a medio centenar de personas y decenas de mascotas, entre ellas muchos perros, gatos y pájaros, además de un roedor Chinchilla. El primer paciente de KrioRus fue Lidiya Fedorenko, en 2005, que fue criopreservada originalmente con hielo seco durante unos meses hasta que el primer contenedor o «criostato» estuvo listo. La abuela de Medvedev es otro de los pacientes actualmente bajo neuropreservación. Como el Cryonics Institute, KrioRus utiliza criostatos, que son grandes contenedores hechos de fibra de vidrio/resina llenos de nitrógeno líquido en lugar de los frascos individuales Dewar que usa Alcor, que son más caros. Todos los pacientes, los animales domésticos y los tejidos criopreservados en KrioRus están almacenados en dos grandes criostatos especialmente diseñados por KrioRus, que ha adquirido suficiente experiencia para construir nuevos criostatos para sus nuevas instalaciones, además de los planes para instalar un nuevo centro en Suiza.

KrioRus cobra 12 000 euros por las neuropreservaciones y 36 000 euros por las criopreservaciones de cuerpo completo, sin incluir los elevados costes de Espera/Estabilización/Transporte, que varían mucho según el lugar de origen del paciente. La criopreservación de animales y tejidos es más barata, dependiendo del tamaño y de otras condiciones especiales. En la última década, KrioRus ha logrado atraer a pacientes no solo de Rusia, sino también de otros países de Europa, como Italia, los Países Bajos y Suiza, y de mucho más lejos como Australia, Japón y Estados Unidos. Al igual que en el caso de Alcor, más de la mitad de los pacientes son neuropreservados. El crecimiento relativamente rápido de KrioRus indica que un servicio efectivo y asequible puede ayudar a popularizar la criopreservación.

Hasta 2017, había al menos tres españoles criopreservados, dos en Alcor y uno en un pequeño centro de reciente creación en Alemania^[238]. Además, hay otro caso de neuropreservación en Argentina, y posiblemente haya otros casos más de

iberoamericanos que no son conocidos, pues mucha gente y sus familias prefieren mantener la privacidad, algo comprensible, especialmente en estos temas tan controvertidos.

De nuevo, insistimos en que la vida apareció para vivir, no para morir. Seguramente seremos capaces de curar el envejecimiento a mediados de este siglo, pero es fundamental declarar la guerra al envejecimiento para que así ocurra. Mientras tanto, la criónica es el Plan B. Ya existen las pruebas de concepto que apuntan a que la esperanza de vida indefinida es posible, y que la criónica es posible también. Ahora necesitamos más avances científicos para resolver problemas técnicos, porque sabemos que es posible, y cuanto antes lo hagamos, mejor para la humanidad. Cada vida que se pierde es una tragedia, sin duda una tragedia personal, además de una pérdida para la sociedad en su conjunto, pero podemos detenerla. Mientras llega la muerte de la muerte, mientras avanzamos hacia una esperanza de vida indefinida: ¡larga vida a la criopreservación!

Una ambulancia hacia el futuro

La creación de la ambulancia es una de las innovaciones más importantes de la historia de la medicina. Si alguien se lesiona o sufre una urgencia médica, la llegada a tiempo de una ambulancia puede marcar la diferencia entre la vida y la muerte. Esa persona es víctima por estar en el «lugar equivocado», pues necesitaba ayuda médica pero no estaba en un lugar en el que la ayuda médica estaba disponible de forma inmediata. Sin embargo, una ambulancia implica la posibilidad de que esa persona sea trasladada a un centro con los recursos necesarios para atenderla, es decir, un lugar con el equipamiento preciso, con medicinas y con profesionales sanitarios convenientemente preparados.

Puede que algunos se quejen un poco de los costes de determinados servicios de ambulancia. Algunos críticos opinan que los servicios de ambulancia deberían ser más baratos sin que su calidad se viera resentida. En cambio, es difícil encontrar a alguien que se queje de los servicios de ambulancia en sí. No se escucha a nadie decir que si alguien sufre una urgencia médica lejos de un hospital debe resignarse a su mala suerte y aceptar su destino estoicamente. Ni tampoco se escucha a nadie tachar de egoístas o inmaduros a quienes piden una ambulancia para un progenitor enfermo, un hijo o un hermano herido. Por el contrario, la sociedad acepta de buen grado que es natural exigir un transporte rápido y seguro que nos lleve desde una zona de peligro hasta un lugar en el que el que tratar eficazmente una urgencia médica. Así, el enfermo o el herido tiene la posibilidad de ser atendido y seguir vivo durante algunas décadas más.

Pero analicemos ahora nuestra actitud hacia alguien que sufre una urgencia

médica en «el momento equivocado». Esto ocurre cuando alguien contrae una enfermedad que está a punto de matarle pero que se prevé que la ciencia médica será capaz de curar en, pongamos, tres décadas. ¿Cómo proporcionarle a esa persona una «ambulancia hacia el futuro»? Pongamos el caso de que hubiera por lo menos un 5% de posibilidades de que dicha «ambulancia» funcione. Ese mecanismo existe y es la preservación criónica a bajas temperaturas, que permite al paciente entrar en una especie de coma en el que todos sus procesos fisiológicos normales entran en suspensión. ¿Deberíamos aceptar la posibilidad de utilizar un vehículo de rescate de estas características? ¿O deberíamos por el contrario instar a la víctima de esta crisis médica a que evite pensar en dicha posibilidad? En otras palabras, ¿deberíamos pedir a la víctima que acepte su destino (la muerte inminente) estoicamente? Y si alguno de sus familiares, enfrentado a la posibilidad de poder conversar e interactuar en el futuro con la persona agonizante, pidiera la utilización de este tipo de servicio de ambulancia, ¿deberíamos reprocharle su egoísmo e inmadurez?

Esta analogía dista mucho de ser perfecta. En el caso de ambulancias que transportan pacientes hasta un hospital existen multitud de casos cada día en los que el viaje culmina con éxito. Pero aún no se ha llevado a cabo ningún viaje de décadas de un paciente humano criopreservado con suspensión corporal a baja temperatura. Son accesibles las fotografías de los cilindros de almacenamiento en los que los pacientes han sido criopreservados, a veces en su totalidad, y a veces solo las cabezas, con la esperanza de que la ciencia del futuro sea capaz de regenerar un cuerpo nuevo a partir del cerebro. Pero no está garantizado que la ciencia médica logre progresar hasta el punto de que estos pacientes puedan ser reanimados con éxito.

Los argumentos contra la idea de la criopreservación humana son un reflejo de los argumentos en contra del rejuvenecimiento humano. Algunos críticos dicen que la criopreservación *no es posible*: los retos técnicos que supone despertar a alguien que está a una temperatura tan baja son tremendamente complicados. El proceso para disminuir la temperatura corporal hasta niveles bajos puede dañar el cuerpo de forma irreparable, a pesar del uso preciso de anticongelante, crioprotectores y demás productos químicos sofisticados. Al fin y al cabo, estos productos químicos son en sí mismos toxinas y el proceso de enfriamiento de órganos grandes puede generar fracturas. Otros críticos alegan que la criogenia *ni siquiera debe tenerse en cuenta*, ya que es moralmente reprochable. Sostienen que supone un mal uso de recursos valiosos, un delirio retorcido, un engaño financiero o cosas peores.

Nuestra respuesta a estas críticas, igual que nuestra respuesta a las críticas del rejuvenecimiento, es que estamos en completo desacuerdo. En ambos casos creemos que la mayoría de las críticas se basan en una mala información o están motivadas por una manera de pensar errónea, cuando no por otras causas a menudo ocultas. En ambos casos —el rejuvenecimiento y la criopreservación— aceptamos que la labor científica y tecnológica será difícil. Pero no vemos razones científicas que nos lleven

a concluir que en ninguno de los dos casos la tarea sea imposible. A su debido tiempo seremos capaces de crear soluciones plenamente satisfactorias. En ambos casos somos testigos de que ya se está desarrollando un conjunto de precursores que nos indican la dirección que hay que seguir para dar con una solución viable basada en la tecnología.

Un precursor de la criopreservación es el campo conocido como hipotermia terapéutica. En 1999, la estudiante noruega de medicina Anna Bågenholm estaba esquiando fuera de pista en un descenso empinado de una región al norte de Noruega cuando cayó en un arroyo montañoso helado. Cuando el helicóptero de rescate llegó, había permanecido en agua congelada durante 80 minutos y su circulación sanguínea había estado detenida durante 40 minutos, tal y como informó un artículo en la revista médica inglesa *The Lancet*: «Resurrección tras hipotermia accidental a una temperatura de 13,7 °C y en parada cardiorrespiratoria^[239]». En un artículo para *The Guardian* titulado «Entre la vida y la muerte. El poder de la hipotermia terapéutica», el reportero David Cox daba más detalles^[240]:

En el momento en que Bågenholm llegó al Hospital Universitario del norte de Noruega en Tromsø, su corazón llevaba parado bastante más de dos horas. Su temperatura interna era de 13,7 °C. Estaba clínicamente muerta en todos los sentidos.

Sin embargo, en Noruega hay un viejo dicho desde hace tres décadas que sostiene que uno no está muerto hasta que está caliente y muerto. Mads Gilbert es el jefe de urgencias del hospital y por experiencia sabía que había una pequeña posibilidad de que el frío extremo la hubiera mantenido viva.

«Durante los últimos veinticocho años, ha habido 34 víctimas de accidentes por hipotermia con parada cardiorrespiratoria que fueron calentados mediante un *bypass* cardiopulmonar y el 30% sobrevivió —dijo—. La cuestión fundamental es: ¿se produce el enfriamiento antes de sufrir la parada cardíaca o primero se produce la parada circulatoria y después el enfriamiento?».

Cox prosigue con una explicación sobre aspectos fundamentales de la biología subyacente a este proceso:

Aunque el descenso de la temperatura corporal hará que se pare el corazón, también hará que se reduzca la necesidad de oxígeno del cuerpo y sobre todo de las células cerebrales. Si los órganos vitales han sido enfriados suficientemente antes de que ocurra la parada cardíaca, se pospone la muerte inevitable de las células producto de la falta de circulación, lo que da a los servicios de emergencia un tiempo extra para intentar salvar la vida del paciente.

«La hipotermia es fascinante porque es un arma de doble filo —dice Gilbert—. Por un lado puede protegerte, pero por el otro te matará. Todo depende del nivel de control de la hipotermia. Es probable que Anna se enfriara de forma lo suficientemente lenta pero de forma eficiente, de manera que cuando su corazón se paró, su cerebro ya estaba frío, por lo que la necesidad de oxígeno de las células cerebrales era nula. Una buena RCP (resurrección cardiopulmonar) puede proporcionar entre un 30 y 40% de la circulación sanguínea del cerebro y en estos casos suele bastar para mantener con vida al paciente a veces incluso durante siete horas mientras intentamos reanimar el corazón».

Afortunadamente, Bågenholm se recuperó casi por completo. Diez años más tarde trabajaba como radióloga en el hospital en el que le salvaron la vida. Bågenholm había experimentado una hipotermia accidental. Cada vez con más frecuencia, los médicos inducen la hipotermia de forma deliberada para ganar tiempo y llevar a cabo complicados procedimientos médicos. En su libro *Medicina Extrema*

(*Extreme Medicine*^[241]), el médico estadounidense Kevin Fong cuenta la historia del tratamiento suministrado a Esmail Dezhbod en 2010^[242]:

Los síntomas mostrados por Esmail Dezhbod habían empezado a preocuparle. Sentía una presión en el pecho que a veces se traducía en mucho dolor. Un escáner corporal reveló que Esmail tenía serios problemas. Tenía un aneurisma en la aorta torácica, una hinchazón del principal afluyente arterial que salía de su corazón. La arteria había crecido hasta alcanzar la anchura de una lata de Coca-Cola.

Esmail tenía una bomba en el pecho que podía explotar en cualquier momento. En otras partes del cuerpo, las aneurismas suelen poder repararse con relativa facilidad. Pero en esa ubicación, tan cerca del corazón, no había una solución fácil. La aorta torácica transporta sangre desde el corazón hacia la mitad superior del cuerpo, y suministra oxígeno al cerebro y a otros órganos. Para reparar la aneurisma, había que interrumpir el flujo deteniendo el corazón. A temperaturas corporales normales, esto y la falta de oxígeno asociada dañarían el cerebro, lo que produciría una discapacidad permanente o la muerte en tres o cuatro minutos.

El cirujano de Esmail, el especialista en cardiología John Elefteriades, decidió llevar a cabo la operación en condiciones de profunda parada hipotérmica. Para enfriar el cuerpo de Esmail hasta tan solo los 64,4 °F, utilizó un *bypass* cardiopulmonar. Después detuvo el corazón completamente. Después, con el corazón y la circulación detenidos, Elefteriades realizó la complicada reparación en una carrera contra reloj mientras su paciente se moría sobre la mesa de operaciones...

Es una operación delicada:

Aunque Elefteriades tiene mucha experiencia en la parada hipotérmica, dice que en todas las ocasiones siente como si diera una especie de salto de fe. Una vez la circulación se detiene, no tiene más de 45 minutos antes de que el daño sea irreversible en el cerebro del paciente. Sin la hipotermia inducida, el tiempo con el que contaría sería tan solo de cuatro minutos.

El médico dibuja los puntos con elegancia y eficiencia, todos los movimientos cuentan. Tiene que cortar la sección dañada de la aorta, una longitud de unas seis pulgadas, luego tiene que reemplazarla con un injerto artificial. En este punto, la actividad eléctrica en el cerebro de Esmail es indetectable. Ni respira ni tiene pulso. Físicamente y bioquímicamente, es indistinguible de un cadáver.

Merece la pena enfatizar esa frase: «físicamente y bioquímicamente, es indistinguible de un cadáver». Sin embargo, sigue siendo susceptible de ser revivido. Fong continúa:

Tras 32 minutos, la reparación está terminada. El equipo calienta el cuerpo enfriado de Esmail y su corazón vuelve rápidamente a la vida, late de forma preciosa y proporciona un suministro de oxígeno fresco hacia el cerebro por primera vez desde hace más de media hora.

Fong cuenta también que visitó al paciente en la unidad de cuidados intensivos al día siguiente:

Está despierto y bien. Su mujer está a su lado, no cabe en sí de alegría al verle de vuelta.

¿Quién sería capaz de privar a la esposa del paciente de la oportunidad de vivir un reencuentro feliz con su marido? No obstante, los críticos de la criopreservación niegan a los demás la oportunidad de un reencuentro igualmente feliz con sus familiares y amigos queridos tras la culminación de la suspensión criónica. Algunos dirán que entre la hipotermia terapéutica y la criónica existe un abismo insalvable. La temperatura necesaria para la criopreservación —la temperatura del nitrógeno líquido— es mucho más baja y la escala temporal de la suspensión es mucho más larga.

Como respuesta, seguimos pensando que existen razones poderosas para creer que ese abismo se acabará superando.

Sin congelación

Un segundo precursor que nos indica el camino hacia el éxito de la tecnología criónica es el hecho de que algunos organismos pueden sobrevivir a varios tipos de hibernación bajo cero. Por ejemplo, la ardilla de tierra ártica hiberna hasta ocho meses al año. Durante ese tiempo su temperatura baja de los 36 °C a los -3 °C y la temperatura exterior puede llegar a ser de -30 °C. La revista científica *New Scientist* informa de que^[243]:

Para evitar que la sangre se congele, las ardillas la limpian de cualquier partícula de agua que pudiera formar cristales de agua a su alrededor. Esto permite que la sangre se mantenga en estado líquido por debajo de los cero grados, un fenómeno llamado sobrefusión o superenfriamiento.

Varias especies de peces de las regiones árticas pueden sobrevivir en agua salada por debajo del punto de congelación del agua dulce. Parece que consiguen hacerlo sin que su sangre se congele con la ayuda de las llamadas proteínas anticongelantes (PAC). Las PAC evitan la formación de cristales de hielo. Algunas especies de insectos, bacterias y plantas también recurren a las PAC^[244]. Asombrosamente, se ha descubierto que las larvas del escarabajo de Alaska han llegado a sobrevivir a temperaturas de -150° C gracias a la adopción de un estado de vitrificación parecido al del cristal^[245].

La especie campeona de la supervivencia a temperaturas ultrabajas son los tardígrados, también conocidos como «osos de agua». Los tardígrados son muy pequeños, no alcanzan los 2 milímetros. Desde el punto de vista evolutivo, también es una especie ancestral presente en la Tierra desde hace más de 500 millones de años, desde la era cámbrica. Un artículo de *BBC Earth* describe su tolerancia a temperaturas aún más bajas que las del nitrógeno líquido usado en la criopreservación (-196 °C). El artículo hace referencia a los experimentos llevados a cabo en la década de 1920 por Gilbert Franz Rahm, un biólogo y monje benedictino alemán^[246]:

Rahm sumergió a los tardígrados en aire líquido a -200° C durante 21 meses, en nitrógeno líquido a -253° C durante 26 horas y en helio líquido a -272° C durante 8 horas. Los tardígrados volvieron a la vida tan pronto como entraron en contacto con el agua.

Sabemos que algunos tardígrados toleran permanecer congelados a -272,8° C, justo un poco por encima del cero absoluto... Los tardígrados hicieron frente a un frío extremo que no ocurre de forma natural y debe ser creado en el laboratorio. Un frío en el que los átomos prácticamente se detienen.

El mayor peligro al que se enfrentan los tardígrados en el frío es el hielo. Si dentro de sus células se forman cristales de hielo, estos pueden romper moléculas cruciales como el ADN.

Algunos animales, entre los que se encuentran algunos peces, crean proteínas anticongelantes que hacen disminuir el punto de congelación de sus células asegurándose así de que no se forme hielo. Pero esas proteínas no parecen estar presentes en los tardígrados.

Por el contrario, parece que los tardígrados pueden tolerar la formación de hielo en el interior de las células. O bien pueden protegerse ellos mismos del daño causado por los cristales de hielo, o bien pueden reparar dicho daño.

Los tardígrados pueden producir productos químicos conocidos como agentes nucleantes de hielo. Estos agentes propician la creación de cristales de hielo fuera de las células y no en su interior, lo que protege las moléculas vitales. El azúcar trehalosa también puede proteger a las células que la producen, ya que previene la formación de cristales grandes de hielo que perforarían las membranas celulares.

Los gusanos nematodos *C. elegans*, cuya longevidad también se puede modificar drásticamente como ya han demostrado muchos experimentos, son igualmente interesantes a la hora de hablar de la criónica. Además de los experimentos exitosos de criopreservación y la posterior reanimación, es notable la preservación de los recuerdos en los ejemplares de *C. elegans* durante el proceso de suspensión criónica, mediante el que fueron llevados hasta la temperatura del nitrógeno líquido y posteriormente reanimados. Este experimento estuvo a cargo de la académica y futurista estadounidense Natasha Vita-More, de la Universidad Advancing Technology de Tempe, Arizona, y del joven investigador español Daniel Barranco, de la Universidad de Sevilla. He aquí una descripción del experimento extraída del resumen de su artículo «La persistencia de la memoria a largo plazo en *Caenorhabditis elegans* vitrificados y reanimados», publicado en octubre de 2015 en *Rejuvenation Research*^[247]:

¿Es posible conservar la memoria tras la criopreservación? Nuestra investigación ha intentado contestar esta antigua pregunta usando el gusano nematodo *Caenorhabditis elegans*, un organismo modelo bien conocido en la investigación biológica que ha dado lugar a descubrimientos revolucionarios, pero que no ha sido examinado en lo que se refiere a la retención de la memoria tras su criopreservación. El objetivo de nuestro estudio era comprobar la recuperación de recuerdos tras la vitrificación y la reanimación. Mediante un método de impresión sensorial en *C. elegans* jóvenes, hemos llegado a la conclusión de que el aprendizaje adquirido mediante señales olfativas conforma el comportamiento del animal y que el aprendizaje se mantiene en la edad adulta tras la vitrificación. Nuestro método de investigación incluyó la impresión olfativa mediante el producto químico benzaldehído para la etapa de impresión sensorial olfativa en la fase L1, el método de enfriamiento rápido SafeSpeed para la vitrificación en la fase L2, reanimación y un ensayo de quimiotaxis para comprobar la retención de los recuerdos aprendidos en la edad adulta. Nuestros resultados en la prueba de retención de la memoria tras la criopreservación muestran que los mecanismos que regulan la impresión olfativa (que es una forma de memoria a largo plazo) en *C. elegans* no sufrieron modificación alguna por el proceso de vitrificación o de congelación lenta.

En «La ciencia de la criónica», un artículo del que Vita-More es coautora en la revista tecnológica *MIT Technology Review*, los autores contextualizan la importancia de este resultado con *C. elegans*. La cuestión que se discute es si existe alguna posibilidad de que la memoria y la consciencia humanas puedan sobrevivir tras la suspensión criónica. Vita-More y sus colegas escriben lo siguiente^[248]:

Las características moleculares y electroquímicas del cerebro que sustentan la consciencia mental están muy lejos de ser conocidas en su totalidad. Sin embargo, las evidencias de las que disponemos parecen apoyar la posibilidad de que las características cerebrales que codifican los recuerdos y determinan el comportamiento pueden ser preservadas durante y después de la criopreservación.

La criopreservación ya está siendo utilizada en laboratorios de todo el mundo para conservar células animales, embriones humanos y algunos tejidos complejos durante períodos que llegan a ser de hasta tres décadas. Cuando una muestra biológica es criopreservada, se añaden productos químicos crioprotectores como el DMSO o el propilenglicol, y se baja la temperatura del tejido hasta que quede por debajo de la temperatura de transición vítrea (que suele ser de -120°C). A esas temperaturas, las actividades moleculares se ralentizan en más de 13 órdenes de magnitud, que es algo similar a detener el tiempo biológico.

Aunque nadie conoce en su totalidad todos los detalles de la fisiología de las células, prácticamente cualquier tipo de célula puede ser criopreservada con éxito mediante estas técnicas. De igual manera, las bases neurológicas de la memoria, el comportamiento y demás características de la identidad personal son asombrosamente complejas. La comprensión de esta complejidad es un problema en gran medida independiente de la posibilidad de preservarla.

A continuación, Vita-More y sus colegas destacan las evidencias procedentes de *C. elegans* que señalan que los recuerdos pueden sobrevivir a la criopreservación:

Durante décadas, los *C. elegans* han sido criopreservados a temperaturas del nitrógeno líquido y después devueltos a la vida. Este año, mediante un examen de los recuerdos asociados a impresiones olfativas a largo plazo, uno de nosotros publicó hallazgos que apuntaban a que los *C. elegans* retienen comportamientos aprendidos antes de la criopreservación. Asimismo, se ha demostrado que la potenciación a largo plazo de las neuronas, uno de los mecanismos de la memoria, se mantiene intacta en el tejido cerebral de un conejo tras la criopreservación.

Revertir la criopreservación de órganos humanos grandes, como corazones o riñones, es más difícil que preservar células, pero esta es un área de investigación muy activa que puede conllevar grandes beneficios para la salud pública, ya que aumentaría considerablemente la oferta de órganos para trasplantes. Los investigadores han progresado mucho en esta área. Han conseguido criopreservar y posteriormente trasplantar con éxito ovarios de ovejas y miembros de ratas, y ya se recuperan riñones de conejo tras enfriarlos hasta los -45°C de forma rutinaria. Los esfuerzos por mejorar estas tecnologías apoyan indirectamente la idea de que el cerebro, al igual que cualquier otro órgano, puede ser criopreservado adecuadamente mediante los métodos actuales u otros métodos en desarrollo.

Debemos tener en cuenta que los crionicistas o criopreservacionistas dejan muy claro que los métodos de preservación que utilizan deberían calificarse como «vitrificación» y no como «congelación». La diferencia se puede explicar de forma muy clara mediante sencillos gráficos fáciles de comprender, disponibles en la página web de Alcor. La principal conclusión es que^[249]:

Como no se crea hielo, la vitrificación puede solidificar tejidos sin dañarlos a nivel estructural.

Teniendo esto en cuenta, es (casi) asombroso que muchos críticos de renombre contra la criónica intenten desacreditar todo el concepto mostrando teatralmente el daño estructural infligido a frutas y verduras (como fresas y zanahorias) cuando son congeladas y luego descongeladas. Los críticos rozan la mofa: *¿cómo pueden los crionicistas o criopreservacionistas ser tan estúpidos?* Nosotros nos vemos tentados a mofarnos de ellos: *¿cómo pueden estos críticos entender cuestiones tan básicas de manera tan errónea?* ¿Desconocen estos críticos el éxito de la criopreservación de embriones humanos (fundamental en los tratamientos de fecundación *in vitro*)? ¿No han oído hablar de la vitrificación del riñón de un conejo llevada a cabo en 2002 por el científico estadounidense Greg Fahy y sus colegas de 21st-Century Medicine? El riñón fue enfriado hasta los -122°C y después descongelado para ser trasplantado

como órgano funcional en otro conejo^[250].

Como hemos podido analizar en otros casos, hay cosas que trascienden el debate racional. Se trata de otro ejemplo más del abismo que separa dos paradigmas. Las presiones ejercidas por la psicología adversa hacen que para algunos observadores sea difícil tomarse en serio la posibilidad de la criopreservación. La posibilidad de que la criónica funcione supone una gran amenaza para el marco de las ideas en el que mucha gente se ha encerrado. Ese marco dice que «la gente normal acepta la inevitabilidad del envejecimiento y de la muerte, y no debería revelarse contra tal conclusión». Por tanto, la gente que ha crecido cómodamente dentro de esta conclusión ve legítimo atacar la cosmovisión de la criónica. Esto puede explicar por qué repiten tan alegremente objeciones técnicas, objeciones económicas u objeciones sociológicas como si fueran loros. Francamente, estas objeciones no resisten ningún examen riguroso. Como explica el filósofo británico Max More^[251]:

Miraremos hacia atrás dentro de cincuenta a cien años a partir de ahora, sacudiremos la cabeza y diremos: «¿en qué estaba pensando la gente? En vez de criopreservarlas, enterraban bajo tierra o metían en un horno a personas casi viables, apenas disfuncionales». Creo que veremos esto entonces de la misma forma que hoy miramos la esclavitud, el maltrato a las mujeres y los sacrificios humanos, y diremos, «qué locura, qué tragedia».

El auge que se avecina de la criónica y otras tecnologías futuras

Sobre la criónica se podría decir mucho más y desde múltiples puntos de vista. Lleva bastante tiempo revisar todas las objeciones y malentendidos que se han generado a su alrededor. Para acceder a una introducción sugerente sobre el tema, recomendamos el exhaustivo artículo de marzo de 2016 escrito en la publicación digital Wait But Why por el bloguero estadounidense Tim Urban bajo el título «Por qué la criónica tiene sentido^[252]».

Ese excelente artículo incluye indicaciones sobre muchas otras materias relacionadas con la criónica. Quizás los lectores también aprecien las variadas perspectivas que contiene el volumen *Preservar mentes, preservar vidas*, disponible gratis en la página web de Alcor^[253].

Nos proponemos hacer ahora unos breves comentarios finales sobre la criónica y sobre por qué pensamos que no solo es viable sino que además va a avanzar mucho en los próximos años:

- Los costes económicos de la preservación criónica, el almacenamiento a largo plazo y (si todo va bien) una eventual reanimación ya pueden incluirse en las pólizas de seguro de vida.

- Los costes económicos derivados de la criopreservación de un solo paciente podrían descender en varios órdenes de magnitud si el número de pacientes creciera significativamente; es el conocido principio de las «economías de escala».
- Mientras el paradigma de «aceptación del envejecimiento» siga siendo mayoritario, gran parte de la gente sufrirá una fuerte presión social y psicológica en contra de la investigación criónica y, por tanto, será reacia a firmar contratos de criopreservación. Sin embargo, a medida que este paradigma vaya retrocediendo (tal y como pensamos que ocurrirá) debido a la creciente publicidad que ofrecerán los avances en rejuvenecimiento, además de los propios avances en criopreservación, un número creciente de gente se abrirá a la posibilidad de la criónica.
- El interés creciente en la materia también llevará a que más gente lleve a cabo investigaciones para mejorar la criónica. Esto incluirá mejoras en la tecnología, en la ingeniería, en las redes de apoyo, en los modelos de negocio, en los marcos organizativos y en los métodos para comunicar estos avances a un público más amplio. A su vez, las innovaciones que tendrán lugar harán aumentar el atractivo de la criónica.
- A medida que figuras relevantes procedentes de campos como el entretenimiento, los negocios, la academia y las artes apoyen esta idea se abrirá el camino para que el público en general se sienta cómodo y admita sentirse identificado como crionista o criopreservacionista.

No obstante, la criónica está lejos de ser la única idea mediante la que se puede transportar gente (por decirlo de alguna manera) por esta ambulancia temporal desde la presente era AR (Antes del Rejuvenecimiento) hasta la próxima era DR (Después del Rejuvenecimiento). Lo que sí es seguro es que la criónica seguirá expandiéndose por el mundo, especialmente ahora que estamos tan cerca de revertir el envejecimiento. Estamos ante la última generación de mortales y ante la primera de inmortales, y la gente no va a querer morir y que la incineren o la entierren cuando sepan que existen alternativas, aunque todavía con baja probabilidad, de reanimarlas en el futuro.

La criopreservación es la principal «alternativa radical» que mencionamos aquí, pero no es la única posibilidad que nos ofrecerá el futuro. Lo que motiva la criopreservación es la posibilidad de que, en algún momento, la medicina haya avanzado tanto como para que estén disponibles terapias de rejuvenecimiento extremadamente potentes. La aplicación de estas terapias futuras curaría a los pacientes de lo que sea que estuviera a punto de acabar con sus vidas antes de ser suspendidos a través de la criónica. En principio, la aplicación de estas terapias devolvería a los pacientes a un excelente estado de salud. Mientras tanto, creemos

que será relativamente barato mantenerlos en una cápsula llena de nitrógeno líquido indefinidamente.

Los científicos también están llevando a cabo experimentos para conservar el cerebro de otras maneras. Creemos que lo fundamental es preservar la estructura de las sinapsis en el momento que la persona fallece. También es posible que podamos leer el contenido de las conexiones cerebrales con otros métodos y tecnologías, incluso antes que la persona muera. Ya existen aparatos que capturan la información de más de 500 neuronas a nivel individual, número que seguirá aumentando a un ritmo exponencial.

Desde el punto de vista informático o computacional, apenas estamos comenzando a comprender la complejidad del cerebro humano. Nuestro cerebro, que contiene casi cien mil millones de neuronas, es la estructura más compleja del universo conocido hasta el momento. Sin embargo, hay científicos trabajando en la creación de cerebros artificiales y estiman que en dos o tres décadas podremos crear estructuras más complejas que el cerebro humano. Gracias a la Ley de Retornos Acelerados de Kurzweil (y a la anterior Ley de Moore), que indica el crecimiento exponencial del poder de los ordenadores, es posible que una inteligencia artificial pase el Test de Turing en 2029 y que alcance la «singularidad tecnológica» en 2045. Llegado ese momento, será imposible diferenciar entre una inteligencia artificial y una inteligencia humana. Entonces será también posible subir todos los conocimientos, recuerdos, experiencias, y sentimientos a ordenadores o a internet (la «nube»), que incluso tendrán una memoria expandible y superior a la memoria humana.

La memoria artificial, además, también mejorará y crecerá, al igual que la capacidad y la velocidad de procesamiento de la inteligencia artificial. Todo será parte de un proceso acelerado de mejora de la inteligencia humana gracias a la continua evolución tecnológica. La humanidad apenas está comenzando a transitar el fascinante camino de la evolución biológica a la evolución tecnológica, una nueva evolución consciente e inteligente. Según indica Kurzweil, un kilogramo de «computronio» (la hipotética unidad máxima de computación de la materia) tiene la capacidad teórica para procesar cerca de 5×10^{50} operaciones por segundo, algo que adquiere su verdadera dimensión si lo comparamos con un cerebro humano que puede procesar entre 10^{17} y 10^{19} operaciones por segundo (según diferentes estimaciones). De forma que todavía tenemos un potencial enorme por desarrollar, de varios órdenes de magnitud, para seguir aumentando la inteligencia humana y más tarde poshumana, pasando de los cerebros biológicos convencionales a cerebros posbiológicos aumentados. Todo esto forma parte de las ideas de la extensión y de la expansión de la vida. Así concluye Kurzweil su libro *Cómo crear una mente*^[254]:

Nuestro destino es despertar al universo para luego decidir inteligentemente cuál es su futuro imbuyéndole de inteligencia humana en su forma no biológica.

El futuro depende de nosotros

El rápido progreso de la verdadera ciencia hace que algunas veces me lamente de haber nacido demasiado pronto. Es imposible imaginar el nivel de desarrollo que alcanzará en mil años el poder del hombre sobre la materia [...] Todas las enfermedades podrán ser prevenidas o curadas por métodos seguros (sin exceptuar el envejecimiento), y nuestras vidas alargadas a placer, incluso más allá del estándar antediluviano.

BENJAMIN FRANKLIN, 1780

Este no es el final. No es ni siquiera el principio del final. Pero quizás sea el final del principio.

WINSTON CHURCHILL, 1942

Queremos vivir para siempre, y estamos cerca de conseguirlo.

BILL CLINTON, 1999

No tengo ninguna intención de morirme.

SERGUÉI BRIN, 2017

La idea del rejuvenecimiento ha hecho grandes progresos durante las últimas tres décadas gracias a los avances científicos. Actualmente, el envejecimiento se comprende mucho mejor que en tiempos pasados. Es más, tal y como hemos intentado mostrar en capítulos anteriores, hay muchas razones para anticipar una aceleración del progreso durante las próximas dos o tres décadas. Este progreso debería incluir la creación de terapias prácticas basadas en la bioingeniería que saquen cada vez más partido del aumento de nuestro conocimiento teórico. Es realista pensar que nos aguardan escenarios en los que, hacia 2045, viviremos en sociedades mucho más avanzadas donde las terribles enfermedades asociadas al envejecimiento se hayan convertido en casos excepcionales, como lo son hoy la polio o la viruela.

Sin embargo, también nos aguardan muchas incertidumbres. Estas incógnitas no son meros detalles, y van desde saber qué medicamento demostrará tener el mayor impacto a corto plazo sobre la esperanza de vida saludable, hasta dar con el algoritmo de IA que nos proporcione la información más valiosa sobre las modificaciones genéticas. Estas dudas son fundamentales, ya que están relacionadas con problemas que podrían poner en peligro el proyecto de la ingeniería del rejuvenecimiento en su conjunto.

Ha llegado el momento de fijar la atención en los que podrían ser los obstáculos más importantes en el camino hacia la abolición del envejecimiento. Entre todas las preguntas sobre el potencial que conlleva la ingeniería del rejuvenecimiento,

consideraremos ahora algunas de las más difíciles de contestar.

¿Complicaciones excepcionales en la ingeniería?

A veces los problemas resultan ser mucho más difíciles de resolver de lo que habíamos esperado. Pensemos, por ejemplo, en la fusión nuclear, pues se sigue diciendo que la fusión nuclear se conseguirá dentro de treinta años. Un artículo reciente del divulgador científico estadounidense Nathaniel Scharping en la revista *Discover*, «Por qué siempre faltan treinta años para conseguir la fusión nuclear», resume la experiencia de la industria de la fusión nuclear^[255]:

La fusión nuclear se considera desde hace mucho el «santo grial» de la investigación energética. Representa una fuente casi ilimitada de energía limpia, segura y autosostenible. Desde el primer momento en que, en la década de 1920, el físico británico Arthur Eddington teorizó sobre su existencia, la fusión nuclear ha cautivado la imaginación tanto de científicos como de escritores de ciencia ficción.

En sí misma, la fusión es un concepto sencillo. Se toman dos isótopos de hidrógeno y se hace que colisionen a una gran velocidad. Los dos átomos vencen su repulsión natural y se fusionan, lo que produce una reacción que desprende enormes cantidades de energía.

Pero los grandes resultados conllevan inversiones igualmente grandes, y durante décadas hemos venido luchando contra el problema de la activación y mantenimiento del combustible de hidrógeno cuando este alcanza temperaturas superiores a los 150 millones de grados Fahrenheit.

Los avances más recientes se han producido en Alemania, donde el reactor Wendelstein 7-X anunció hace poco que había realizado con éxito una prueba en la que casi se alcanzaron los 180 millones de grados, y en China, donde el reactor EAST sostuvo un plasma de fusión durante 102 segundos, aunque a temperaturas más bajas.

Pese a estos pasos en la buena dirección, los investigadores llevan diciendo durante décadas que seguimos estando a treinta años de conseguir un reactor de fusión. Incluso a medida que los científicos dan pasos hacia la consecución de su santo grial, se hace cada vez más evidente que ni siquiera sabemos qué es aquello que no sabemos.

El problema es que cada paso adelante parece dar lugar a nuevas cuestiones que son igual de difíciles de resolver que las anteriores, es decir, cada respuesta genera nuevas preguntas:

Los experimentos de los reactores Wendelstein 7-X e EAST fueron calificados de «avances», una palabra que se aplica a los experimentos de fusión con asiduidad. Independientemente de lo excitantes que pudieran resultar los experimentos, si los comparamos con la magnitud del problema no son más que pasitos de bebé. Es obvio que se necesitarán más de uno y más de una docena de dichos «avances» para conseguir la fusión.

«No creo que estemos en condiciones de saber lo que tenemos que hacer para superar ese umbral», dijo Mark Herrmann, director de la instalación NIF (National Ignition Facility), en California. «Todavía estamos averiguando los detalles científicos. Puede que hayamos eliminado algunos impedimentos pero, una vez lo consigamos con todos, ¿nos aguardarán más cosas ahora ocultas? Casi con toda seguridad que así será, e ignoramos lo difícil que será resolverlas».

¿Es posible que una serie de problemas similares de dificultad creciente aguarde al proyecto de la ingeniería del rejuvenecimiento? Puede que cada nuevo ajuste de la biología humana que mejore ciertos aspectos de la longevidad saludable conlleve sus

propios inconvenientes. A lo mejor conseguimos reforzar el sistema inmunológico pero a costa de que el sistema inmunológico ataque células que el cuerpo necesita para su funcionamiento normal, igual que la diabetes tipo 1 puede deberse a un sistema inmunológico demasiado agresivo que destruye isletas celulares en el páncreas que, si atacara, producirían insulina. Además, una segunda intervención de la ingeniería para eludir ese efecto secundario indeseado podría a su vez generar todavía más complicaciones. De igual manera, el alargamiento de los telómeros podría incrementar la incidencia del cáncer. Aunque no es probable, sí es posible.

Una razón para dudar de que un estancamiento tan profundo aguarde a la ingeniería del rejuvenecimiento es que sabemos de animales, incluidos algunos que muestran envejecimiento nulo, que tienen esperanzas de vida mucho más grandes que los humanos. No obstante, en principio es posible que los atributos únicos de los humanos puedan de alguna manera entorpecer el progreso de la ingeniería que nos dotaría de un envejecimiento nulo. De una manera que todavía no comprendemos, podría darse el caso de que la ingeniería del rejuvenecimiento sufriera el mismo destino que la fusión nuclear y que su aparición se retrasara permanentemente en el tiempo.

Al fin y al cabo, a veces un problema que es fácil de enunciar requiere de enormes capacidades de procesamiento para ser resuelto. El problema matemático conocido como último teorema de Fermat es buen ejemplo de ello. El teorema fue enunciado en los márgenes de una copia de un libro de texto escrito por el matemático francés Pierre de Fermat en 1637. Es muy corto: «la ecuación $a^n + b^n = c^n$ no tiene solución dentro de los números enteros positivos si n es un número entero mayor que 2». Sin embargo, al conjunto de la comunidad de matemáticos le llevó un total de 358 años demostrar el teorema. La demostración del matemático inglés Andrew Wiles, ocupó más de 120 páginas cuando fue publicada en dos artículos en *Annals of Mathematics* en 1995, incluidas casi 10 páginas de referencias a artículos matemáticos anteriores^[256]. Con seguridad, este largo período de siglos de avances habría sorprendido a Fermat; de hecho, Fermat estaba convencido de haber proporcionado una demostración del teorema que, sin embargo, era demasiado larga como para que le cupiera en los márgenes del libro.

Pese a las comparaciones que se puedan establecer entre la fusión nuclear y el último teorema de Fermat, creemos que es improbable que nos aguarden barreras de ingeniería insalvables en el camino de la ingeniería del rejuvenecimiento. No hay una técnica de ingeniería exclusiva por desarrollar. Antes al contrario, son numerosas las diferentes intervenciones basadas en la ingeniería del rejuvenecimiento a tener en cuenta.

Además, el lento progreso de la fusión nuclear puede deberse a factores que no son estrictamente dificultades técnicas. En su artículo de *Discovery*, Scharping sostiene que el proyecto de la fusión no ha contado con suficiente financiación y que está sufriendo retrasos debido a dificultades políticas en el campo de la cooperación

internacional, «algo más que un problema científico»:

En último término, la cuestión puede reducirse a la financiación. Múltiples fuentes dijeron estar convencidas de que su investigación podría avanzar más deprisa si recibieran más apoyo. Ciertamente, los retos de financiación no son algo nuevo en la investigación científica, pero la fusión nuclear es un campo particularmente difícil debido a que en él la financiación debe abarcar generaciones enteras. Pese a que los beneficios potenciales son evidentes, ya que resolverían cuestiones relacionadas con la escasez energética y el cambio climático, tan importantes hoy día, aún queda lejos el momento en el que veamos recompensados los esfuerzos de investigación en el campo de la fusión.

La búsqueda de beneficios inmediatos de nuestras inversiones frustra la investigación sobre fusión, dice Laban Coblentz, jefe de comunicación del reactor de fusión ITER, en Francia.

«Queremos que los entrenadores de fútbol proporcionen triunfos en dos años y, si no, se les echa. Nuestros políticos tienen dos, cuatro o seis años o se les echa. En general, el tiempo para generar beneficios tras una inversión es muy corto —dijo—. De manera que, cuando alguien dice que lo conseguirá en diez años, la cosa se complica».

En Estados Unidos, la investigación en fusión recibe menos de 600 millones de dólares de financiación al año, incluyendo las contribuciones que se hacen al ITER. Es una suma relativamente pequeña si la comparamos con los 3 mil millones de dólares que pidió el Departamento de Energía para investigaciones energéticas en 2013. Además, la investigación global en energía representa el 8% del total de los fondos que Estados Unidos destina anualmente a la investigación.

«Si comparamos estas cifras destinadas a presupuestos energéticos con lo gastado en el Departamento de Defensa, podemos ver lo pequeñas que son las cifras destinadas a la energía —dice Thomas Pedersen, jefe de división en el Instituto Max Planck de física de plasmas—. Si nos comparas con otros proyectos de investigación, salimos muy caros, pero si nos comparas con lo destinado a la producción de petróleo o de molinos de viento, o a los subsidios que reciben las renovables, nosotros recibimos muchísimo menos».

Sharping llega a la conclusión de que el progreso en la fusión nuclear se reduce a una cuestión de voluntad política:

Siempre quedan treinta años para llegar a la fusión.

Sin embargo, desde hace algún tiempo puede atisbarse la línea de meta, una cumbre que parece alejarse con cada paso adelante que damos. Lo que es oscuro es el camino, bloqueado por obstáculos que no son solo tecnológicos, sino también políticos y económicos. Coblentz, (Hutch) Neilson y (Duarte) Borba dijeron no tener dudas de la viabilidad de la fusión. Sin embargo, cuándo la conseguiremos es una cuestión que depende mucho de cuánto la deseemos.

Es posible que Lev Artsimovich, científico soviético y «padre del Tokamak», haya sido el que mejor haya resumido la cuestión:

«La fusión se conseguirá cuando la sociedad la necesite».

A este respecto, conviene comparar la fusión y la ingeniería del rejuvenecimiento:

- Los retos de ingeniería son muy complicados en ambos casos, pero no son en absoluto irresolubles.
- El progreso en la resolución de estos retos dependerá de una extensa colaboración internacional que cuente con un gran apoyo a nivel político.
- La velocidad con la que se cree y apoye esta amplia colaboración internacional dependerá a su vez del nivel de exigencia de una solución por parte de la opinión pública.

Podemos especular con la idea de que si la supervivencia de la raza humana hubiera dependido de la demostración del último teorema de Fermat, dicha demostración se habría conseguido mucho antes. Una mentalidad de asedio bélico puede hacer milagros, *siempre y cuando exista una infraestructura adecuada para sostener la colaboración entre mentes brillantes.*

¿Fallos de mercado?

La necesidad de regulaciones eficaces y, desde un punto de vista más general, de un control público bien informado sobre el desarrollo tecnológico se pone de manifiesto con una serie de observaciones. Lo que tienen en común es el convencimiento de que un mercado económico liberalizado, dejado a su albur, suele producir resultados que distan mucho de ser óptimos (de hecho, pueden ser desastrosos).

Un ejemplo es la costumbre de las empresas farmacéuticas de no dar prioridad al desarrollo de medicamentos para enfermedades que solo afectan a poblaciones con bajos ingresos. En 2003 se creó la organización Iniciativa Medicamentos para Enfermedades Olvidadas (DNDi, por sus siglas en inglés) con el objetivo de abordar esta cuestión. La página web de la DNDi nos proporciona algunos detalles incontrovertibles sobre estas «enfermedades olvidadas^[257]»:

- Malaria: mata a un niño al minuto en el África subsahariana (alrededor de 1300 niños al día).
- Sida en niños: más de 2,6 millones de menores de quince años tienen sida, sobre todo en el África subsahariana, y 410 de ellos mueren cada día.
- Filariasis: 120 millones de personas están afectadas de elefantiasis y 25 millones de oncocercosis.
- Enfermedad del sueño: endémica en 36 países africanos y 21 millones de personas tienen riesgo de contraerla.
- Leishmaniasis: persiste en un centenar de países y 350 millones de personas en el mundo corren el riesgo de contraerla.
- Enfermedad de Chagas: endémica en 21 países de América Latina, donde mata a más personas que la malaria.

En resumen, según la DNDi:

Las enfermedades olvidadas siguen siendo una importante causa de muertes en los países en vías de desarrollo. Sin embargo, de los 850 productos terapéuticos nuevos aprobados entre 2000 y 2011, solo el 4% (y solo un 1% de todas Nuevas Entidades Químicas o NEQ aprobadas) fueron ideados para luchar contra enfermedades olvidadas, aunque estas enfermedades representan el 11% de los casos de enfermedad a nivel global.

Esta situación no sorprende si observamos las restricciones a los accionistas bajo las que operan las empresas farmacéuticas. Por ejemplo, a principios de 2014, el escritor estadounidense Glyn Moody describió la política seguida por el gigante farmacéutico Bayer. El artículo se titulaba «El consejero delegado de Bayer: desarrollamos medicamentos para occidentales ricos, no para indios pobres», y citaba al consejero delegado de Bayer, Marijn Dekkers, en el enunciado de este principio^[258]:

«No desarrollamos esta medicina para indios. La desarrollamos para pacientes occidentales que la pueden pagar».

Esta política se corresponde con el ánimo de lucro absoluto de ciertas empresas, que persiguen satisfacer los deseos de sus accionistas y maximizar sus beneficios. Esta es la razón por la que DNDi aboga por un «modelo alternativo», con la siguiente estrategia:

Mejorar la calidad de vida y la salud de la gente que padece enfermedades olvidadas mediante un modelo alternativo de desarrollo de medicamentos para estas enfermedades y mediante la garantía del acceso equitativo a métodos médicos nuevos y fiables.

En este modelo sin ánimo de lucro y dirigido por el sector público colaboran multitud de agentes para llamar la atención sobre la necesidad de investigar y desarrollar nuevos medicamentos destinados a aquellas enfermedades olvidadas que quedan fuera del ámbito de la I+D comercial. Al abordar las necesidades de estos pacientes, también se fomenta la responsabilidad y el liderazgo del sector público.

Tras recoger los impactantes comentarios del empresario holandés estadounidense Dekkers, Moody señala también otros objetivos más nobles de las empresas farmacéuticas. Hace referencia a este comentario del empresario estadounidense George Merck de 1950^[259]:

«Intentamos no olvidar nunca que la medicina es para la gente. No para generar beneficios. Las ganancias son una consecuencia, y si no lo olvidamos nunca dejarán de producirse. Cuanto más al pie de la letra hemos seguido esta premisa, mayores han sido los beneficios...».

«No podemos retirarnos y decir que hemos conseguido nuestro objetivo tras inventar un nuevo medicamento o un nuevo tratamiento para curar enfermedades hasta ese momento incurables, cuando inventamos una nueva forma de ayudar a aquellos que sufren de malnutrición o al dar lugar a dietas equilibradas a escala mundial. No descansaremos hasta que se encuentre la manera, gracias a nuestra ayuda, de que todo el mundo tenga acceso a nuestros mejores logros».

¿Qué es lo que determina que los estrechos incentivos financieros del mercado sean los que dirijan el comportamiento de las empresas dotadas de la tecnología (que seguramente solo ellas poseen) capaz de generar importantes mejoras en el ser humano? Tenemos que considerar otros factores, no solo los incentivos económicos.

Incluso en lo que respecta a sus propios parámetros (la promoción de ventas y la

acumulación de riqueza) los mercados liberalizados pueden fracasar. Las razones en favor de una supervisión eficaz y de una regulación de los mercados aparecen muy bien explicadas en el libro de 2009 *Por qué fallan los mercados: la lógica de los desastres económicos*, escrito por el periodista estadounidense John Cassidy, de *The New Yorker*^[260].

El libro contiene una investigación radical pero convincente sobre lo que Cassidy califica de «economía utópica», sobre la que después va añadiendo capa tras capa de crítica incisiva. En sí, el libro proporciona una guía útil sobre la historia del pensamiento económico que cubre desde Adam Smith hasta Friedrich Hayek, pasando por Milton Friedman, John Maynard Keynes, Arthur Pigou y Hyman Minsky, entre otros^[261].

La tesis fundamental del libro es que los mercados suelen fracasar, y que a veces lo hacen de forma estrepitosa; por tanto, cierto grado de supervisión e intervención gubernamental son fundamentales y necesarios para evitar catástrofes. Este tema no es nuevo, pero mucha gente se muestra reacia ante él, y el libro de Cassidy tiene el mérito de clasificar los argumentos en favor de su tesis de una manera muy exhaustiva.

Tal y como Cassidy la describe, la «economía utópica» es la opinión generalizada en que la economía de mercado si se permite a los individuos y los diferentes agentes económicos perseguir sus propios intereses, inevitablemente generará resultados que serán buenos para la economía en su conjunto. El libro comienza con ocho capítulos que de forma clemente ponen de manifiesto la historia del pensamiento desde el punto de vista de la economía utópica. En los ocho capítulos que lo componen, el autor señala casos en los que los propios defensores del libre mercado apelan a la necesidad de intervención y controles públicos. A continuación, Cassidy dedica otros ocho capítulos a revisar la historia de las críticas que se han hecho a la economía utópica. Esta parte del libro se titula «Economía basada en la realidad» y trata cuestiones como:

- La teoría de juegos («el dilema del prisionero»).
- La economía conductual (teorizada por los psicólogos Daniel Kahneman y Amos Tversky), que incluye la miopía ante el desastre.
- Los problemas derivados de los vertidos y de las externalidades (como la contaminación), que solo pueden ser abordados en todo su alcance mediante la acción colectiva centralizada.
- Las desventajas derivadas de la información oculta y el fracaso de la «señalización de precios».
- Las pérdidas de competitividad que se producen cuando en la economía se producen situaciones monopolísticas.

- Errores en las medidas de gestión del riesgo bancario que infravaloran drásticamente las consecuencias que tienen los períodos de crisis en los que no se puede llevar a cabo una política de «*business as usual*», es decir, «aquí no pasa nada».
- Ineficiencias en la estructura de gratificaciones asimétricas.
- La psicología perversa que se esconde detrás de las inversiones que generan burbujas económicas.

Todos estos factores impiden a los mercados dar con soluciones óptimas. A modo de resumen, Cassidy hace una lista de las cuatro «quimeras» de la economía utópica:

- La quimera de la armonía: que dice que los mercados siempre generan buenos resultados.
- La quimera de la estabilidad: que dice que la economía de libre mercado es robusta.
- La quimera de la predictibilidad: que dice que se pueden prever los beneficios.
- La quimera del «*Homo economicus*»: que dice que los individuos son racionales y actúan en base a una información perfecta.

Estas quimeras siguen permeando gran parte del pensamiento económico. Estas quimeras también están detrás del optimismo que lleva a algunos a decir que la tecnología, sin la intervención gubernamental, será capaz de resolver las dificultades sociales, el terrorismo, la vigilancia ilegal, la devastación medioambiental, los cambios extremos en las condiciones climáticas, las amenazas que provienen de nuevos patógenos y los costes crecientes derivados de las enfermedades de la vejez.

La historia reciente de la unión de fuerzas entre los mercados liberalizados y la tecnología innovadora ha sido un importante factor de progreso. Sin embargo, necesitan de supervisión y regulación eficaces para alcanzar su máximo potencial. Sin dicha supervisión y regulación, podrían llevar a la humanidad a una nueva época oscura en vez de a una era de abundancia sostenible y longevidad saludable para todos.

¿Maneras equivocadas de hacer el bien?

Para los lectores que piensan que la discusión política ha superado su zona de confort, ahora la narración se aleja de la política y se adentra en un área que podemos calificar de «filosófica».

Una de las mayores amenazas que se cierne sobre el proyecto de la ingeniería del rejuvenecimiento es la prevalencia de la confusión mental sobre qué tipo de acciones merecen nuestro reconocimiento. La gente puede desear comportarse de forma admirable pero puede terminar haciendo más mal que bien. A modo de víctimas de la presión social y psicológica ejercida sobre ellas, pueden quedar atrapados, consciente o inconscientemente, en el paradigma de aceptación del envejecimiento. Sus filosofías personales les harán comportarse de tal forma que causen daño, tanto a ellos mismos como a sus conciudadanos. En otras palabras, a veces la «cura» puede ser peor que la enfermedad. ¡Mucho peor!

En concreto, si las personas están convencidas de que es loable aceptar el envejecimiento actual y la cercanía de la muerte a modo de «orden natural de las cosas», tenderán a oponerse a medidas que permitirían un drástico aumento de sus esperanzas de vida. Consciente o inconscientemente, se equivocarán y verán esas medidas como algo en cierta manera injusto, desequilibrado, desproporcionado, avaricioso, egoísta o hasta infantil.

Las personas atrapadas en esa mentalidad preferirán que la sociedad invierta su tiempo y esfuerzos en proyectos que acepten el envejecimiento como algo irreversible. Siendo así apoyarán proyectos para ayudar a los ancianos a integrarse en la comunidad, a que paguen tarifas de transporte más bajas o a tener mejores instalaciones asistenciales. Otros proyectos con los que también estarían dispuestos a colaborar serían aquellos que permitieran que la gente viviera hasta la ancianidad y que no perecieran por culpa de accidentes o de enfermedades en su juventud o en su mediana edad. También se mostrarán partidarios de apoyar la extensión de la educación a personas de todas las edades. Verían todos estos proyectos como formas admirables y aceptables de hacer el bien. Sin embargo, permanecerían ciegos ante la posibilidad de encontrar *mejores maneras de hacer el bien*.

Hacer mejor el bien es el nombre del libro escrito en 2015 por el filósofo escocés William MacAskill, que a la edad de veintiocho años se convirtió en uno de los profesores más jóvenes de la Universidad de Oxford. El libro lleva por subtítulo *El altruismo eficiente y cómo usted puede marcar la diferencia*. En su página web, MacAskill presenta el libro de la siguiente manera^[262]:

¿Quiere hacer del mundo un lugar mejor? Es posible que, con intención de hacer el bien usted compre productos éticos, done a proyectos de caridad o sea voluntario en su tiempo libre. Pero ¿con qué frecuencia es usted consciente del impacto real de sus acciones?

En mi libro sostengo que hay muchas maneras de contribuir que consiguen muy pocas cosas pero que, en cambio, si dirigiéramos nuestros esfuerzos centrándonos en las causas más eficientes, tendríamos un enorme potencial para hacer del mundo un lugar mejor.

Aprender a integrar correctamente estas y otras cuestiones éticas a la hora de tomar decisiones es un reto importante y exigente. No obstante, solo podemos concluir que estamos fracasando a la hora de abordar un problema más básico, más obvio y más importante: la opción de ayudar a más en vez de a menos personas para dar lugar a mejoras sanitarias de mayor alcance.

Algunos consideran que este tipo de cálculo frío resulta un tanto perturbador. En cierta manera puede parecer deshumanizado. Sin embargo, los defensores del llamado «altruismo eficiente» insisten en que si no se tienen en cuenta este tipo de consideraciones dejaríamos de utilizar todo nuestro potencial para mejorar la condición humana. Si nuestro verdadero objetivo es hacer el máximo bien posible y no solo sentirnos mejor a través de gestos que hacemos con el objetivo de mejorar la condición humana, entonces hemos de ser capaces de repensar nuestras prioridades.

Este tipo de replanteamiento debería implicar la posibilidad de que, gracias a la abolición del envejecimiento, la extensión de la esperanza de vida saludable pudiera convertirse en *una intervención con un coste-eficacia todavía mejor*, ya que el aumento de «años de vida ajustados por discapacidad» (AVAD o DALY, por sus siglas en inglés) gracias a terapias de rejuvenecimiento exitosas sería realmente importante.

Aubrey de Grey defendió una tesis similar en Oxford durante su presentación «El coste-eficacia de la investigación sobre el antienvjecimiento^[263]»:

- Si realmente queremos prevenir muertes, deberíamos prestar mucha atención al factor responsable de más o menos dos tercios de las muertes en todo el mundo. Ese factor es el envejecimiento (reparemos en que esa cifra incluye todas las muertes derivadas de enfermedades relacionadas con el envejecimiento, muertes que no ocurrirían si no hubiera envejecimiento).
- Esta alta proporción (que en el mundo industrializado supera el 90%) hace que el envejecimiento sea «indudablemente el problema más grave del mundo».
- La importancia de la abolición del envejecimiento es todavía mayor si además tenemos en cuenta los muchos años que dura el deterioro funcional y el aumento de la discapacidad que preceden a las muertes por envejecimiento.
- Los tratamientos que retrasen el envejecimiento conllevarán el beneficio que supone retrasar la fragilidad y el comienzo de las enfermedades del envejecimiento; los tratamientos que, además, *reparen* el daño corporal y celular causado por el envejecimiento tendrán el potencial de prevenir indefinidamente la fragilidad y las enfermedades del envejecimiento (por tanto, *mejorarán todavía más* las mediciones en AVAD o DALY).

- Los costes necesarios para conseguir avances significativos en la consecución de terapias de rejuvenecimiento no tienen por qué ser enormes; un presupuesto de unos 50 millones de dólares anuales durante cinco o diez años podría bastar para hacer que las terapias basadas en la ingeniería del envejecimiento propuesta por SENS pudieran aplicarse a ratones de mediana edad con consecuencias decisivas.
- Cuando se consiga incrementar con terapias de rejuvenecimiento la esperanza de vida saludable en un 50% de ratones de mediana edad que anteriormente no hubieran recibido ningún tratamiento especial, numerosas fuentes de financiación acudirán raudas al proyecto: gobiernos, empresas y filántropos comprenderían y reconocerían el gran potencial que estas terapias tendrían en humanos.

Según de Grey, lo urgente es llevar a cabo una apología inteligente en favor de los presupuestos que necesita la investigación a corto plazo. Cuando se demuestre claramente que se ha conseguido un sólido rejuvenecimiento en ratones, se producirá un cambio a gran escala en la mentalidad general. Esta apología inteligente a corto plazo puede crear inercias si logra que un mayor número de gente se tome la molestia de reflexionar de forma desapasionada y si consigue que adopte los métodos conceptuales del «altruismo eficiente». No obstante, queda mucho trabajo por delante, así como gran cantidad de campañas de *marketing* eficaz hasta superar la tan arraigada apatía de la «aceptación del envejecimiento» en la opinión pública actual.

¿Apatía de la opinión pública?

En términos generales, hay dos estrategias posibles para superar la apatía y cambiar el mundo. O bien cambias el mundo directamente, o bien cambias la mentalidad de las personas sobre la importancia de cambiar el mundo (de manera que una de esas personas sea la que cambie el mundo). En otras palabras, o te involucras haciendo cosas, o hablas de lo bueno que sería que la gente hiciera determinadas cosas.

La primera estrategia conlleva entrar en acción. La segunda implica tener ideas. La primera estrategia puede ser adoptada por ingenieros, emprendedores, diseñadores, etc. La segunda estrategia está al alcance, en principio, de todo el mundo (todo el mundo que pueda tomar la palabra para expresar la importancia de una idea).

En nuestro caso, somos partidarios de las dos estrategias, pero somos conscientes de la ingente cantidad de críticas que ha recibido la segunda. En la era de la mensajería instantánea, en la que multitud de gente puede apretar un botón de «me

gusta» en internet sin haberse quitado todavía el pijama o sin abandonar el sofá, se ha puesto de moda censurar el llamado «*slacktivism*», también llamado de forma menos sucinta «activismo de sillón». La crítica del autor bielorrusoestadounidense Evgeny Morozov sobre esta práctica es demoledora. La expresó en el artículo «El mundo feliz del *slacktivism*», emitido por la radio pública estadounidense NPR^[264]:

El término «*slacktivism*» describe muy bien el activismo online para sentirse a gusto con uno mismo pero cuyo impacto político o social es nulo. Aquellos que participan en campañas de «*slacktivism*» creen que es posible conseguir un impacto importante en el mundo sin hacer otra cosa más que vaya más allá de unirse a un grupo de Facebook. ¿Se acuerda de aquella petición online que firmó y reenvió a toda su lista de contactos? Seguramente se trató de un acto de *slacktivism*.

El *slacktivism* o es el activismo ideal para una generación de vagos: ¿para qué preocuparse de hacer sentadas y arriesgarse a ser detenido, agredido por la policía o incluso torturado cuando se puede causar el mismo estruendo haciendo campañas en el espacio virtual? Dada la obsesión de los medios de comunicación con todo lo digital, desde escribir blogs hasta las redes de trabajo sociales pasando por Twitter, cada clic del ratón recibe casi siempre la atención inmediata de los medios, siempre y cuando esté motivado por una causa noble. Esa atención no se traduce siempre en campañas eficientes, ya que la eficacia es aquí secundaria...

Lo realmente importante es saber si la simple capacidad de ejercer la opción del *slacktivism* será capaz de hacer que aquellos que en el pasado se enfrentaron al sistema mediante manifestaciones, pasquines y organizaciones obreras aceptarán Facebook como sustituto de esa presencia personal y terminarán por unirse a uno de los numerosísimos grupos online. Si así fuera, entonces las herramientas de liberación digital que tanto se pregonan solo habrían contribuido a alejarnos del objetivo de democratizar y construir una sociedad civil global.

Contrariamente a esta crítica tan dura, creemos que el activismo online juega un papel muy importante en la batalla por atraer la atención de la opinión pública sobre las grandes oportunidades que ofrece la ingeniería del rejuvenecimiento y sobre los riesgos de un mal uso de las tecnologías que la posibilitarían. Por ejemplo, las redes sociales tuvieron un gran impacto en el cambio de gobiernos en varios países del Oriente Medio y de otras partes del mundo durante la pasada década.

Más allá de las redes sociales, los medios más tradicionales como la prensa, la radio y la televisión siguen siendo importantes. Otras formas de comunicación como el cine, la música y el arte son igualmente fundamentales. Los libros y las conferencias, la poesía y el arte. Incluso los vídeos de YouTube pueden ayudar a movilizar a personas, como es el caso del excelente vídeo «¿Por qué envejecer? ¿Deberíamos acabar para siempre con el envejecimiento para siempre?», que durante sus cuatro primeros meses vieron más de cuatro millones de personas^[265]. Esa cifra está muy lejos de los 4,6 mil millones de veces que ha sido visto durante su primer año en YouTube el videoclip de la canción *Despacito*, pero es mejor que nada^[266].

Es fundamental también viralizar las ideas del antienvjecimiento y del rejuvenecimiento, incluyendo tanto la extensión como la expansión de la vida humana. Lo ideal sería crear memes que ayuden a viralizar las ideas del nuevo paradigma de la juventud indefinida sin enfermedades, pues el beneficio sería incalculable para todo el mundo, sin discriminación.

Otra forma de comunicar que merece la pena mencionar para reducir la apatía es, por ejemplo, un fantástico relato corto del filósofo sueco Nick Bostrom, profesor

de la Universidad de Oxford. Ya hemos mencionado y elogiado *La fábula del dragón tirano*, escrita en 2005. Dicha fábula establece la analogía entre el paradigma de aceptación del envejecimiento y el paradigma de la aceptación de las exigencias de un dragón gigante durante siglos a los ciudadanos de un país^[267]:

El dragón exigía a la humanidad un tributo espeluznante: para satisfacer su apetito desmedido, cada día al ponerse el sol diez mil hombres y mujeres debían ser entregados al pie de la montaña donde vivía. A veces el dragón devoraba a estos pobrecillos en cuanto llegaban; a veces los encerraba en la montaña, donde languidecían durante meses o años antes de ser finalmente devorados...

El filósofo inglés Max More, presidente de Alcor, es otro visionario con un toque de imaginación. Su *Carta a la Madre Naturaleza* empieza de la siguiente manera^[268]:

Querida Madre Naturaleza:

Disculpa que te moleste, pero nosotros, los humanos, tus retoños, tenemos algunas cosas que decirte. (Quizás podrías contárselo a Padre, ya que nunca le vemos). Queremos agradecerte las maravillosas cualidades que nos has otorgado mediante tu lenta pero enorme y extendida inteligencia. Nos has elevado desde simples sustancias químicas autorreplicantes hasta mamíferos compuestos por billones de células. Nos has dado carta blanca sobre el planeta. Nos has otorgado una esperanza de vida más larga que la de la mayoría de los animales. Nos has dotado de un cerebro complejo que nos permite conocer el lenguaje, razonar, prever, curiosear y crear. Nos has dado la capacidad de comprendernos a nosotros mismos, así como de sentir empatía por otros.

Madre Naturaleza, te estamos sinceramente agradecidos por lo que has hecho de nosotros. Sin duda, lo hiciste lo mejor que pudiste. Sin embargo, con todos los respetos, tenemos que decirte que en muchos aspectos has hecho un mal trabajo en lo que respecta a la constitución humana. Nos has hecho vulnerables a la enfermedad y al deterioro. Nos obligas a envejecer y morir justo en el momento en el que empezamos a ser sabios. Fuiste miserable en el alcance de nuestra percepción sobre nuestros procesos somáticos, cognitivos y emocionales. Nos dejaste de lado y diste los sentidos más avanzados a otros animales. Hiciste que solo fuéramos funcionales bajo estrictas condiciones ambientales. Nos dotaste de una memoria limitada, un mal control de nuestros impulsos, así como tendencias tribalistas y xenófobas. ¡Y además te olvidaste de darnos el manual de instrucciones de nosotros mismos!

Lo que has hecho de nosotros es glorioso, a la vez que profundamente defectuoso. Desde hace 100 000 años, parece haber perdido el interés en que sigamos evolucionando. O a lo mejor te has mantenido a la expectativa esperando que fuéramos nosotros mismos los que diéramos el siguiente paso. En cualquier caso, hemos alcanzado el final de nuestra infancia.

Hemos decidido que ha llegado el momento de enmendar la constitución humana.

No lo hacemos a la ligera, a lo loco, ni tampoco lo hacemos irrespetuosamente, sino con cautela, con inteligencia y en búsqueda de la excelencia. Intentamos que te sientas orgullosa de nosotros. Durante las próximas décadas llevaremos a cabo una serie de cambios en nuestra propia constitución. Empezaremos estos cambios con las herramientas de la biotecnología y nos guiaremos por el pensamiento crítico y creativo. En concreto, expresamos nuestra intención de realizar las siguientes siete enmiendas de la constitución humana:

Enmienda 1: No vamos a seguir tolerando la tiranía del envejecimiento y de la muerte. Mediante cambios genéticos, manipulaciones celulares, órganos sintéticos y cualquier otro medio necesario, nos dotaremos de una vitalidad duradera y eliminaremos nuestra fecha de caducidad. Cada uno de nosotros decidirá por sí mismo la duración de su vida...

Nos reservamos el derecho de realizar nuevas modificaciones de forma colectiva e individual. En lugar de buscar un estado de perfección final, seguiremos buscando nuevas formas de excelencia de acuerdo con nuestros propios valores y según lo permita la tecnología.

Tus ambiciosos descendientes humanos.

Si se hace correctamente, la confluencia de los siguientes factores podría ayudar a que se produzca un cambio sísmico en la mentalidad pública, y que esta deje de

estar atrapada por la «aceptación del envejecimiento» para pasar a ser receptiva, y luego completamente favorable, a la «anticipación del rejuvenecimiento»: vídeos cortos, potentes blogs online, poemas conmovedores, animaciones llamativas, rimas humorísticas, chistes inteligentes, actuaciones dramáticas, arte conceptual, novelas cortas, himnos estruendosos, cánticos, eslóganes y memes evocadores con fotos atractivas asociadas a citas memorables. Todo esto puede ayudar a acabar con la apatía de la opinión pública, por más ridículo e ínfimo que pueda parecer cada empeño.

Si el *slacktivism* identifica y resalta las mejores contribuciones de entre las muchas que se hacen, de manera que estas contribuciones reciban una mayor atención, y al mismo tiempo aceleran el debilitamiento de los bastiones que todavía tiene el paradigma de aceptación del envejecimiento, entonces aplaudiremos al *slacktivism*. Una vez la mentalidad haya cambiado se producirán las acciones. Solo cuando los cimientos estén colocados es cuando las nuevas ideas podrán expandirse rápidamente.

Por supuesto, lo difícil es saber cuándo es el momento adecuado para una idea en concreto. Si alguien grita repetidamente que viene el lobo demasiado pronto, perderá credibilidad (y audiencia). Pero creo que hay motivos más que suficientes para decir que nuestra era, nuestro período de vida, es el momento adecuado para asentar la idea de que podemos y debemos abolir el envejecimiento. Esta idea está respaldada por multitud de observaciones que hemos ido viendo, y que podemos resumir de nuevo:

- Ejemplos de animales que muestran envejecimiento nulo.
- Manipulaciones genéticas que pueden aumentar la esperanza de vida, así como la esperanza de vida saludable, de forma muy significativa.
- Posibilidades fascinantes que proceden de las terapias con células madre.
- Posibilidades revolucionarias gracias a técnicas de edición génica como CRISPR.
- La mayor viabilidad de nanointervenciones, como la nanocirugía y los nanorobots.
- Las primeras indicaciones de que se pueden crear órganos sintéticos.
- Proyectos de investigación que se centran en cada una de las principales causas que han sido identificadas para el envejecimiento.
- Progresos esperanzadores en nuevas formas de tratar el cáncer, así como otras enfermedades del envejecimiento.
- Resultados prometedores procedentes del análisis *big data* llevado a cabo por inteligencias artificiales cada vez más poderosas.
- Modelos financieros que demuestran los enormes beneficios económicos generados por el dividendo de la longevidad.

- Ejemplos procedentes de otros campos tecnológicos que están experimentando un inesperado y rápido avance.
- Ejemplos procedentes de otros proyectos de carácter activista que están consiguiendo rápidos cambios de mentalidad en la sociedad.

Estas observaciones forman el marco para que la idea de la abolición del envejecimiento pueda florecer, pero la tarea seguirá sin completarse hasta que la idea triunfe de la siguiente manera:

- Encontrando mejores y más efectivas maneras de expresar la idea ante audiencias diversas.
- Analizando las objeciones que puedan surgir ante la idea, y encontrando las respuestas adecuadas a estas objeciones.
- Apreciando las circunstancias que subyacen tras las objeciones legítimas de la gente, o que hacen que la gente ignore la idea, con el objetivo de avanzar todo lo posible en la transformación de dichas circunstancias.

Si cejamos en nuestros empeños, la idea puede languidecer y resultar solo del interés de una pequeña minoría. En ese caso, el paradigma de aceptación del envejecimiento seguirá siendo el predominante. Asimismo, las inversiones, tanto públicas como privadas, irán a parar a otras áreas diferentes de la ingeniería del rejuvenecimiento. Las trabas regulatorias persistirán y darán al traste con los esfuerzos de los innovadores por desarrollar y aplicar terapias de rejuvenecimiento. Así, alrededor de 100 000 personas al día seguirán muriendo a causa de las enfermedades asociadas al envejecimiento (enfermedades que son prevenibles).

La abolición de la esclavitud en el pasado y del envejecimiento en el futuro

La abolición de la esclavitud es muy probablemente uno de los puntos más álgidos de la historia humana, y podemos hacer una analogía con la abolición del envejecimiento en el futuro. El veterano historiador estadounidense de Yale David Brion Davis escribió el magistral libro *La servidumbre inhumana: auge y caída de la esclavitud en el nuevo mundo*^[269], acerca del cual hace este comentario el también historiador Donald Yerxa, de la Universidad de Boston^[270]:

Tras recibir cientos de peticiones contrarias a la esclavitud y tras debatir la cuestión durante años, el Parlamento británico aprobó la Abolición de la Ley del Comercio de Esclavos en marzo de 1807. A partir del 1 de mayo de 1807, ningún esclavista podría partir legalmente desde un puerto británico. Tras las Guerras Napoleónicas, el sentimiento abolicionista de los británicos creció, y el Parlamento tuvo que sufrir una gran presión pública en favor de la emancipación gradual de todos los esclavos británicos. En agosto de 1833, el Parlamento aprobó la Proclamación de Emancipación, que permitió la emancipación gradual de los esclavos en todo el Imperio británico. Los abolicionistas de ambos lados del Atlántico lo celebraron como uno de los más grandes logros humanitarios de la historia. De hecho, el importante historiador irlandés W. E. H. Lecky es famoso por sentenciar en 1869 que «la incansable, modesta y no ensalzada cruzada de Inglaterra contra la esclavitud puede ser contemplada como una de las tres o cuatro acciones completamente virtuosas registradas en la historia de las naciones».

Sin embargo, tal y como el distinguido historiador David Brion Davis señala en su brillante síntesis de la esclavitud en el Nuevo Mundo, el abolicionismo británico es «controvertido, complejo e incluso desconcertante». Ha ocasionado un importante debate historiográfico que ha durado sesenta años. La cuestión fundamental que se debatía era la manera en la que relatar los motivos de los abolicionistas y la oleada de apoyo popular en favor de la causa antiesclavista. Davis sugiere que para los historiadores es difícil aceptar que algo económicamente tan relevante como el comercio de esclavos pudiera ser abolido basándose sobre todo en razones religiosas y humanitarias. Al fin y al cabo, en 1805 «la economía colonial basada en las plantaciones», nos informa, «era la responsable de más o menos un quinto del comercio total de Gran Bretaña». Prominentes abolicionistas como William Wilberforce, Thomas Clarkson y Thomas Fowell Buxton utilizaron argumentos cristianos para combatir esa «servidumbre inhumana», aunque seguramente hubo factores materiales que también jugaron un papel importante. Se ha derramado gran cantidad de tinta para explicar la relación entre el antiesclavismo, el capitalismo y la ideología del libre mercado. La conclusión de la investigación llevada a cabo es que el impulso antiesclavista iba en contra de los intereses económicos, tanto tangibles como intangibles, de Gran Bretaña.

Entonces, ¿cómo explicar el éxito de un movimiento humanitario en favor de reformas que podrían haber sido interpretadas como la antesala de un desastre económico? Davis llega a la conclusión de que, aunque es importante apreciar la compleja interacción entre los factores económicos, políticos e ideológicos, también debemos reconocer la importancia del punto de vista moral que «logró trascender los estrechos intereses egoístas y llevar a cabo una verdadera reforma».

El análisis de Davis deja claro que:

- La abolición de la esclavitud no era en absoluto inevitable ni tampoco estaba predeterminada.
- Había fuertes argumentos en contra de la abolición de la esclavitud, argumentos esgrimidos por personas inteligentes y devotas tanto en Estados Unidos como en el Reino Unido; y esos argumentos tenían que ver con el bienestar económico, entre otros muchos factores.
- Los argumentos de los abolicionistas estaban enraizados en una concepción que abogaba por una mejora en la manera de ser de todos los humanos, una manera que eliminaba la cruel servidumbre y subyugación impuesta por el comercio de esclavos, y que a su debido tiempo habría de permitir que millones de personas pudieran desarrollar su potencial de una manera plena.
- La causa de la abolición de la esclavitud fue en gran parte defendida por el activismo público, entre lo que se incluyen panfletos, conferencias, peticiones y reuniones municipales.

Después de emerger en el siglo XVIII y de ganar impulso a medida que avanzaba el siglo XIX, la abolición de la esclavitud acabó por convertirse en una idea madura a la que le había llegado el momento (gracias a valerosos, inteligentes y persistentes activistas, tanto hombres como mujeres, con una profunda convicción). En España la esclavitud fue abolida en 1837, sin incluir las colonias, donde persistió esta servidumbre inhumana hasta 1886 en Cuba. La Guerra Civil de Estados Unidos tuvo que ver mucho con la esclavitud, que fue finalmente eliminada en todos los estados por el presidente Abraham Lincoln en 1865. Así, poco a poco, la esclavitud fue desapareciendo en todo el mundo, hasta que finalmente fue abolida por último en algunos emiratos árabes durante la década de 1960, es decir, más de siglo y medio después de que el Reino Unido la prohibiera.

Con unos orígenes diferentes en las postrimerías del siglo XX, y tras ganar impulso a medida que avanza el siglo XXI, la abolición del envejecimiento puede convertirse de igual manera en una idea a la que le ha llegado su momento. Se trata de una idea sobre un futuro infinitamente mejor para la humanidad, un futuro que permitirá que *miles de millones* de personas podrán desarrollar su enorme potencial. Sin embargo, además de conllevar una ingeniería excelente (la creación de terapias de rejuvenecimiento fiables y accesibles), este proyecto también requerirá de un activismo valiente, inteligente y persistente para cambiar la opinión pública, y que esta deje de mostrarse hostil (o apática) con respecto a la ingeniería del rejuvenecimiento y pase a apoyarla en todos los aspectos.

¿Un ruido distorsiona la señal?

Nuestro aplauso al activismo en favor de la ingeniería del rejuvenecimiento no es para apoyar *cualquier* tipo de retórica presente en la red o en los libros que aparentemente defiendan estas ideas. Ni mucho menos. De hecho, gran parte de lo que se dice para apoyar la ingeniería del rejuvenecimiento probablemente sea contraproducente:

- Afirmaciones apresuradas e injustificadas sobre la efectividad de ciertos tipos de productos y terapias.
- Distorsiones de los descubrimientos según ciertos experimentos cuyo objetivo es llamar la atención del mercado acerca de productos comerciales en desarrollo.

- Tediosas repeticiones de burdas simplificaciones acerca de principios más complejos que intentan confundir a la gente.
- Acusaciones hirientes acerca de la validez o motivación de investigadores fundamentales que en realidad siguen los procesos establecidos por la ciencia con todo rigor.
- Afirmaciones que son falsas, pero que, sin embargo, siguen repitiéndose a causa de la ingenuidad o de la indolencia de personas que tienen buenas intenciones pero están mal informadas.
- Personas a las que se anima a seguir tratamientos que en realidad son peligrosos.

Las consecuencias que entrañan este tipo de tergiversaciones pueden generar reacciones en contra:

- Para proteger a los pacientes de la manipulación y de posibles daños, los legisladores pueden imponer regulaciones más estrictas que, como daño colateral, frenen innovaciones positivas, haciendo además que los proveedores de dichas innovaciones sean percibidos como «vendedores de humo».
- Académicos capaces pueden alejarse de este campo de investigación para evitar daños reputacionales.
- Los investigadores pueden acabar desperdiciando su tiempo en trabajos ya realizados por otros, pero cuyos resultados no habían llegado a su conocimiento (es decir, que cabe la posibilidad de que se pierda información debido al ruido de fondo que se produce en las comunicaciones de mala calidad).
- La opinión pública puede cansarse de escuchar que las terapias de la ingeniería del rejuvenecimiento están por llegar y, por tanto, decidir que ese campo de investigación es sospechoso y mera palabrería.
- Posibles fuentes de financiación podrían alejarse de este campo y dirigirse hacia proyectos totalmente diferentes.

Por estas razones, la «comunidad» de la ingeniería del rejuvenecimiento tiene que hacer grandes esfuerzos para mejorar su propia gestión del conocimiento. A los nuevos entusiastas se les debe dar la bienvenida, pero rápidamente se les tiene que poner al día en relación al estado actual de las cosas. Estas personas deberían tener

acceso a conocimientos sobre:

- Los **cambios en el estilo de vida** que, de ser adoptados, dotan a las personas de mayores probabilidades de llegar vivos y sanos hasta las terapias del Segundo Puente.
- Los mejores planteamientos hechos por la comunidad, así como **hojas de ruta** creíbles acerca del progreso que se puede realizar en los próximos años en la ingeniería del rejuvenecimiento.
- Los puntos fuertes y las debilidades de las diferentes **teorías del envejecimiento**.
- Los **tratamientos y terapias** que se están desarrollando o que se están proponiendo.
- La **historia** de este campo en su conjunto (con objeto de evitar repeticiones innecesarias de errores cometidos en el pasado).
- La dimensión **política, social, psicológica y filosófica** de la ingeniería del rejuvenecimiento.
- Los **proyectos** que necesitan apoyo activo y que son considerados por jueces de la comunidad como proyectos que merecen ese apoyo común.
- Los diferentes tipos de **memes** que, en un determinado momento, resultan más efectivos a la hora de captar nuevos apoyos y de responder a las críticas.
- Las **capacidades** que escasean dentro de la comunidad y la mejor manera de hacer que diferentes tipos de capacidades sean utilizadas en favor de los objetivos de la ingeniería del rejuvenecimiento.
- Las áreas en las que existen **legítimas diferencias de opinión** y sobre los métodos propuestos para que la comunidad pueda resolver dichas diferencias.
- Los **riesgos** a los que se enfrenta la comunidad y la **manera de reducir** esos riesgos.

Evidentemente, este libro intenta cubrir muchos de los temas anteriores. Sin embargo, la ingeniería del rejuvenecimiento es un campo que está cambiando aceleradamente. Parte de lo escrito en estas páginas quedará desfasado o resultará incompleto en el momento en que usted lo lea. Para obtener información más actualizada y más exhaustiva, acuda regularmente a la página comunitaria de la web que acompaña a este libro: <www.LaMuerteDeLaMuerte.net>.

No pensamos que todo nuevo seguidor de la ingeniería del rejuvenecimiento deba estar obligado a digerir enormes cantidades de información antes de permitírsele abrir la boca en un foro público. El mejor conocimiento comunitario acerca de la

ingeniería del rejuvenecimiento tiene que ser estratificado, fácil de investigar y atractivo. De esa manera, cuando alguien se sienta lo suficientemente capacitado y motivado como para tratar públicamente un tema en concreto, debería ser capaz de acceder rápidamente a la mejor información de la comunidad sobre dicho tema. Además, esa persona también debería poder encontrar compañeros que le animen y que le asesoren cordialmente, personas con las que pueda discutir cualquier tema relacionado con estas materias. Cualquier nuevo conocimiento surgido de estas conversaciones debería ser publicado en la red, de manera que la base de conocimientos se amplíe, actualice y mejore. En consecuencia, el proyecto de la ingeniería del rejuvenecimiento podrá seguir avanzando.

¿Cómo marcar realmente la diferencia?

En este capítulo revisamos algunos de los riesgos más graves a los que se enfrenta el proyecto de la ingeniería del rejuvenecimiento. El proyecto puede empantanarse debido a enormes retos técnicos que quizás sean más difíciles de lo anticipado por los ingenieros del rejuvenecimiento. Personas que habrían podido convertirse en importantes promotores del proyecto, podrían alejarse de él debido a palabras y/o escritos desafortunados, lo cual supondría una pérdida de conocimientos y de recursos financieros muy necesarios.

Asimismo, otro tipo de apoyos latentes también podrían dejar de materializarse debido al predominio de la apatía en la opinión pública, en la que el paradigma de aceptación del envejecimiento sigue siendo el dominante. Por el contrario, ciertos simpatizantes podrían resultar una traba para el proyecto si en vez de ayudar se dedican a aumentar la confusión.

Los políticos conservadores podrían levantar enormes barreras que impidieran la investigación necesaria para crear e implementar tratamientos de rejuvenecimiento. Riesgos existenciales como un cambio climático descontrolado, patógenos altamente virulentos o el acceso de terroristas a horribles armas de destrucción masiva, podrían llevarnos hacia una nueva y terrible época oscura.

También hemos indicado las acciones que pueden llevar a cabo los partidarios de la ingeniería del rejuvenecimiento para hacer frente a estos riesgos, así como para favorecer las fuerzas positivas que existen junto a ellos. Cada lector debe considerar qué acciones son las que mejor se amoldan a sus características.

Estas acciones variarán según la persona. Sin embargo, pensamos que los siguientes seis tipos de acciones serán las más importantes:

1. Tenemos que reforzar nuestros vínculos con las **comunidades** que están trabajando por lo menos en algún aspecto del proyecto de la ingeniería del rejuvenecimiento. Deberíamos saber qué comunidades podríamos nutrir y motivarnos, y a su vez saber cómo podríamos nosotros nutrir y motivar a otros. Los lazos entre redes de trabajo que se generen de esta manera nos harán más fuertes a la hora de enfrentarnos a las dificultades que se nos avecinan.
2. Debemos mejorar nuestro **conocimiento** sobre diferentes aspectos de la ingeniería del rejuvenecimiento: la ciencia, las hojas de ruta, la historia, la filosofía, las personalidades, las plataformas, las empresas, los tratamientos, las cuestiones que siguen abiertas, etc. Mediante una mejor comprensión de estos asuntos, podremos ver más claramente qué contribuciones podríamos realizar, y dónde podríamos ayudar a otros a la hora de tomar decisiones similares por sí mismos. En algunos casos, ayudaremos a documentar una mejor comprensión sobre temas específicos creando o editando bases de conocimientos o wikis.
3. Muchos de nosotros podríamos dedicarnos, de una u otra manera, al **marketing** para promover estas ideas. Podríamos trabajar para crear y distribuir diferentes mensajes de promoción, presentaciones, vídeos, páginas web, artículos, libros, etc. Estaría bien que identificáramos los diferentes tipos de audiencias y que gracias a nosotros la comprensión de estas cuestiones ocuparan un lugar más relevante en la opinión pública. También sería muy positivo mejorar nuestras relaciones con creadores de opinión, potenciales promotores de la ingeniería del rejuvenecimiento. Asimismo podríamos desarrollar nuestras propias habilidades políticas para mejorar nuestra capacidad de influir en otros, establecer alianzas, negociar coaliciones y crear borradores legislativos en lenguaje político.
4. Varios de nosotros podríamos **financiar** proyectos que consideremos particularmente importantes. Para ello deberíamos formar parte de iniciativas para recaudar fondos o podríamos donar parte de nuestro patrimonio personal. También podríamos dedicarnos a otras cosas con el objeto de ganar más dinero y poder realizar donaciones más grandes a los proyectos en los que estamos más interesados.
5. Algunos de nosotros podríamos llevar a cabo **investigaciones** novedosas en cualquiera de los campos de la ingeniería del rejuvenecimiento que están por explorar. Esto podría formar parte de cursos de formación o convertirse en empresas comerciales de I+D. También podría integrarse esto dentro de actividades descentralizadas del estilo de «ciencia ciudadana^[271]».

6. Por último, pero no por ello menos importante, podríamos mejorar nuestra **eficacia personal**, es decir, nuestra capacidad para llevar las cosas a buen puerto. Tras habernos dado cuenta de la importancia histórica del presente que vivimos, un período en el que la sociedad humana podría o bien dar un giro hacia mejor o bien dar un giro hacia peor, deberíamos encontrar la manera de evitar distracciones e inercias que nos lleven a una cotidianidad «en la que no pasa nada».

En vez de ser meros observadores interesados que se dedican a mirar las acciones culminantes del sueño más antiguo de la humanidad, y que solo de vez en cuando dan algún grito de aliento, podemos transformarnos en participantes activos para convertir ese gran sueño en realidad. Si organizamos nuestras vidas contra el enemigo común del envejecimiento, todos y cada uno de nosotros podemos marcar realmente la diferencia. ¡La diferencia entre la vida y la muerte!

Conclusión

El momento ha llegado

No hay nada más poderoso que una idea a la que le ha llegado su momento.

VICTOR HUGO, 1877

Si crees que puedes, o si crees que no puedes, en ambos casos tienes razón.

HENRY FORD, 1946

Estamos viviendo tiempos realmente fascinantes, tiempos de cambios exponenciales, tiempos de disrupción total, un período quizás incomparable en toda la historia de la humanidad. Estamos entre la última generación humana mortal y la primera generación humana inmortal. Ha llegado el momento de declarar públicamente la muerte de la muerte. La alternativa es muy clara: si no matamos a la muerte, la muerte nos matará a nosotros.

Este es un llamamiento a la revolución más importante de la historia. Una revolución contra el envejecimiento y la muerte, el gran sueño de todos nuestros ancestros. El envejecimiento ha sido y sigue siendo el enemigo más grande de toda la humanidad, es el enemigo común al que debemos derrotar.

Desafortunadamente, hasta ahora no habíamos contado con la ciencia y la tecnología necesarias para vencer al envejecimiento. Por primera vez en el largo y lento camino de la evolución biológica, desde nuestros humildes orígenes como pequeños organismos unicelulares hace miles de millones de años, ya podemos ver finalmente la luz al final del túnel en esta carrera por la vida. Estamos en una guerra contra la muerte, una guerra por la vida, y nuestras armas son la ciencia y la tecnología.

En 1861, en medio de las continuas guerras europeas del siglo XIX, el escritor francés Gustave Aimard expresó el siguiente pensamiento en su novela *Los merodeadores de fronteras*^[272]:

Hay algo más poderoso que la fuerza bruta de las bayonetas: la idea a la que le ha llegado el momento y para la que suena la campana.

Durante años, este pensamiento ha ido evolucionado. Por lo general, este epigrama ha sido atribuido a un autor contemporáneo de Aimard mucho más conocido, Víctor Hugo, quien escribió en 1877 algo parecido en su *Historia de un crimen*^[273]:

Se puede resistir la invasión de ejércitos, pero no se puede resistir la invasión de las ideas.

Fuera de su contexto de guerra, la cita anterior de Victor Hugo suele ser parafraseada de la siguiente forma:

No hay nada más poderoso que una idea a la que le ha llegado su momento.

Ha llegado el momento de pasar de la teoría a la práctica en la lucha contra el envejecimiento y en favor del rejuvenecimiento. Es nuestro deber moral y nuestra responsabilidad ética acabar con la principal causa de sufrimiento en el mundo. Ha llegado el momento de declarar la muerte a la muerte.

En todo el mundo están surgiendo grupos conscientes de que este ansiado momento ha llegado, tenemos la tecnología y tenemos el deber moral^[274]. Incluso, están naciendo partidos políticos cuyo objetivo explícito es luchar contra el envejecimiento, como ya ha ocurrido formalmente en Alemania, Estados Unidos y Rusia. No hay que subestimar al activismo, ni a los activistas, aunque sean grupos pequeños. Son precisamente los individuos conscientes y comprometidos, como dijo la antropóloga estadounidense Margaret Mead, quienes transforman la humanidad:

Nunca dudes de que un pequeño grupo de personas reflexivas y comprometidas puede cambiar el mundo. Es, de hecho, lo que siempre ha sucedido.

Otra importante referencia histórica nos lleva a recordar el momento en que el presidente estadounidense John Fitzgerald Kennedy lanzó su gran desafío en el año 1961 para poner un hombre en la Luna en tan solo una década. El reto era enorme, pero el objetivo se cumplió en el año 1969, es decir, dos años antes de lo esperado en el mejor de los escenarios planteados, aunque incluso pareciera imposible al comienzo. Retomemos otra famosa frase de Kennedy, pero cambiemos las palabras «América» y «americanos» por «inmortalidad» e «inmortalistas»:

Y así, mis compatriotas inmortalistas, no pregunten qué es lo que la «inmortalidad» va a hacer por ti, pregunta que es lo que tú puedes hacer por la «inmortalidad».

Aunque repetimos que los términos «longevidad indefinida» y «extensión indefinida de la vida» son más precisos, todo el mundo capta rápidamente la idea de la inmortalidad (o, al menos, la idea de la amortalidad). Ahora debemos considerar estas ideas para crear un gran proyecto mundial contra el enemigo común de toda la humanidad. ¿Por qué no unir a todo el planeta en un Proyecto de Juventud Indefinida?

Necesitamos contar con un proyecto abarcador que una a toda la humanidad con base en la experiencia previa de otros éxitos anteriores como el Proyecto Manhattan, el Plan Marshall, el Proyecto Apolo, el Proyecto Genoma Humano, la Estación Espacial Internacional, el Proyecto Cerebro Humano, el reactor internacional ITER, el proyecto CERN, y tantos otros grandes proyectos multimillonarios que han cambiado y siguen cambiando el mundo.

Vivimos tiempos increíbles, estamos presenciando la convergencia de científicos, inversores, grandes corporaciones y pequeñas startups trabajando directamente en temas de envejecimiento y rejuvenecimiento humano. Tenemos la ciencia, tenemos el dinero y tenemos la responsabilidad ética de terminar con la principal causa del sufrimiento humano. Por primera vez en la historia, podemos hacerlo, y debemos hacerlo, es nuestro imperativo histórico: alcanzar el primer y gran sueño de toda la humanidad.

A riesgo de resultar repetitivos, insistimos en que no debemos olvidar que cada día, día tras día, en todo el mundo mueren alrededor de 100 000 personas inocentes debido a enfermedades relacionadas con el envejecimiento. Uno de los próximos puedes ser tú, o uno de tus seres queridos. Podemos evitarlo, debemos evitarlo, y cuanto antes mejor. Pero necesitamos tu ayuda, pues es una lucha de todos contra la muerte. Uno solo no puede, todos juntos sí podemos.

El biólogo evolucionista inglés J. B. S. Haldane describió cómo es la evolución típica de los procesos de cambio, de las grandes revoluciones, comenzando en nuestras propias mentes:

Supongo que el proceso de aceptación pasará por las cuatro etapas habituales:

1. Esto es una tontería que no vale para nada.
2. Es interesante, pero perverso.
3. Es cierto, pero no tiene importancia.
4. Siempre lo dije.

Esta es una revolución por tu vida, por mi vida, por la vida de cada uno de nosotros. Tenemos ante nosotros una posibilidad única y una gran misión histórica por cumplir. En vista de la dimensión de este proyecto trascendental, el error más grave que podríamos cometer es abandonar la carrera antes de comenzar. Las oportunidades de una larga y productiva vida joven son mucho más grandes que los riesgos.

El futuro comienza hoy. El futuro comienza aquí. El futuro comienza con nosotros. El futuro comienza contigo hoy. ¿Si no tú, quién? ¿Si no ahora, cuándo? ¿Si no aquí, dónde? ¡Únete a la revolución contra el envejecimiento y la muerte! ¡Muerte a la muerte!

Epílogo

Un entendimiento finito no puede comprender lo infinito.

BARUCH SPINOZA, 1670

La muerte de la muerte es un libro que merece la pena leer —espero que así lo haya hecho el lector— con ganas, con un amplio sentido crítico y con algún cuidado. No es un libro suave, ni fácil. Es un libro comprometido y en esta época estos libros son un alimento intelectual necesario. Vivimos la era de la complejidad y de la incertidumbre, y encontrar personas como José Luis Cordeiro y David Wood, que aseguran, «a ciencia cierta», que en un momento determinado de la historia entraremos en la inmortalidad biológica, no es ciertamente un tema menor. Es un tema fascinante que abre todas las cajas de pandora imaginables, ya sean políticas, económicas, sociológicas, religiosas, éticas o culturales.

La inmortalidad, o longevidad indefinida como prefieren los autores, nos pone en contacto con los dos conceptos más inasequibles para la humanidad: el infinito y lo eterno, que son justamente todo menos distancia y tiempo. Penetrar en ese doble abismo requerirá una mente radicalmente distinta a la mente con la que venimos operando, que se basa en la sencilla idea de que todo tiene un principio y un final. Si ahora resulta que ello no es así, habrá que aceptar la idea de Michel Foucault de que estamos en una época en la que antes de pensar, tenemos que pensar si podemos pensar de forma distinta a como pensamos, y una de las razones de ello, según él mismo, es que «todo el pensamiento moderno está permeado por la idea de pensar lo imposible».

Cordeiro y Wood han pensado lo imposible con toda tranquilidad y están dispuestos a cambiar nuestras concepciones básicas. Hay que agradecersele con ciertas reservas y con las inevitables inquietudes. Llevan advirtiéndonos de sus ideas desde hace mucho tiempo y están acumulando sin cesar argumentos a su favor. Además, incluyen en abundancia citas que demuestran que sus ideas son todo menos nuevas. La humanidad siempre ha soñado con «el elixir de la eterna juventud» y algunos pensadores han predicho, desde hace siglos, la posibilidad de la superación de la muerte.

No debemos ni podemos descartar que los autores de este libro estén en lo cierto, pero tenemos también la obligación intelectual de discrepar de sus predicciones y afirmar, incluso de forma categórica, que la idea de una vida eterna en esta tierra no es asumible. La longevidad, sin duda, seguirá creciendo con saltos geométricos pero por más saltos que dé, se acabará agotando su fuerza porque como decía Marco Aurelio, «la muerte forma parte de lo establecido por la naturaleza», o como afirma Borges en una preciosa milonga, «morir es una costumbre que sabe

tener la gente».

El debate está abierto y merece la pena participar en él de forma activa —eso es lo que nos piden encarecidamente los autores—, para la cual es preciso que nos resignemos a aparcar muchas ideas convencionales y reducir, a un mínimo, la absurda pasión por poseer toda la verdad. En estos tiempos hay que convivir a gusto con las dudas y los dilemas más variados. Es preciso también aceptar que en este debate es imposible avanzar desde una sola óptica. Hay que compartir opiniones desde todas las áreas y perspectivas posibles para poder avanzar en el proceso.

Un comentario final. Hasta ahora, el ser humano ha sabido adaptarse con eficacia y a veces con verdadera excelencia a todos los cambios de cualquier orden que se han ido generando a lo largo de la historia y la esencia de la humanidad. En lo que atañe a sentimientos básicos, no se ha alterado prácticamente en nada. ¿El libro que hoy comentamos puede hacernos dudar de que seguiremos en esta línea? Los autores lo afirman, sin duda alguna, es decir «a ciencia cierta», una expresión que la RAE a lo mejor acaba definiendo de una manera menos contundente, porque esa certidumbre también está en cuestión. Pero plantéese el lector con toda valentía si acepta o no la idea de vivir sin límite de tiempo y verá cómo *La muerte de la muerte* le ayuda a pensar e incluso a tomar partido.

ANTONIO GARRIGUES WALKER

Apéndice

Cronología de la vida en la Tierra

Existen dos posibilidades: que estemos solos en el universo, o que estemos acompañados. Ambas posibilidades son igualmente aterradoras.

Sir ARTHUR C. CLARKE, 1962

Larga vida y prosperidad.

Live long and prosper (en inglés).

yIn nI' yISIQ 'ej yIcheP (pronunciación en klingon).

dif-tor heh smusma (pronunciación en vulcano).

Comandante Spock de Vulcano en
la nave espacial USS Enterprise, 2260

Para poner en perspectiva una cronología de la vida, hemos compilado información relevante desde el pasado y hacia el futuro inmediato. El objetivo es entender mejor la evolución de la vida a largo plazo, teniendo también en cuenta la naturaleza de los cambios exponenciales.

La Gran Historia (del inglés *Big History*) es una disciplina nueva que permite analizar con un enfoque multidisciplinar el paso de los acontecimientos a través del tiempo. Comenzando con una escala de tiempo muy grande para llegar al presente, donde se puede constatar que hay una aceleración de los cambios gracias a las tecnologías exponenciales. Esto también lo explica el futurista estadounidense Ray Kurzweil, y por eso hemos utilizado algunas de sus predicciones hasta el final del siglo XXI.

Nuevamente, los lectores interesados son invitados a contactarnos para seguir mejorando esta cronología en el futuro. Todos los comentarios son más que bienvenidos en la página web <www.LaMuerteDeLaMuerte.org>.

Millones de años atrás (Ma)

~13 800 Ma *Big Bang* y formación del universo conocido

~12 500 Ma Formación de la galaxia Vía Láctea

~4600 Ma Formación del Sistema Solar

~4500 Ma Formación de la Tierra

~4300 Ma Primera concentración de agua en la Tierra

~ 4000 Ma Primera vida unicelular (procariotas sin núcleo)

- ~ 4000 Ma Nacimiento del ancestro común LUCA (del inglés «*Last Universal Common Ancestor*»)
- ~ 3500 Ma Aumento de la concentración de oxígeno en la atmosfera terrestre
- ~ 3000 Ma Primera fotosíntesis en organismos unicelulares simples
- ~ 2000 Ma Evolución de procariotas (sin núcleo) a eucariotas (con núcleo) unicelulares
- ~ 1500 Ma Primeros organismos eucariotas multicelulares
- ~ 1200 Ma Primera reproducción sexual (aparecen células germinales y células somáticas)
- ~ 600 Ma Primeros animales invertebrados marinos
- ~ 540 Ma Explosión cámbrica y aparición de múltiples especies
- ~ 520 Ma Primeros animales vertebrados marinos
- ~ 440 Ma Evolución de vida marina a vida terrestre (primeras plantas en tierra firme)
- ~ 360 Ma Primeras plantas terrestres con semillas, primeros cangrejos
- ~ 300 Ma Primeros reptiles
- ~ 250 Ma Primeros dinosaurios
- ~ 200 Ma Primeros mamíferos, primeras aves
- ~ 130 Ma Primeras plantas angiospermas (con flores)
- ~ 65 Ma Extinción de los dinosaurios y desarrollo de los primates
- ~ 15 Ma La familia *Hominidae* (grandes primates) aparece
- ~ 3,5 Ma Primeras herramientas de piedra
- ~ 2,5 Ma El género *Homo* aparece
- ~ 1,5 Ma Primer uso del fuego
- ~ 0,8 Ma Primer uso de cocción
- ~ 0,5 Ma Primer uso de ropa
- ~ 0,2 Ma La especie *Homo sapiens* aparece
- ~ 0,1 Ma El *Homo sapiens sapiens* sale de África y comienza colonización del planeta Tierra

Miles de años atrás

- < 40 000 a. C. Aparecen pinturas rupestres, símbolos de deidades, de la fertilidad y de la muerte
- < 20 000 a. C. Evolución de piel más clara con emigración a regiones con menos incidencia solar
- < 5000 a. C. Protoescritura neolítica aparece
- < 4000 a. C. Posible invención de la rueda en Mesopotamia
- < 3500 a. C. Egipcios inventan jeroglíficos y sumerios la escritura cuneiforme
- < 3300 a. C. Uso documentado de herbología y fitoterapia en China y Egipto
- < 3000 a. C. Papiros son inventados en Egipto y tablillas de arcilla en Mesopotamia

- < 2800 a. C. El emperador Shen-Nung compila un texto con las técnicas de la acupuntura en China
- < 2600 a. C. El sacerdote médico Imhotep es considerado dios de la medicina en Egipto
- < 2500 a. C. Uso documentado de medicina Ayurveda en la India
- < 2000 a. C. El Código de Hammurabi establece normas para el ejercicio de la medicina en Babilonia
- 650 a. C. Asurbanipal recopila 800 tablillas médicas en la biblioteca de Nínive
- 450 a. C. Jenófanes de Colofón examina fósiles y especula sobre la evolución de la vida
- 420 a. C. Hipócrates escribe los *Tratados hipocráticos* y crea el juramento hipocrático
- 350 a. C. Aristóteles escribe sobre biología evolutiva e intenta una clasificación de los animales
- 300 a. C. Herófilo de Calcedonia realiza disecciones médicas en humanos
- 100 a. C. Asclepiades de Bitinia importa a Roma la medicina griega y funda la Escuela metódica

Primer milenio d. C.

- 180 d. C. El médico griego Galeno de Pérgamo estudia la conexión entre parálisis y médula espinal
- 219 d. C. Zhang Zhongjing publica el *Shang Han Lun (Tratado de enfermedades frías)* en China
- 250 d. C. Fundación de una escuela de medicina mágica en Monte Albán, México
- 390 d. C. Oribasio de Pérgamo recopila *Las sinagogas médicas* en Constantinópolis
- 400 d. C. El primer hospital cristiano es fundado por Fabiola en Roma
- 630 d. C. Isidoro de Sevilla compila su gran obra *Etimologías*
- 870 d. C. El médico persa Ali ibn Sahl Rabban alTabari escribe una enciclopedia médica en árabe
- 910 d. C. El médico persa Rasis identifica la diferencia entre la viruela y el sarampión

1000-1799 d. C.

- 1030 Avicena escribe el *Canon de medicina* que se utilizará hasta el siglo XVIII
- 1204 El papa Inocencio III organizó el hospital de Santo Spirito en Roma
- 1403 Cuarentena contra la peste negra en Venecia
- 1541 El médico suizo Paracelso hace grandes avances en medicina (cirugía y toxicología)
- 1553 El médico español Miguel Servet estudia la circulación pulmonar (muere en la hoguera)

- 1590 El microscopio es inventado en los Países Bajos y hace avanzar rápidamente la medicina
- 1665 El científico inglés Robert Hooke identifica las células (y populariza ese nombre)
- 1675 El científico holandés Anton Van Leeuwenhoek inicia la microbiología con microscopios
- 1774 El científico inglés Joseph Priestley descubre el oxígeno y comienza la química moderna
- 1780 Benjamin Franklin escribe sobre la cura del envejecimiento y la preservación humana
- 1796 El médico inglés Edward Jenner desarrolla la primera vacuna eficaz contra la viruela
- 1798 Thomas Malthus discute de la producción de alimentos y sobreproducción humana

1800-1899 d. C.

- 1804 La población mundial llega a 1 000 000 000 de habitantes
- 1804 El médico francés René Laënnec inventa el estetoscopio
- 1809 El científico francés Jean-Baptiste Lamarck propone la primera teoría de la evolución
- 1818 El médico inglés James Blundell realiza la primera transfusión exitosa de sangre
- 1828 El científico alemán Christian Ehrenberg acuña la palabra bacteria («bastón», en griego)
- 1842 El médico estadounidense Crawford Long realiza la primera cirugía con anestesia
- 1858 El médico alemán Rudolf Virchow publica la teoría celular
- 1859 El científico inglés Charles Darwin publica en Londres *El origen de las especies*
- 1865 El monje austriaco Gregor Mendel descubre las leyes de la genética
- 1869 El médico suizo Friedrich Miescher identifica el ADN por primera vez
- 1870 Louis Pasteur y Robert Koch publican la teoría microbiana de las infecciones
- 1882 El científico francés Louis Pasteur desarrolla una vacuna contra la rabia
- 1890 Walter Flemming y otros describen la distribución cromosómica durante la división celular
- 1892 El biólogo alemán August Weismann plantea la «inmortalidad» de células germinales
- 1895 El físico alemán Wilhelm Conrad Röntgen descubre los rayos X y su uso médico
- 1896 El físico francés Antoine Henri Becquerel descubre la radiactividad

1898 El científico holandés Martinus Beijerinck descubre el primer virus e inicia la virología

1900-1959 d. C.

1905 El biólogo inglés William Bateson acuña el término genética

1906 El científico inglés Frederick Hopkins describe vitaminas y enfermedades relacionadas

1906 El médico alemán Alois Alzheimer describe la enfermedad que hoy lleva su nombre

1906 Santiago Ramón y Cajal recibe el premio Nobel por sus estudios del sistema nervioso

1911 Thomas Hunt Morgan demuestra que los genes residen en los cromosomas

1922 El científico ruso Aleksandr Oparin plantea teoría sobre el origen de la vida en la Tierra

1925 El biólogo francés edouard Chatton acuña las palabras «procariota» y «eucariota»

1927 La población mundial llega a 2 000 000 000 de habitantes

1927 Primeras vacunas para el tétano y la tuberculosis

1928 El científico inglés Alexander Fleming descubre la penicilina (primer antibiótico)

1933 El científico polaco Tadeus Reichstein sintetiza la primera vitamina (C, ácido ascórbico)

1934 Científicos de Cornell descubren la restricción calórica para alargar la vida en ratones

1938 Un celacanto (considerado un «fósil viviente») fue pescado al sur de África

1950 El primer antibiótico sintético es creado

1951 Se comienza la inseminación artificial del ganado con semen criopreservado

1951 Se descubre que las células cancerígenas HeLa son «biológicamente inmortales»

1952 El médico estadounidense Jonas Salk desarrolla la vacuna contra la poliomielitis

1952 El químico estadounidense Stanley Miller experimenta sobre el origen de la vida

1952 Se realizan los primeros experimentos de clonación con huevos de ranas

1953 James D. Watson y Francis Crick demuestran la estructura de doble hélice del ADN

1954 El médico estadounidense Joseph Murray realiza el primer trasplante de riñón humano

1958 El médico estadounidense Jack Steele acuña el término biónica

1959 La población mundial llega a 3 000 000 000 de habitantes

1959 Severo Ochoa recibe el premio Nobel por su trabajo en bioquímica sobre ARN y ADN

1960-1999 d. C.

1961 Joan Oró avanza la bioquímica con teorías sobre el origen de la vida

1961 El científico estadounidense Leonard Hayflick descubre un límite a la división celular

1967 El académico estadounidense James Bedford es el primer paciente criopreservado

1967 El médico sudafricano Christian Barnard realiza el primer trasplante de corazón humano

1972 Se descubre que la composición del ADN de humanos y gorilas es 99% similar

1974 La población mundial llega a 4 000 000 000 de habitantes

1975 Diferentes científicos descubren finalmente los telómeros (desde 1933 se habían considerado)

1978 Nace el primer humano por inseminación artificial (Louise Brown en Inglaterra)

1978 Células madres fueron descubiertas en la sangre del cordón umbilical

1980 La OMS declara oficialmente erradicada a la viruela en todo el mundo

1981 Primeras células madre (de ratones) desarrolladas «*in vitro*»

1982 Humulin (fármaco para diabetes) es primer producto biotecnológico aprobado por la FDA

1985 La bióloga australiana-estadounidense Elizabeth Blackburn identifica la enzima telomerasa

1986 VIH (virus de inmunodeficiencia humana) es identificado como la causa del sida

1987 La población mundial llega a 5 000 000 000 de habitantes

1990 El Proyecto Genoma Humano comienza como un gran esfuerzo de gobiernos

1990 El primer tratamiento génico es aprobado para un desorden inmunológico

1990 La FDA aprueba el primer organismo genéticamente modificado (tomate Flavr Savr)

1993 La bióloga estadounidense Cynthia Kenyon aumenta varias veces la vida de *C. elegans*

1995 El científico estadounidense Caleb Finch descubre la senescencia nula en animales

1996 El científico escocés Ian Wilmut clona la oveja Dolly (primer mamífero clonado)

1998 Primeras células madre embrionarias aisladas en jóvenes embriones humanos

1999 La población mundial llega a 6 000 000 000 de habitantes

2000-2020 d. C.

- 2001 El científico estadounidense Craig Venter anuncia su secuencia del genoma humano
- 2002 Primer virus artificial (polio virus) es creado completamente por científicos
- 2003 El Proyecto Genoma Humana termina, con participación pública y privada
- 2003 El científico inglés Aubrey de Grey y colegas crean la Fundación Matusalén
- 2004 Epidemia de SARS es contenida un año después de su inicio (genoma secuenciado en días)
- 2006 El científico japonés Shinya Yamanaka genera células madre pluripotentes inducidas
- 2008 La bióloga española María Blasco anuncia que ha logrado extender la vida de ratones
- 2009 El científico inglés Aubrey de Grey y colegas crean la Fundación de Investigación SENS
- 2009 Premio Nobel de Fisiología y Medicina por estudios de telómeros y telomerasa
- 2010s Primer Puente hacia la longevidad indefinida (Ray Kurzweil)
- 2010 El científico estadounidense Craig Venter anuncia creación de primera bacteria artificial
- 2010 Premio Nobel de Fisiología y Medicina por desarrollo de la fertilización *in vitro*
- 2011 La población mundial llega a 7 000 000 000 de habitantes
- 2011 Investigadores franceses logran rejuvenecer células humanas «*in vitro*»
- 2012 Premio Nobel de Fisiología y Medicina por reprogramar células (pluripotentes)
- 2013 Primer riñón de rata producido *in vitro* en Estados Unidos
- 2013 Primer hígado humano producido con células madre en Japón
- 2013 Google anuncia creación de Calico (California Life Company) para curar envejecimiento
- 2014 IBM expande el uso de su sistema médico inteligente llamado Doctor Watson
- 2014 El médico coreanoestadounidense Joon Yun crea el premio Palo Alto de Longevidad
- 2015 Primera vacuna contra el virus de la fiebre hemorrágica del ébola
- 2016 Mark Zuckerberg de Facebook anuncia que es posible curar «todas las enfermedades»
- 2016 Científicos de Microsoft anuncian que pueden curar el cáncer en diez años
- 2017 Juan Carlos Izpisúa Belmonte anuncia que ha logrado «rejuvenecer» 40% a ratones
- 2018 Primer tratamiento comercial de edición génica con CRISPR

2020 d. C.-2029 d. C. (algunas posibilidades)

- 2010s Segundo Puente hacia la longevidad indefinida con biotecnología (Ray Kurzweil)
- 2020s Erradicación de la poliomielitis en el mundo

2020s Erradicación del sarampión en el mundo
2020s Vacuna contra la malaria
2020s Vacuna contra el sida
2020s Cura a mayoría de tipos de cáncer
2020s Cura para la enfermedad de Parkinson
2020s Bioimpresión 3D de órganos humanos simples
2020s Clonación comercial de órganos humanos con células propias
2020s Inicio de tratamientos para rejuvenecer con células madres y telomerasa
2020s IA y robots médicos completan y suplementan doctores humanos
2020s Telemedicina se esparce por el mundo
2020s Primeros viajes tripulados a Marte
2025 Ensambladores moleculares (nanotecnología) son posibles (Ray Kurzweil)
2023 La población mundial llega a 8 000 000 000 de habitantes según las Naciones Unidas
2026 La población mundial llega a 8 000 000 000 de habitantes según Oficina del Censo USA
2029 Se alcanza la velocidad de escape de la longevidad (Ray Kurzweil)
2029 Una IA avanzada pasa el Test de Alan Turing (indistinguible por humanos)

Después de 2030 d. C. (más posibilidades)

2030s Tercer Punte hacia la longevidad indefinida con nanotecnología e IA (Ray Kurzweil)
2030s Cura para la enfermedad de Alzheimer
2030s Consolidación de primera colonia humana en Marte (Elon Musk)
2037 La población mundial llega a 9 000 000 000 de habitantes según las Naciones Unidas
2039 Transferencia mental será posible (Ray Kurzweil)
2040s Internet planetaria conectando la Tierra, la Luna, Marte y naves espaciales
2040s Primeras reanimación de pacientes criopreservados (Ray Kurzweil)
2042 La población mundial llega a 9 000 000 000 de habitantes según Oficina del Censo USA
2045 Se cura el envejecimiento y la muerte se convierte en opcional (Ray Kurzweil)
2045 La Singularidad: la IA sobrepasa a toda la inteligencia humana (Ray Kurzweil)
2049 La distinción entre la realidad «real» y la realidad virtual se desvanece (Ray Kurzweil)
2050 Robots humanoides ganan al equipo inglés de fútbol (British Telecom)
2072 Inicio de la picotecnología: pico es mil veces menor que nano (Ray Kurzweil)
2099 Inicio de la femtotecnología: femto es mil veces menor que pico (Ray Kurzweil)
2099 El concepto de longevidad es irrelevante en un mundo de «amortilidad»

Bibliografía

¡Qué pena morir cuando me queda tanto por leer!

MARCELINO MENÉNDEZ PELAYO, 1912

Siempre imaginé que el Paraíso sería algún tipo de biblioteca.

JORGE LUIS BORGES, 1960

- Alberts, Bruce. (2014). *Molecular Biology of the Cell. 6th Edition*. Garland Science.
- Alexander, Brian. (2004). *Rapture: A Raucous Tour of Cloning, Transhumanism, and the New Era of Immortality*. Basic Books.
- Alexandre, Laurent. (2011). *La mort de la mort: Comment la technomédecine va bouleverser l'humanité*. Editions Jean-Claude Lattès.
- Alighieri, Dante. (2008 [1321]). *The Divine Comedy*. Chartwell Books.
- Andrews, Bill & Cornell, Jon. (2017). *Telomere Lengthening: Curing All Disease Including Aging and Cancer*. Sierra Sciences.
- Andrews, Bill & Cornell, Jon. (2014). *Curing Aging: Bill Andrews on Telomere Basics*. Sierra Sciences.
- Arking, Robert. (2006). *The Biology of Aging: Observations and Principles*. Oxford University Press.
- Arrison, Sonia. (2011). *100 Plus: How the Coming Age of Longevity Will Change Everything, From Careers and Relationships to Family and Faith*. Basic Books.
- Asimov, Isaac. (1993). *Asimov's New Guide to Science*. Penguin Books Limited.
- Austad, Steven N. (1997). *Why We Age: What Science Is Discovering About the Body's Journey Through Life*. John Wiley & Sons, Inc.
- Bailey, Ronald. (2005). *Liberation Biology: The Scientific and Moral Case for the Biotech Revolution*. Prometheus Books.
- Banco Mundial. (Anual). *Informe sobre el desarrollo mundial*. Banco Mundial.
- BBVA, OpenMind. (2017). *El próximo paso: La vida exponencial*. BBVA, OpenMind
- Becker, Ernest. (1973). *The Denial of Death*. Free Press.
- Blackburn, Elizabeth & Epel, Elissa. (2018). *The Telomere Effect: A Revolutionary Approach to Living Younger, Healthier, Longer*. Grand Central Publishing.
- Blasco, María & Salomone, Mónica G. (2016). *Morir joven, a los 140: El papel de los telómeros en el envejecimiento y la historia de cómo trabajan los científicos para conseguir que vivamos más y mejor*. Paidós.
- Bostrom, Nick. (2005). «A History of Transhumanist Thought». *Journal of Evolution and Technology*, vol. 14 Issue 1, de abril de 2005.
- Bova, Ben. (1998). *Immortality: How Science is Extending Your Life Span, and Changing the World*. Avon Books.

- Broderick, Damien. (1990). *The Last Mortal Generation: How Science Will Alter Our Lives in the 21st Century*. New Holland.
- Bulterijs, Sven; Hull, Raphaella S.; Bjork, Victor C. & Roy, Avi G. (2015). «It is time to classify biological aging as a disease». *Frontiers in Genetics* 6:205.
- Carlson, Robert H. (2010). *Biology is Technology: The promise, peril, and new business of engineering life*. Harvard University Press.
- Cave, Stephan. (2012). *Immortality: The Quest to Live Forever and How It Drives Civilization*. Crown.
- Chaisson, Eric. (2005). *Epic of Evolution: Seven Ages of the Cosmos*. Columbia University Press.
- Church, George M. and Regis, ed. (2012). *Regenesis: How Synthetic Biology will Reinvent Nature and Ourselves*. Basic Books.
- Clarke, Arthur C. (1984 [1962]). *Profiles of the Future: An Inquiry into the Limits of the Possible*. Henry Holt and Company.
- Coeurnelle, Didier. (2013). *Et si on arrêta de vieillir!* FYP éditions.
- Comfort, Alex. (1964). *Ageing: The Biology of Senescence*. Routledge & Kegan Paul.
- Condorcet, Marie-Jean-Antoine-Nicolas de Caritat. (1979 [1795]). *Sketch for a Historical Picture of the Progress of the Human Mind*. Greenwood Press.
- Cordeiro, José Luis (ed.). (2014). *Latinoamérica 2030: Estudio Delphi y Escenarios*. Lola Books.
- Cordeiro, José Luis. (2010). *Telephones and Economic Development: A Worldwide Long-Term Comparison*. Lambert Academic Publishing.
- , (2007). *El Desafío Latinoamericano... y sus Cinco Grandes Retos*. McGraw-Hill Interamericana.
- Danaylov, Nikola. (2016). *Conversations with the Future: 21 Visions for the 21st Century*. Singularity Media, Inc.
- Darwin, Charles. (2003 [1859]). *The Origin of the Species*. Fine Creative Media.
- Dawkins, Richard. (1976). *The Selfish Gene*. Oxford University Press.
- De Grey, Aubrey & Rae, Michael. (2013). *El fin del envejecimiento: Los avances que podrían revertir el envejecimiento humano durante nuestra vida*. Lola Books.
- De Grey, Aubrey; Ames, Bruce N.; Andersen, Julie K.; Bartke, Andrzej; Campisi, Judith; Heward, Christopher B.; McCarter, Roger JM & Stock, Gregory. (2002). «Time to talk SENS: critiquing the immutability of human aging». *Annals of the New York Academy of Sciences*, vol. 959; pp. 452-462.
- De Grey, Aubrey. (1999). *The mitochondrial free radical theory of aging*. Landes Bioscience.
- De Magalhães, João Pedro, Curado, J. & Church, George M. (2009). «Meta-analysis of age-related gene expression profiles identifies common signatures of aging». *Bioinformatics*, 25(7), pp. 875-881.
- Deep Knowledge Ventures. (2018). *AI for Drug Discovery, Biomarker Development and Advanced R&D*. Deep Knowledge Ventures.

- DeLong, J. Brad. (2000). «Cornucopia: The Pace of Economic Growth in the Twentieth Century». *NBER Working Papers* 7602.
- Diamandis, Peter H. & Kotler, Steven. (2012). *Abundance: The Future is Better Than You Think*. Free Press.
- Diamandis, Peter H. & Kotler, Steven. (2016). *Bold: How to Go Big, Create Wealth and Impact the World*. Simon & Schuster.
- Diamond, Jared M. (1997). *Guns, Germs, and Steel: The Fates of Human Societies*. W.W. Norton & Co.
- Drexler, K. Eric. (1987). *Engines of Creation: The Coming Age of Nanotechnology*. Anchor Books.
- Drexler, K. Eric. (2013). *Radical Abundance: How a Revolution in Nanotechnology Will Change Civilization*. PublicAffairs.
- Dyson, Freeman J. (2004 [1984]): *Infinite in All Directions*. Harper Perennial.
- Ehrlich, Paul. (1968). *The Population Bomb*. Sierra Club/Ballantine Books.
- Emsley, John. (2011). *Nature's Building Blocks: An A-Z Guide to the Elements*. Oxford University Press.
- Ettinger, Robert. (1964). *The Prospect of Immortality*. Doubleday.
- Ettinger, Robert. (1972). *Man into Superman*. St. Martin's Press.
- Fahy, Gregory et al, (ed.). (2010). *The Future of Aging: Pathways to Human Life Extension*. Springer.
- Farmanfarmaian, Robin. (2015). *The Patient as CEO: How Technology Empowers the Healthcare Consumer*. Lioncrest Publishing.
- Feynman, Richard. (2005). *The Pleasure of Finding Things Out: The Best Short Works of Richard P. Feynman*. Basic Books.
- Finch, Caleb E. (1990). *Senescence, Longevity, and the Genome*. University of Chicago Press.
- Fogel, Robert William. (2004). *The Escape from Hunger and Premature Death, 1700-2100: Europe, America, and the Third World*. Cambridge University Press.
- Fossel, Michael. (1996). *Reversing Human Aging*. William Morrow and Company.
- Fossel, Michael. (2015). *The Telomerase Revolution: The Enzyme That Holds the Key to Human Aging and Will Soon Lead to Longer, Healthier Lives*. BenBella Books.
- Fumento, Michael. (2003). *BioEvolution: How Biotechnology Is Changing the World*. Encounter Books.
- García Aller, Marta. (2017). *El fin del mundo Tal y como lo conocemos: Las grandes innovaciones que van a cambiar tu vida*. Planeta.
- Garreau, Joel. (2005). *Radical Evolution: The Promise and Peril of Enhancing Our Minds, Our Bodies, and What It Means to Be Human*. Doubleday.
- Glenn, Jerome, et al. (2018). *State of the Future 19.1*. The Millennium Project.
- Gosden, Roger. (1996). *Cheating Time*. W. H. Freeman & Company.

- Gupta, Sanjay. (2009). *Cheating Death: The Doctors and Medical Miracles that Are Saving Lives Against All Odds*. Wellness Central.
- Halal, William E. (2008). *Technology's Promise: Expert Knowledge on the Transformation of Business and Society*. Palgrave Macmillan.
- Haldane, John Burdon Sanderson. (1924). *Daedalus or Science and the Future*. K. Paul, Trench, Trubner & Co.
- Hall, Stephen S. (2003). *Merchants of Immortality: Chasing the Dream of Human Life Extension*. Houghton Mifflin Harcourt.
- Halperin, James L. (1998). *The First Immortal*. Del Rey, Random House.
- Harari, Yuval Noah. (2015). *Sapiens: A Brief History of Humankind*. Harper.
- Harari, Yuval Noah. (2017). *Homo Deus: A Brief History of Tomorrow*. Harper.
- Hawking, Stephen. (2002). *The Theory of Everything: The Origin and Fate of the Universe*. New Millennium Press.
- Hayflick, Leonard. (1994). *How and Why We Age*. Ballantine Books.
- Hobbes, Thomas. (2008 [1651]). *Leviathan*. Oxford World's Classics. Oxford University Press.
- Hughes, James. (2004). *Citizen Cyborg: Why Democratic Societies Must Respond to the Redesigned Human of the Future*. Westview Press.
- Huxley, Julian. (1957). «Transhumanism». *New Bottles for New Wine*. Chatto & Windus.
- Immortality Institute (ed.). (2004). *La conquista científica de la muerte: Ensayos sobre expectativas de vida infinita*. Libros En Red.
- International Monetary Fund. (Annual). *World Economic Outlook*. International Monetary Fund.
- Ioviță, Anca. (2017). *La Brecha del Envejecimiento Entre las Especies*. Babelcube Inc.
- Jackson, Moss A. (2016). *I Didn't Come to Say Goodbye! Navigating the Psychology of Immortality*. D & L Press.
- Kahn, Herman. (1976). *The Next 200 Years: A Scenario for America and the World*. Quill.
- Kaku, Michio. (2012). *Physics of the Future: How Science Will Shape Human Destiny and Our Daily Lives by the Year 2100*. Anchor Books.
- Kaku, Michio. (2018). *The Future of Humanity: Terraforming Mars, Interstellar Travel, Immortality, and Our Destiny Beyond Earth*. Doubleday.
- Kanungo, Madhu Sudan. (1994). *Genes and Aging*. Cambridge University Press.
- Kennedy, Brian K.; Berger, Shelley, L.; Brunet, Anne; Campisi, Judith; Cuervo, Ana Maria; Epel, Elissa S.; Franceschi, Claudio; Lithgow, Gordon J.; Morimoto, Richard I.; Pessin, Jeffrey E.; Rando, Thomas A.; Arlan Richardson, Arlan; Schadt, Eric E.; Wyss-Coray, Tony & Sierra, Felipe. (2014). «Aging: a common driver of chronic diseases and a target for novel interventions». *Cell*, 6 de noviembre de 2014; 159(4): pp. 709-713.

- Kenyon, Cynthia J. (2010). «The genetics of ageing». *Nature*, 464(7288), pp. 504-512.
- Kuhn, Thomas S. (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*. University of Chicago Press.
- Kurian, George T. and Molitor, Graham T. T. (1996). *Encyclopedia of the Future*. Macmillan.
- Kurzweil, Ray & Grossman, Terry. (2004). *Fantastic Voyage: Live Long Enough to Live Forever*. Rodale Books.
- Kurzweil, Ray & Grossman, Terry. (2009). *TRANSCEND: Nine Steps to Living Well Forever*. Rodale Books.
- Kurzweil, Ray. (1999). *The Age of Spiritual Machines*. Penguin Books.
- Kurzweil, Ray. (2012). *La Singularidad está cerca: Cuando los humanos transcendamos la biología*. Lola Books.
- Kurzweil, Ray. (2013). *Como crear una mente: El secreto del pensamiento humano*. Lola Books.
- Lima, Manuel. (2014). *The book of Trees: Visualizing Branches of Knowledge*. Princeton Architectural Press.
- Longevity.International. (2017). *Longevity Industry Analytical Report 1: The Business of Longevity*. Longevity.International.
- Longevity.International. (2017). *Longevity Industry Analytical Report 2: The Science of Longevity*. Longevity.International.
- López-Otín, Carlos; Blasco, Maria A.; Partridge, Linda; Manuel Serrano, Manuel & Kroemer, Guido. (2013). «The Hallmarks of Aging». *Cell*, 6 de junio de 2013; 153(6): pp. 1194-1217.
- Maddison, Angus. (2001). *The World Economy: A Millennial Perspective*. OECD Development Center.
- Maddison, Angus. (2004). *Historical Statistics for the World Economy: 1-2003 AD*. OECD Development Center.
- Maddison, Angus. (2007). *Contours of the World Economy 1-2030 AD: Essays in Macro-Economic History*. Oxford University Press.
- Malthus, Thomas Robert. (2008 [1798]). *An Essay on the Principle of Population*. Oxford World's Classics. Oxford University Press.
- Martínez-Barea, Juan. (2014). *El mundo que viene: Descubre por qué las próximas décadas serán las más apasionantes de la historia de la humanidad*. Gestión 2000.
- Martinez, Daniel E. (1998). «Mortality patterns suggest lack of senescence in hydra». *Experimental Gerontology*, mayo de 1998; 33(3), pp. 217-225.
- Medawar, Peter. (1952). *An Unsolved Problem of Biology*. H. K. Lewis.
- Mellon, Jim & Chalabi, Al. (2017). *Juvenescence: Investing in the Age of Longevity*. Fruitful Publications.

- Miller, Philip Lee & Life Extension Foundation. (2005). *The Life Extension Revolution: The New Science of Growing Older Without Aging*. Bantam Books.
- Minsky, Marvin. (1987). *The Society of Mind*. Simon and Schuster.
- Minsky, Marvin. (1994). «Will robots inherit the Earth?» *Scientific American*, octubre de 1994.
- Mitteldorf, Josh & Sagan, Dorion. (2016). *Cracking the Aging Code: The New Science of Growing Old, and What it Means for Staying Young*. Flatiron Books.
- Moore, Geoffrey. (1995). *Crossing the Chasm: Marketing and Selling High-tech Products to Mainstream Customers*. Harperbusiness.
- Moravec, Hans. (1999). *Robot: Mere Machine to Transcendent Mind*. Oxford University Press.
- , (1988). *Mind Children*. Harvard University Press.
- More, Max & Vita-More, Natasha. (2013). *The Transhumanist Reader: Classical and Contemporary Essays on the Science, Technology, and Philosophy of the Human Future*. Wiley-Blackwell.
- More, Max. (2003). *The Principles of Extropy. Version 3.11*. The Extropy Institute.
- Mulhall, Douglas. (2002). *Our Molecular Future: How Nanotechnology, Robotics, Genetics, and Artificial Intelligence will Transform our World*. Prometheus Books.
- Musi, Nicolas & Hornsby, Peter (ed.). (2015). *Handbook of the Biology of Aging, Eight Edition*. Academic Press.
- Naam, Ramez. (2005). *More Than Human: Embracing the Promise of Biological Enhancement*. Broadway Books.
- Naciones Unidas. (2017). *World Population Prospects 2017*. Naciones Unidas.
- Navajas, Santiago. (2016). *El hombre tecnológico y el síndrome Blade Runner*. Editorial Berenice.
- Ocampo, Alejandro; Reddy, Pradeep; Martinez-Redondo, Paloma; Platero-Luengo, Aida; Hatanaka, Fumiyuki; Hishida, Tomoaki; Li, Mo; Lam, David; Kurita, Masakazu; Beyret, Ergin; Araoka, Toshikazu; Vazquez-Ferrer, Eric; Donoso, David; Roman, José Luis; Xu, Jinna; Rodriguez Esteban, Concepcion; Gabriel Nuñez, Gabriel; Nuñez Delicado, Estrella; Campistol, Josep M.; Guillen, Isabel; Guillen, Pedro & Izpisúa Belmonte, Juan Carlos. (2016). «In Vivo Amelioration of Age-Associated Hallmarks by Partial Reprogramming». *Cell*. 15 de diciembre de 2016; 167(7): pp. 1719-1733.
- Organización de las Naciones Unidas. (Anual). *Anuario Estadístico*. Organización de las Naciones Unidas.
- Organización Mundial de la Salud. (1948). *Constitution of the World Health Organization*. Organización Mundial de la Salud.
- Organización Mundial de la Salud. (1992). *The ICD-10 Classification of Mental and Behavioural Disorders: Clinical Descriptions and Diagnostic Guidelines*. Organización Mundial de la Salud.

- Organización Mundial de la Salud. (2006). *History of the Development of the ICD*. Organización Mundial de la Salud.
- Organización Mundial de la Salud. (2011). *International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems. 10th Revision, Edition 2010*. Organización Mundial de la Salud.
- Paul, Gregory S. & Cox, Earl. (1996). *Beyond Humanity: Cyberevolution and Future Minds*. Charles River Media.
- Perry, Michael. (2001). *Forever For All: Moral Philosophy, Cryonics, and the Scientific Prospects for Immortality*. Universal Publishers.
- Pickover, Clifford A. (2007). *A Beginner's Guide to Immortality: Extraordinary People, Alien Brains, and Quantum Resurrection*. Thunder's Mouth Press.
- Pinker, Steven. (2012). *The Better Angels of Our Nature: Why Violence Has Declined*. Penguin Books.
- Pinker, Steven. (2018). *Enlightenment Now: The Case for Reason, Science, Humanism, and Progress*. Viking.
- Programa de la las Naciones Unidas para el Desarrollo. (Anual). *Informe sobre el desarrollo humano*. Programa de la las Naciones Unidas para el Desarrollo.
- Regis, Edward. (1991). *Great Mambo Chicken and the Transhuman Condition: Science Slightly over the Edge*. Perseus Publishing.
- Ridley, Matt. (1995). *The Red Queen: Sex and the Evolution of Human Nature*. Harper Perennial.
- Roco, Mihail C. & Bainbridge, William Sims (eds.). (2003). *Converging Technologies for Improving Human Performance*. Kluwer.
- Rogers, Everett M. (2003). *Diffusion of Innovations. 5th Edition*. Free Press.
- Rose, Michael; Rauser, Casandra L. & Mueller, Laurence D. (2011). *Does Aging Stop?* Oxford University Press.
- Rose, Michael. (1991). *Evolutionary Biology of Aging*. Oxford University Press.
- Sagan, Carl. (1977). *The Dragons of Eden: Speculations on the Evolution of Human Intelligence*. Random House.
- Serrano, Javier. (2015). *El hombre biónico y otros ensayos sobre tecnologías, robots, maquinas y hombres*. Editorial Guadalmazán.
- Shakespeare, William. (2017 [1601]). *Hamlet*. Amazon Classics.
- Shermer, Michael. (2018). *Heavens on Earth: The Scientific Search for the Afterlife, Immortality, and Utopia*. Henry Holt and Co.
- Simon, Julian L. (1998). *The Ultimate Resource 2*. Princeton University Press.
- Skloot, Rebecca . (2010). *The Immortal Life of Henrietta Lacks*. Random House.
- Stambler, Ilia. (2014). *A History of Life-Extensionism in the Twentieth Century*. CreateSpace Independent Publishing Platform.
- Stambler, Ilia. (2017). *Longevity Promotion: Multidisciplinary Perspectives*. CreateSpace Independent Publishing Platform.

- Stock, Gregory. (2002). *Redesigning Humans: Our Inevitable Genetic Future*. Houghton Mifflin Company.
- Stolyarov II, Gennady. (2013). *La muerte está mal*. Rational Argumentators Press.
- Strehler, Bernard. (1999). *Time, Cells, and Aging*. Demetriades Brothers.
- Teilhard de Chardin, Pierre. (1964). *The Future of Man*. Harper & Row.
- Venter, J. Craig. (2008). *A Life Decoded: My Genome: My Life*. Penguin Books.
- Venter, J. Craig. (2014). *Life at the Speed of Light: From the Double Helix to the Dawn of Digital Life*. Penguin Books.
- Vinge, Vernor. (1993). «The Coming Technological Singularity». *Whole Earth Review*, invierno de 1993.
- Warwick, Kevin. (2002). *I, Cyborg*. Century.
- Weindruch, Richard & Walford, Roy. (1988). *The Retardation of Aging and Disease by Dietary Restriction*. Charles C. Thomas.
- Weiner, Jonathan. (2010). *Long for This World: The Strange Science of Immortality*. HarpersCollins Publishers.
- Weismann, August. (1892). *Essays Upon Heredity and Kindred Biological Problems. Volumes 1 & 2*. Clarendon Press.
- Wells, H.G. (1902). «The Discovery of the Future». *Nature*, 65, pp. 326-331.
- West, Michael. (2003). *The Immortal Cell*. Doubleday.
- Wood, David W. (2017). *La abolición del envejecimiento: La radical extensión de la longevidad saludable humana que está por venir*. Lola Books.
- Zendell, David. (1992). *The Broken God*. Spectra.
- Zhavoronkov, Alex & Bhullar, Bhupinder. (2015). «Classifying aging as a disease in the context of ICD-11». *Frontiers in Genetics*.
- Zhavoronkov, Alex. (2013). *The Ageless Generation: How Advances in Biomedicine Will Transform the Global Economy*. Palgrave Macmillan.

Agradecimientos

Es de bien nacidos ser agradecidos.

Refrán español, siglo XVII

Si he visto más lejos ha sido porque he subido a hombros de gigantes.

ISAAC NEWTON, 1676

La victoria tiene cientos de padres, pero la derrota es huérfana.

JOHN FITZGERALD KENNEDY, 1961

Este es un libro de la vida, por la vida y para la vida. Nuestros primeros agradecimientos son para nuestras familias, que nos han permitido llegar hasta aquí. Aunque, incluso en mayor medida que a nuestras familias directas, también lo son para nuestros primeros ancestros homínidos en África hace millones de años atrás, y mucho antes los primeros organismos unicelulares de los cuales desciende toda la vida en nuestro pequeño planeta.

Comenzamos con cinco agradecimientos muy especiales. El primero es para Roger Domingo, nuestro editor y director editorial de Ediciones Deusto (Grupo Planeta), un excelente guía durante el largo proceso para completar este libro desde su concepción hasta su nacimiento. Agradecimiento que hacemos extensible a todo su equipo: Carola, Carme, María José, Sergi, Marta y Anabel. En segundo lugar queremos mencionar al editor de algunos de nuestros libros anteriores, Carlos García Hernández, que también ha editado los libros de Aubrey de Grey y de Ray Kurzweil en castellano en la editorial Lola Books. Tercero, mostramos nuestro agradecimiento a Breyssi Arana, que se ha tomado la idea de «la muerte de la muerte» como una cuestión personal para ella y para los demás. En cuarto lugar nos gustaría mencionar a Pedro Miguel Cordeiro, Andrés Grases y Cayetano Santana Gil, que se han tomado la molestia de leer todo el manuscrito, aunque cualquier error sigue siendo responsabilidad exclusiva de los autores. Quinto para nuestras eternas amigas Hyesoon Wood, Iruña Urruticoechea y Andrea Herrera que harán que este libro viva para siempre.

Muchas gracias a nuestros colegas y amigos en universidades e instituciones como la Autónoma de Madrid, Barcelona, Berkeley, Cambridge, College London, Complutense, Georgetown, Harvard, HSE, IE, INSEAD, Liverpool, MIPT, MIT, Oxford, Politécnica de Madrid, Rey Juan Carlos, Sevilla, Simón Bolívar, Singularity, Sophia, Stanford, Tecnológico de Monterrey, Westminster, Yonsei y muchas otras en

diferentes partes del mundo. También queremos agradecer a personas en otras organizaciones visionarias como la Academia Mundial de Arte y Ciencia, Alianza Futurista, Apadrina la Ciencia, Asociación Internacional para la Longevidad, Asociación Transhumanista, Club de Roma, Club Financiero Génova, Coalición para la Extension Radical de la Vida, Fundación Alcor para la Extension de la Vida, Fundación para la Extension de la Vida, Fundación Lifeboat, Fundación para la Investigación SENS, Futuristas de Londres, Humanity+, Instituto de Criónica, KrioRus, Millennium Project, Partido Transhumanista, Red Iberoamericana de Prospectiva RIBER, Sociedad Altius, Sociedad Mundial del Futuro, Sociedad Criónica, ShappingTomorrow, Talentya y TechCast Global.

A modo individual, queremos comenzar con nuestros agradecimientos a los investigadores e inversores que están trabajando activamente para la extensión radical de la vida: Bruce Ames, Bill Andrews, Inés Antón Gutiérrez, Sonia Arrison, Gustavo Barja, Mikhail Batin, Ben Best, Marko Bitenc, Victor Bjork, María Blasco, Sven Bulterijs, Judith Campisi, George Church, Kristin Comella, Franco Cortese, Attila Csordas, Alejandro De la Parra Solomon, Aubrey de Grey, João Pedro de Magalhães, Aschwin de Wolf, Edouard Debonneuil, Bobby Dhadwar, Peter Diamandis, Eric Drexler, Gregory Fahy, Bill Faloon, Michael Fossel, Robert Freitas, Cristina Garmendia, Sebastian Giwa, Ben Goertzel, Mark Gordon, Rodolfo Goya, Leonid Gravitov, Michael Greve, Terry Grossman, William Haseltine, Paul Hynek, Anca Ioviță, Salim Ismail, Juan Carlos Izpisúa Belmonte, Charlie Kam, Dmitry Kaminskiy, David Kekich, Daria Khaltourina, Ron Klatz, Randal Koene, Maria Konovalenko, Daniel Kraft, Anton Kulaga, Ray Kurzweil, Marios Kyriazis, Miriam Leis, Carlos López-Otín, Dip Maharaj, Juan Martínez-Barea, Stephen Matlin, John Mauldin, Raymond McCauley, Danila Medvedev, Oliver Medvedik, Jim Mellon, Ralph Merkle, Elena Milova, Ginés Morata, Max More, Noel García Medel, Alexey Moskalev, Peter Nygard, Liz Parrish, Ira Pastor, Kevin Perrott, Steve Perry, Christine Peterson, Robert J.S. Reis, Ramón Risco, Edwina Rogers, Michael Rose, Martine Rothblatt, Avi Roy, Anders Sandberg, Manuel Serrano, Carmen Simón Mateo, Fred Stitt, Gregory Stock, Alexandra Stolzing, Jim Strole, Peter Thiel, Aaron Traywick, Harold Varmus, Craig Venter, Natasha Vita-More, Peter Voss, Kevin Warwick, Michael West, Kristen Willeumier, Alex Zhavoronkov.

También queremos agradecer a los comunicadores que hacen falta para divulgar estas ideas a un mayor número de personas en diferentes partes del mundo, desde periodistas profesionales hasta escritores aficionados: Karelys Abarca, Sonia Aguirre, Jorge Alcalde, Silvia Aparicio, Pablo Aragón, Ronald Bailey, Joe Bardin, Jaime Bayly, Carlos Becerra, Manuel Bellido, Eva Blanco Medina, Nuria Briongos, Ismael Cala, Iban Campo, Pilar Carrizosa, Alejandra Casado, Josep María Castells Benabarre, Javier Cárdenas, Enrique Coperías, Nikola Danaylov, George Dvorsky, María Eizaguirre, María Entraigues-Abramson, Pere Estupinyá, Sergio Fanjul, Carlos Fernández, Elena Fernández, Valentina Fernández, Enrique Flores Córdova, Ricardo

Fraguas, Iñaki Gabilondo, Marta García Aller, Teresa Guerrero, Marta Gutiérrez Abad, Esteban Hernández, Alberto Iglesias, Ainhoa Iriberry, Zoltan Istvan, Nacho Jacob, Pilar Jericó, Goyo Jiménez, Iker Jiménez, Norberto La Torre, Mario Luna, Rosae Martín Peña, Eduardo Martínez, Javier Mauri, Alfonso Merlos, Marlon Molina, Salvador Molina, Javier Moll, Fran Monroy, Carlos Alberto Montaner, Mario Moreno, John Muller, BJ Murphy, Roxana Nicula, José Manuel Nieves, Gustavo Núñez, Elio Ohep, Andrés Oppenheimer, Miguel Ors, Esther Paniagua, Elena Pérez, Jorge Pérez, Vilma Petrash, Juan Pina, Xavier Pires, Macarena Población, Eduardo Punset, Paco Rago, Alba Ramón Cazorla, Reason, Beatriz Recio, Rubén Regalado, Camylla Ribeiro, Eduardo Riveros, Alejandro Sacristán, Ivannia Salazar, Alejandro San Nicolás, Carmen Sastre Bellas, Michael Shermer, Jason Silva, Pilar Socorro, Domingo Soriano, Mar Souto Romero, Jesús M. Tirado, Giuseppe Tringali, Álvaro Vargas-Llosa, Felipe Vallejos, Natalia Vaquero, Belén Velasco, Daniel Ventura, Teresa Viejo, Alfredo Villalba, Samanta Villar, Marilé Zaera, Juan Manuel Zafra y muchos otros más que olvidamos desde México hasta Argentina y desde España hasta Perú.

Igualmente agradecemos a nuestros amigos, conocidos, seguidos y seguidores, que han contribuido con sus ideas, sus comentarios, sus lecturas y sus revisiones, poco o mucho según sus posibilidades: Eva Adán, Verónica Agreda, Leonardo Aguiar, Luis Miguel Albornoz, Rosa Alegría, Laurent Alexandre, José Luis Almazán, Mario Alonso Puig, Lluís Altes, Salvador Alva, José Antonio Álvarez, Luis Álvarez, Margarita Álvarez, Sergio Álvarez, Luis Badrinas, Nicola Bagalà, Álvaro Ballarín, Esther Anzola Pérez, Jenina Bas, Nayeiry Becerra, José María Beneyto, Pilar Benito, María Benjumea, Sofía Benjumea, Jordi Bentanachs Palomar, Almudena Bermejo, Carlos Biurrun, Carlos Blanco, María Blanco, Iván Bofarull, Jaime Bosqued, Nick Bostrom, Nayi Bothe, Alan Boulton, Martha Bucaram, Vicente Bueno, Romina Florencia Cabrera, Francisco Cal Pardo, Gabriel Calzada, Xavier Cañas, Félix Capell, Aníbal Cárdenas, Jesús Carro, Iván Casal, Ramón Casilda, Elena Castañón, Adolfo Castilla, Eulalia Castillejo, Oscar Cebollero, Alejandro Chafuen, Henri Chazan, Vitto Claut, Keith Comito, Isabel Córdova, Albert Cortina, Didier Coeurnelle, Mario Conde, Javier Cremades García, Carlos Cruz, Emilio Cuatrecasas, Fernando D'Alessio, Joaquín Danvila, Vicente Dávila, Arnoldo de Hoyos, Manuel de la Peña, Felipe Debas Navalpotro, Diego del Alcázar, Salvador del Solar, David del Val, Juan Díaz, Antonio Doñaque, Valerie Drasche, Alberto Dubois, Edison Durán, Rubén Echeverri, Arnold Encomenderos, Fernando Enis, Alper Erel, Lluís Estrada, Robin Farmanfarman, Angel Feijoo, Bárbara Fernández, Chema Fernández, Ruth Fernández, Gema Ferrero, Juanjo Fraile, Oriol Francas, Thomas Frey, Patri Friedman, Mercedes Frigols, Javier Furones, Gustavo Emilio Galindo, Álvaro Gallego, Guillermo Gándara, Daniel García Andreo, Lorenzo Garrido, Lydia Garrido, Antonio Garrigues Walker, Jerome Glenn, Alberto Gómez, Antonio Gonzales, Francisco González, Luis González-Blanch, Luis González Lorenzo, Tay González, Ted

Gordon, Juan José Güemes, Alexander Guerrero, Cruz Guijarro, Heitor Gurgulino de Souza, Bill Halal, Neil Harbisson, Ricardo Hausmann, Lucio Henao, Carmen Hermidia, Nuria Hernández Moreno, Fernando Herrera, Claudio Herzka, Adrián Herzkovich, Steve Hill, Olga Horna, Adriana Hoyos, Ted Howard, Barry Hughes, James Hughes, Miguel Imaz, Alejandro Indacochea, Waldemar Ingdahl, Michael Jackson, Garry Jacobs, Martha Lucía Jaramillo, Alexander Karran, Pam Keefe, Darya Khaltourina, Kemel Kharbachi, Martin Kleman, Jaime Lagúnez, Catarina Lamm, Rob Lawrence, Fabiola León-Velarde, James Littlejohn, Antonio Liu, Soledad Llorente, Bruce Lloyd, Beatriz Lobatón, Pedro José López, Leopoldo López, Elena López Gunn, Elizabeth López Manzano, Ana Lorenzo, Adolfo Lozano del Campo, Alfredo Luna, Rino Magrone, Milagros Manchego, Angel Marchev, Jordi Martí, José Luis Mateo, Abelardo Márquez, Gonzalo Martín-Martín, Gonzalo Martín-Villa, Rafael Martínez-Cortiña, Luis Javier Martínez Sampedro, Nuno Martins, Javier Medina, Matías Méndez, Rodolfo Méndez-Marcano, Bertalan Meskó, Rodolfo Milani, Pedro Moneo, Javier Montañés Esquíroz, Chris Monteiro, Raúl Montero, Vicente Montes, Carlos Montufar, Mago More, Julio Moreno, Manuel Muñiz, Jorge Muñoz, Dalton Murray, Ramez Naam, Torsten Nahm, Pilar Navarro, Lee Newman, Guido Núñez, Concepción Olavarrieta, Max Olivier, David Orban, Antonio Orbe, Fernando Ortega, Gonzalo Osés, Sonia Pacheco, Francisco Palao Reinés, Ricardo Palomo, Youngsook Park, Moncho Paz, David Pearce, Alexandre Pérez Casares, Jesús Pérez Sánchez, Rubén Pérez Silva, Gonzalo Pinto Rojano, Luis Pita, Clara Pombo, Jacobo Pombo, Julio Pomés, María Luisa Poncela García, Valerija Pride, Giulio Prisco, Rafael Puyol, Mónica Quintana, Cipri Quintas, Terry Raby, Jovan David Rebolledo, Luis Rey Goñi, Alberto Rodríguez, Carlos Enrique Rodríguez Jiménez, Carlos Rodríguez Sau, Juan Rodríguez Hoppichler, Leticia Rodríguez López, Francisco Román, Daniel Romero Abreu, Miguel Angel Rosales, Jaume Rosselló, Marc Roux, Gonzalo Ruiz Utrilla, Juanjo Rubio, Nohelis Ruiz, Andrés Saborido, José Manuel Salgado, Luismi Samperio, Loreto San Martín, Diego Sánchez de la Cruz, Enrique Sánchez, Paola Santana, Carmen Sanz Chacón, Gema Sanz, José María Sanz Magallón, Laura Sanz, Ricardo Sanz, Alberto Sarmentero, José Ramón Saura, Kurt Schuler, Gray Scott, René Scull, Tony Seba, Gerardo Seeliger, Joaquín Serra, Javier Serrano, Javier Sirvent, Hannes Sjöblad, Mark Skousen, John Smart, Diego Soroa, Paul Spiegel, Ilia Stambler, Gennady Stolyarov II, Rohit Talwar, Ramón Tamames, Sergio Tarrero, Joseph Teperman, Enrique Titos, Luis Torras, Gary Urteaga, Julio Valdivia Silva, José Luis Vallejo, Eduardo Valverde Santana, Philippe Van Nederveelde, Neal VanDeRee, Carlos Vega, Javier Vega de Seoane, Jesús Vega, Eleodoro Ventocilla, Fran Villalba Segarra, David Villacís, Nacho Villoch, Lisa Wang, Javier Wrana e Ibon Zugasti. Esperamos que no se nos hayan olvidado muchos, y a todos les deseamos una larga y próspera vida. Adicionalmente, ninguno de ellos es responsable, si los autores no seguimos todos sus buenos consejos.

Finalmente, queremos agradecer a todos los lectores de este libro su interés, y rogamos que nos escriban con ideas, sugerencias, correcciones o cualquier comentario adicional a la dirección de contacto de la página web del libro <www.LaMuerteDeLaMuerte.org>. Todos los mensajes son más que bienvenidos para seguir mejorando el libro, cuyas ediciones futuras incluirán también en los agradecimientos los nombres de las personas que nos escriban. Tus comentarios permitirán que esta obra llegue a más personas y que las ideas sean más claras, por favor. Tu recomendación del libro a otros es igualmente importante para ayudar con los avances científicos, pues todas las regalías por las ventas del libro van destinadas para la Fundación para la Investigación SENS (SENS Research Foundation) en California y para Apadrina la Ciencia en España.

Este es un libro perfectible, como la vida misma. También es un libro «inmortal» que seguirá evolucionando, que seguirá cambiando, como la vida «inmortal» en el futuro. Es una obra en proceso de mejora continua, gracias a lectores como tú. ¡Bienvenidas todas tus sugerencias!



JOSÉ LUIS CORDEIRO.

José Luis es miembro de la Academia Mundial de Arte y Ciencia, vicepresidente de Humanity+, director del Millennium Project y director ejecutivo fundador de la Red Iberoamericana de Prospectiva (RIBER).

Anteriormente, fue director del Club de Roma (Capítulo Venezuela), de la Asociación Transhumanista Mundial y del Extropy Institute. También ha sido profesor invitado en varias universidades de todo el mundo.

Estudió ingeniería en el Massachusetts Institute of Technology (MIT) en Cambridge, administración en INSEAD en Fontainebleau, Francia, y ciencias en la Universidad Simón Bolívar en Caracas.

Ha publicado más de una decena de libros, desde economía hasta tecnología, y ha colaborado en medios de comunicación internacional como CNN, Discovery Channel y History Channel, entre otros.



DAVID WOOD.

David es uno de los pioneros de la industria del smartphone, cofundador en 1988 de Symbian, el famoso sistema operativo adquirido luego por Nokia. Codirector del Millennium Project en Londres, y fundador y director de London Futurists. Miembro del Institute for Ethics and Emerging Technologies (IET) y secretario de Humanity+. También es escritor, divulgador científico y conferenciante internacional sobre el futuro.

Fue responsable tecnológico de la consultora Accenture Mobility, donde impulsó iniciativas de negocio relacionadas con la salud, y ha publicado varios libros sobre el cambio tecnológico.

Posee un máster en matemáticas por la Cambridge University y un doctorado honorario en ciencia por la University of Westminster.

- [1] <https://www.amazon.com/Immortality-Quest-Forever-Drives-Civilization/dp/1510716157> <<
- [2] <https://www.amazon.com/Egyptian-Book-Dead-Integrated-Full-Color/dp/1452144389/> <<
- [3] <https://www.amazon.com/Epic-Gilgamesh/dp/014044100X> <<
- [4] <https://www.amazon.com/First-Emperor-China-Jonathan-Clements-ebook/dp/B00XJIQ7K2/> <<
- [5] <https://www.amazon.com/EUROPEAN-DISCOVERY-AMERICA-D1492-1616/dp/B000J57YR8> <<
- [6] <https://www.amazon.com/Homo-Deus-Brief-History-Tomorrow-ebook/dp/B01BBQ33VE> <<
- [7] <https://www.youtube.com/watch?v=h6tYxQnxRj8> <<
- [8] <http://www.encuentroseleusinos.com/work/maria-blasco-directora-del-cnio-envejecer-es-nada-natural/> <<
- [9] https://elpais.com/elpais/2016/12/15/ciencia/1481817633_464624.html <<
- [10] <https://www.mfoundation.org/> <<
- [11] <http://www.sens.org/outreach/conferences/methuselah-mouse-prize> <<
- [12] https://www.faculty.uci.edu/profile.cfm?faculty_id=5261 <<
- [13] <https://uams-triprofiles.uams.edu/profiles/display/127822> <<
- [14] <http://time.com/574/google-vs-death/> <<
- [15] <http://www.telegraph.co.uk/science/2016/09/20/microsoft-will-solve-cancer-within-10-years-by-reprogramming-dis/> <<
- [16] <http://www.businessinsider.com/mark-zuckerberg-cure-all-disease-explained-2016-9> <<
- [17] <https://endpoints.elysiumhealth.com/george-church-profile-4f3a8920cf7g-4f3a8920cf7f> <<
- [18] <http://www.amazon.com/Pleasure-Finding-Things-Out-Richard/dp/0465023959> <<
- [19] <http://www.aging-us.com/issue/v1i1> <<
- [20] <http://www.liebertpub.com/rej> <<

- [21] https://www.reddit.com/r/IAmA/comments/2tzjp7/hi_reddit_im_bill_gates_and_im_b <<
- [22] <https://rejuvenaction.wordpress.com/reasons-for-rejuvenation/aubreys-trump-cards/> <<
- [23] <https://www.fightaging.org/archives/2004/11/strategies-for-engineered-negligible-senescence/> <<
- [24] <https://www.amazon.com/Advancing-Conversations-Advocate-Indefinite-Lifespan/dp/1785353969> <<
- [25] http://imminst.org/SCOD/spanish_scod.doc <<
- [26] <http://www.un.org/es/universal-declaration-human-rights/> <<
- [27] <https://nickbostrom.com/fable/dragon.html> <<
- [28] <http://www.rationalargumentator.com/index/death-is-wrong/> <<
- [29] <https://www.amazon.com/Carl-Sagan-Cosmos-Utimate-Blu-ray/dp/B06X1F546N/> <<
- [30] <http://www.astromia.com/biografias/joanoro.htm> <<
- [31] <https://www.amazon.com/Molecular-Biology-Cell-Bruce-Alberts/dp/0815345240/> <<
- [32] <http://www.pnas.org/content/95/12/6578.full> <<
- [33] https://microbewiki.kenyon.edu/index.php/Chromosomes_in_Bacteria:_Are_they_all <<
- [34] <https://www.nytimes.com/2016/07/26/science/last-universal-ancestor.html> <<
- [35] https://www.sem microbiologia.org/pdf/actualidad/SEM32_16.pdf <<
- [36] [http://www.cell.com/current-biology/fulltext/S0960-9822\(13\)00973-1](http://www.cell.com/current-biology/fulltext/S0960-9822(13)00973-1) <<
- [37] <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0531556597001137> <<
- [38] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26690755> <<
- [39] <http://www.nytimes.com/2012/12/02/magazine/can-a-jellyfish-unlock-the-secret-of-immortality.html> <<
- [40] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3306686/> <<
- [41] [http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1016/S0014-5793\(98\)01357-X/abstract](http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1016/S0014-5793(98)01357-X/abstract) <<
- [42] <https://www.amazon.com/Longevity-Senescence-Catherine-Foundation-1994-05->

16/dp/B01FKS0QFA/ <<

[43] <http://servicios.laverdad.es/nuestratierra/nt16062006/suscr/nec24.htm> <<

[44] <https://www.nps.gov/brca/learn/nature/quakingaspen.htm> <<

[45] <https://phys.org/news/2013-08-soil-beneath-ocean-harbor-bacteria.html> <<

[46] <http://www.rmtr.org/oldlist.htm> <<

[47] https://elpais.com/elpais/2017/08/16/ciencia/1502878116_747823.html <<

[48]

http://www.dendrology.org/site/images/web4events/pdf/Tree%20info%20IDS_05_pp4
<<

[49] <http://www.srimahabodhi.org/mahavamsa.htm> <<

[50] <http://genomics.senescence.info/species/nonaging.php> <<

[51] <http://www.sciencemag.org/news/2016/08/greenland-shark-may-live-400-years-smashing-longevity-record> <<

[52] <https://listas.20minutos.es/lista/las-personas-mas-ancianas-de-la-historia-254001/>
<<

[53] <https://www.amazon.com/Immortal-Life-Henrietta-Lacks/dp/1400052181/> <<

[54] <http://hamptonroads.com/2010/05/cancer-cells-killed-her-then-they-made-her-immortal> <<

[55] http://www.longecity.org/forum/page/index2.html/_/feature/book <<

[56] <http://www.ndhealthfacts.org/wiki/Aging> <<

[57] <https://www.sciencedaily.com/releases/2009/07/090701131314.htm> <<

[58] <https://www.livescience.com/33179-does-human-body-replace-cellsseven-years.html> <<

[59] <https://www.amazon.com/Brecha-Envejecimiento-Entre-Especies-Spanish/dp/1547506407> <<

[60] <http://www.esp.org/books/weismann/germ-plasm/facsimile/> <<

[61] <http://www.longevityhistory.com/> <<

[62] <https://www.leafscience.org/dr-elie-metchnikoff/> <<

[63] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/13905658> <<

[64] <https://www.amazon.com/History-Life-Extensionism-Twentieth-Century/dp/1500818577> <<

- [65] <http://mcb.berkeley.edu/courses/mcb135k/BrianOutline.html> <<
- [66] http://www.senescence.info/aging_theories.html <<
- [67] <http://www.crionica.org/carta-abierta-de-cientificos-sobre-la-investigacion-del-envejecimiento/> <<
- [68] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4410392/> <<
- [69] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2995895/> <<
- [70] <https://itp.nyu.edu/classes/germline-spring2013/files/2013/01/Time-to-Talk-SENS-Critiquing-the-Immutability-of-Human-Aging.pdf> <<
- [71] <https://www.amazon.es/Fin-Del-Envejecimiento-Aubrey-Grey/dp/394420302X> <<
- [72] <https://www.technologyreview.com/s/404453/the-sens-challenge/> <<
- [73] <https://web.archive.org/web/20130606111748/http://www.mprize.com/index.php?pagename=newsdetaildisplay&ID=0104> <<
- [74] <https://www.smithsonianmag.com/innovation/human-mortality-hacked-life-extension-180963241/> <<
- [75] <http://www.sens.org/research/introduction-to-sens-research> <<
- [76] <https://www.bbvaopenmind.com/wp-content/uploads/2017/01/BBVA-OpenMind-libro-El-proximo-paso-vida-exponencial2.pdf> <<
- [77] <https://www.leafscience.org/sens-where-are-we-now/> <<
- [78] [http://www.cell.com/cell/fulltext/S0092-8674\(13\)00645-4](http://www.cell.com/cell/fulltext/S0092-8674(13)00645-4) <<
- [79] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4852871/> <<
- [80] <http://youtu.be/xI38YRz1bbQ> <<
- [81] <http://buckinstitute.org/CellCommentary> <<
- [82] <https://www.libertaddigital.com/ciencia-tecnologia/ciencia/2018-01-19/gines-morata-el-ser-humano-podra-llegar-a-vivir-entre-350-y-400-anos-1276612414/> <<
- [83] http://www.longecity.org/forum/page/index2.html/_/feature/book <<
- [84] <https://www.britannica.com/science/aging-life-process> <<
- [85] <https://www.amazon.com/Handbook-Biology-Aging-Eighth-Handbooks/dp/0124115969> <<
- [86] <http://www.who.int/classifications/icd/en/HistoryOfICD.pdf> <<
- [87] <http://www.who.int/about/what-we-do/gpw-thirteen-consultation/en/#> <<

- [88] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4471741/> <<
- [89] <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fgene.2015.00326/full> <<
- [90] <https://books.google.es/books?id=JQ8Gtv4A5tMC&pg=PA200&lpg=PA200&> <<
- [91] <http://rinkworks.com/said/predictions.shtml> <<
- [92] <https://hbr.org/2011/08/henry-ford-never-said-the-fast> <<
- [93] <http://scienceworld.wolfram.com/biography/Kelvin.html> <<
- [94] https://en.wikiquote.org/wiki/Incorrect_predictions <<
- [95] <http://rinkworks.com/said/predictions.shtml> <<
- [96] <http://www.nytimes.com/2001/11/14/news/150th-anniversary-1851-2001-the-facts-that-got-away.html> <<
- [97] <https://www.youtube.com/watch?v=MypSliQOv2M> <<
- [98] https://www.pcworld.com/article/155984/worst_tech_predictions.html <<
- [99] <http://www.popularmechanics.com/technology/a8562/inside-the-future-how-popmech-predicted-the-next-110-years-14831802/> <<
- [100] https://usatoday30.usatoday.com/money/companies/management/2007-04-29-ballmer-ceo-forum-usat_N.htm <<
- [101] <http://www.bbc.com/future/story/20141015-will-we-fear-tomorrows-internet> <<
- [102] <https://www.juvenescence-book.com/book-overview/> <<
- [103] <http://www.rejuvenatebio.com/> <<
- [104] <https://www.washingtonpost.com/news/achenblog/wp/2015/12/02/professor-george-church-says-he-can-reverse-the-aging-process/> <<
- [105] <https://www.amazon.com/Regenesis-Synthetic-Biology-Reinvent-Ourselves/dp/0465075703> <<
- [106] <https://www.youtube.com/watch?v=hC3OfWFjdXo> <<
- [107] <http://longevityreporter.org/blog/2016/8/8/the-renaissance-of-rejuvenation-biotechnology> <<
- [108] <https://www.amazon.es/vida-velocidad-luz-albores-Drakontos/dp/8498927765> <<
- [109] <https://www.calicolabs.com/cynthia-kenyon/> <<
- [110] <http://www.sfgate.com/magazine/article/Finding-the-Fountain-of-Youth-Where-will-UCSF-2667274.php> <<

- [111] <https://www.project-syndicate.org/commentary/aging--the-final-frontier> <<
- [112] <http://genomics.senescence.info/> <<
- [113] <http://www.senescence.info/> <<
- [114] <https://www.storehouse.co/stories/c8xm-laura-deming> <<
- [115] <https://longevity.vc/> <<
- [116] <http://longevity.international/> <<
- [117] <http://longevity.international/longevity-industry-landscape-overview-2017> <<
- [118] <https://www.amazon.com/Principle-Population-Oxford-Worlds-Classics/dp/0199540454> <<
- [119] <https://www.amazon.com/Leviathan-Oxford-Worlds-Classics-Paperback/dp/B00IIASMRC> <<
- [120] <http://www.diamandis.com/> <<
- [121] <https://www.amazon.com/dp/145161683X> <<
- [122] <http://www.worldbank.org/en/news/feature/2014/04/10/prosperity-for-all-ending-extreme-poverty> <<
- [123] <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/> <<
- [124] <https://www.amazon.com/Better-Angels-Our-Nature-Violence/dp/0143122010> <<
- [125] <https://www.amazon.com/Enlightenment-Now-Science-Humanism-Progress/dp/0525427570/> <<
- [126] <http://bigthink.com/in-their-own-words/why-we-love-bad-news-understanding-negativity-bias> <<
- [127] <https://www.amazon.com/Sapiens-Humankind-Yuval-Noah-Harari-ebook/dp/B00ICN066A> <<
- [128] <https://www.amazon.com/population-bomb-Paul-R-Ehrlich-ebook/dp/B071RXJ697> <<
- [129] <https://esa.un.org/unpd/wpp/Download/Standard/Population/> <<
- [130] <https://www.census.gov/data-tools/demo/idb/informationGateway.php> <<
- [131] <https://ourworldindata.org/future-population-growth> <<
- [132] <http://www.rayandterry.com/> <<

- [133] <https://www.amazon.es/Fantastic-Voyage-Live-Enough-Forever/dp/0452286670> <<
- [134] <https://www.amazon.es/Fantastic-Voyage-Live-Enough-Forever/dp/0452286670> <<
- [135] <https://www.juvenescence-book.com/book-overview/> <<
- [136] <http://www.mathscareers.org.uk/article/escape-velocities/> <<
- [137] <https://ourworldindata.org/life-expectancy> <<
- [138] <https://singularityhub.com/2017/11/10/3-dangerous-ideas-from-ray-kurzweil/> <<
- [139] <http://www.singularity2050.com/2008/03/actuarial-escap.html> <<
- [140] <http://www.sens.org/files/pdf/FHTI07-deGrey.pdf> <<
- [141] <http://hplusmagazine.com/2009/09/28/aubrey-de-grey-singularity-and-methuselarity/> <<
- [142] <https://drive.google.com/file/d/0By83v5TWkGjvQkpBcXJKT1I1TTA/view> <<
- [143] <https://www.amazon.de/La-Singularidad-est%C3%A1-cerca-transcendamos/dp/3944203011> <<
- [144] <http://www.kurzweilai.net/the-law-of-accelerating-returns> <<
- [145] <https://singularityhub.com/2016/04/05/how-to-think-exponentially-and-better-predict-the-future/#sm.0000dkdnngimveilpv01a2si68oxq> <<
- [146] <https://singularityhub.com/2016/03/22/technology-feels-like-its-accelerating-because-it-actually-is/#sm.0000dkdnngimveilpv01a2si68oxq> <<
- [147] <https://www.amazon.de/Cómo-crear-una-mente-pensamiento/dp/3944203054/> <<
- [148] <https://www.weforum.org/agenda/2018/01/18-technology-predictions-for-2018/> <<
- [149] <https://www.amazon.de/Bold-Create-Wealth-Impact-World/dp/1476709580> <<
- [150] <https://singularityhub.com/2016/04/05/how-to-think-exponentially-and-better-predict-the-future/#sm.0000dkdnngimveilpv01a2si68oxq> <<
- [151] <https://www.cnet.com/news/new-results-show-ai-is-as-good-as-reading-comprehension-as-we-are/> <<
- [152] <https://www.ibm.com/watson/health/> <<
- [153] <https://www.theverge.com/2018/1/19/16911354/google-ceo-sundar-pichai-ai-artificial-intelligence-fire-electricity-jobs-cancer> <<

- [154] <https://medium.com/backchannel/were-hoping-to-build-the-tricorder-12e1822e5e6a> <<
- [155] <https://www.technologyreview.com/s/609038/chinas-ai-awakening/> <<
- [156] <https://www.cbinsights.com/research/artificial-intelligence-startups-healthcare/> <<
- [157] <http://scopeblog.stanford.edu/2015/05/11/vinod-khosla-shares-thoughts-on-disrupting-health-care-with-data-science/> <<
- [158] <https://www.technologyreview.com/s/609897/500000-britons-genomes-will-be-public-by-2020-transforming-drug-research/> <<
- [159] <https://allofus.nih.gov/> <<
- [160] <http://dkv.global/> <<
- [161] <http://www.perseus.tufts.edu/hopper/text?doc=Apollod.+3.14.3> <<
- [162] <https://www.amazon.es/Homo-Deus-historia-ma%C3%B1a-DEBATE/dp/8499926711> <<
- [163] <https://www.amazon.com/Theory-Human-Motivation-Abraham-Maslow/dp/1614274371> <<
- [164] <https://www.amazon.fr/Esquisse-tableau-historique-Fragment-Atlantide/dp/2080704842> <<
- [165] <https://www.amazon.com/Hamlet-Annotated-Introduction-Charles-Herford/dp/1420952145> <<
- [166] <https://www.amazon.com/Broken-God-David-Zindell-1993-12-01/dp/B019NELJFI> <<
- [167] <http://www.theguardian.com/world/2008/nov/27/japan> <<
- [168] <http://www.theguardian.com/world/2013/jan/22/elderly-hurry-up-die-japanese> <<
- [169] <http://www.nytimes.com/1984/03/29/us/gov-lamm-asserts-elderly-if-very-ill-have-duty-to-die.html> <<
- [170] <http://www.theatlantic.com/magazine/archive/2014/10/why-i-hope-to-die-at-75/379329/> <<
- [171] <http://www.amazon.com/Reinventing-American-Health-Care-Outrageously/dp/1610393457> <<
- [172] <https://web.archive.org/web/20110110154034/http://www.sagecrossroads.net/files/trar>

<<

[173] <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1361028/> <<

[174] http://sjayolshansky.com/sjo/Background_files/TheScientist.pdf <<

[175] <http://scholar.harvard.edu/cutler/publications/substantial-health-and-economic-returns-delayed-aging-may-warrant-new-focus> <<

[176] <http://www.reuters.com/article/us-imf-aging-idUSBRE83A1C020120412> <<

[177] <http://www.brookings.edu/research/books/2013/closing-the-deficit> <<

[178] <http://articles.latimes.com/2014/jan/08/business/la-fi-mo-sure-you-have-to-work-in-retirement-but-look-on-the-bright-side-20140108> <<

[179] <http://www.nber.org/papers/w8818> <<

[180]

<https://web.archive.org/web/20061018172529/http://www.econ.yale.edu/seminars/lab05/topel032505.pdf> <<

[181] <http://www.northbaybusinessjournal.com/northbay/marincounty/4138872-181/quest-to-redefine-aging#page=0> <<

[182] https://report.nih.gov/categorical_spending.aspx <<

[183] <http://www.forbes.com/sites/alexknapp/2012/07/05/how-much-does-it-cost-to-find-a-higgs-boson/> <<

[184] <http://waterwaysproducts.com.au/2017/03/water-affect-human-body/> <<

[185] <https://www.nestle-waters.com/healthy-hydration/water-body> <<

[186] <https://www.amazon.com/Natures-Building-Blocks-Z-Elements/dp/0199605637> <<

[187] <https://www.amazon.com/Carl-Sagan-Cosmos-Utimate-Blu-ray/dp/B06X1F546N> <<

[188] <https://www.amazon.com/nanotecnologia-Engines-creation-Surgimiento-Nanotechnology/dp/8474324947> <<

[189] <https://www.amazon.com/Radical-Abundance-Revolution-Nanotechnology-Civilization/dp/1610391136> <<

[190] <https://www.youtube.com/watch?v=NV3sBIRgzTI&feature=youtu.be> <<

[191] <http://www.digitalfrontiersmen.com/portfolio/elon-musk/> <<

[192] <http://edition.cnn.com/2006/TECH/science/06/12/introduction/> <<

[193] <http://sensproject21.org/> <<

- [194] <https://medium.com/@arielf/wake-up-people-its-time-to-aim-high-b0c2bcac53f1> <<
- [195] <http://www.happinesshypothesis.com/happiness-hypothesis-ch1.pdf> <<
- [196] <http://righteousmind.com/about-the-book/introductory-chapter/> <<
- [197] <http://www.amazon.com/Denial-Death-Ernest-Becker/dp/0684832402/> <<
- [198] <http://www.amazon.com/Worm-Core-Role-Death-Life/dp/1400067472/> <<
- [199] <http://www.amazon.com/Varieties-Religious-Experience-William-James/dp/1482738295/> <<
- [200] http://ernestbecker.org/?page_id=60 <<
- [201] https://www.youtube.com/watch?v=biNF_a5QbwE <<
- [202] <http://www.amazon.com/Ending-Aging-Rejuvenation-Breakthroughs-Lifetime/dp/0312367074/> <<
- [203] <https://www.youtube.com/watch?v=RITCdrOEO9Y> <<
- [204] <https://www.fightaging.org/archives/2014/07/an-anti-deathist-faq.php> <<
- [205] <http://www.amazon.com/Righteous-Mind-Divided-Politics-Religion/dp/0307455777/> <<
- [206] <http://www.amazon.com/gp/product/0062292986/> <<
- [207] <http://www.amazon.com/Diffusion-Innovations-5th-Everett-Rogers/dp/0743222091/> <<
- [208] <https://www.youtube.com/watch?v=vg4lTZvflz8> <<
- [209] <http://mathworld.wolfram.com/Rabbit-DuckIllusion.html> <<
- [210] <http://www.moillusions.com/vase-face-optical-illusion/> <<
- [211] http://well.blogs.nytimes.com/2008/04/28/the-truth-about-the-spinning-dancer/?_r=0 <<
- [212] <http://www.amazon.com/Alfred-Wegener-Creator-Continental-Science/dp/0816061742/> <<
- [213] <http://www.smithsonianmag.com/science-nature/when-continental-drift-was-considered-pseudoscience-90353214/> <<
- [214] https://www.e-education.psu.edu/earth520/content/l2_p12.html <<
- [215] <http://folk.ntnu.no/krill/krilldrift.pdf> <<
- [216] <http://www.mantleplumes.org/WebDocuments/Oreskes2002.pdf> <<

- [217] <http://www.macleans.ca/society/science/the-meaning-of-alphago-the-ai-program-that-beat-a-go-champ><https://www.washingtonpost.com/news/achenblog/wp/2015/12/02/professor-george-church-says-he-can-reverse-the-aging-process/> <<
- [218] <http://geologylearn.blogspot.co.uk/2016/02/paleomagnetism-and-proof-of-continental.html> <<
- [219] <http://semmelweis.org/about/dr-semmelweis-biography/> <<
- [220] [https://en.wikipedia.org/wiki/Carl_Braun_\(obstetrician\)#Views_on_puerperal_fever](https://en.wikipedia.org/wiki/Carl_Braun_(obstetrician)#Views_on_puerperal_fever) <<
- [221] <http://jama.jamanetwork.com/article.aspx?articleid=400956> <<
- [222] <http://www.amazon.com/Effectiveness-Efficiency-Random-Reflections-Services/dp/185315394X/> <<
- [223] http://www.nuffieldtrust.org.uk/sites/files/nuffield/publication/Effectiveness_and_Effi <<
- [224] <http://www.amazon.com/Taking-Medicine-Medicines-Difficulty-Swallowing/dp/1845951506/> <<
- [225] <http://www.cochrane.org/about-us> <<
- [226] <http://community-archive.cochrane.org/cochrane-reviews> <<
- [227] <http://www.cochrane.org/evidence> <<
- [228] https://www.rcpe.ac.uk/sites/default/files/thomas_0.pdf <<
- [229] <http://www.bcmj.org/premise/history-bloodletting> <<
- [230] siempre durante el concurso de belleza <<
- [231] https://www.cryonics.org/images/uploads/misc/Prospect_Book.pdf <<
- [232] <https://plus.google.com/+humanityplus> <<
- [233] http://www.longecity.org/forum/page/index.html/_/articles/cryonics <<
- [234] <http://www.kurzweilai.net/reinvent-yourself-the-playboy-intervie> <<
- [235] <http://www.evidencebasedcryonics.org/scientists-open-letter-on-cryonics/> <<
- [236] <http://cryonics-research.org.uk/> <<
- [237] <http://sociedad-crionica.org/> <<
- [238] <http://www.elmundo.es/cronica/2017/01/27/5882425222601d475e8b4682.html>

<<

[239] [http://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(00\)01021-7/](http://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(00)01021-7/) <<

[240] <https://www.theguardian.com/science/blog/2013/dec/10/life-death-therapeutic-hypothermia-anna-bagenholm> <<

[241] <https://www.amazon.com/Extreme-Medicine-Exploration-Transformed-Twentieth/dp/1594204705> <<

[242] <https://www.rd.com/true-stories/survival/hypothermia-cheat-death/> <<

[243] <https://www.newscientist.com/article/dn23107-zoologist-supercool-squirrels-go-into-the-deep-freeze/> <<

[244] <https://www.sciencedaily.com/releases/2011/04/110411152533.htm> <<

[245] <http://jeb.biologists.org/content/213/3/502.full> <<

[246] <http://www.bbc.co.uk/earth/story/20150313-the-toughest-animals-on-earth> <<

[247] <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4620520/> <<

[248] <https://www.technologyreview.com/s/542601/the-science-surrounding-cryonics/>
<<

[249] <http://www.alcor.org/Library/html/vitrification.html> <<

[250] <http://www.bbc.com/future/story/20140224-can-we-ever-freeze-our-organs> <<

[251] <http://www.kurzweilai.net/alcor-update-from-max-more-new-ceo> <<

[252] <http://waitbutwhy.com/2016/03/cryonics.html> <<

[253] <http://www.alcor.org/book/index.html> <<

[254] <https://www.amazon.es/C%C3%B3mo-crear-una-mente-Kurzweil/dp/3944203054> <<

[255] <http://blogs.discovermagazine.com/crux/2016/03/23/nuclear-fusion-reactor-research/> <<

[256] <http://www.jstor.org/stable/2118559> <<

[257] <http://www.dndi.org/about-dndi/> <<

[258] <https://www.techdirt.com/articles/20140124/09481025978/big-pharma-ceo-we-develop-drugs-rich-westerners-not-poor.shtml> <<

[259] https://todayinsci.com/M/Merck_George/MerckGeorge-Quotations.htm <<

[260] <https://www.newyorker.com/contributors/john-cassidy> <<

[261] <http://www.amazon.com/How-Markets-Fail-Economic->

[Calamities/dp/0374173206/](#) <<

[262] <http://www.williammacaskill.com/book> <<

[263] https://www.youtube.com/watch?v=jDJ_IjMwT20 <<

[264] <http://www.npr.org/templates/story/story.php?storyId=104302141> <<

[265] <https://www.youtube.com/watch?v=GoJsr4IwCm4> <<

[266] <https://www.youtube.com/watch?v=kJQP7kiw5Fk> <<

[267] <http://www.nickbostrom.com/fable/dragon.html> <<

[268] <http://strategicphilosophy.blogspot.com.es/2009/05/its-about-ten-years-since-i-wrote.html> <<

[269] <https://www.amazon.com/Inhuman-Bondage-Rise-Slavery-World/dp/0195339444> <<

[270] <http://www.bu.edu/historic/london/conf.html> <<

[271] https://es.wikipedia.org/wiki/Ciencia_ciudadana <<

[272] <https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=chi.087603619;view=1up;seq=67> <<

[273] https://en.wikiquote.org/wiki/Victor_Hugo <<

[274] <http://longevityalliance.org/?q=history-international-longevity-alliance> <<