

DRAKONTOS

RICARD SOLÉ

TODAS
las MUERTES



El final de la vida:
de los océanos a los robots

CRÍTICA

TODAS LAS MUERTES

El final de la vida: de los océanos a los robots

Ricard Solé

CRÍTICA

Primera edición: abril de 2023

Todas las muertes. El final de la vida: de los océanos a los robots
Ricard Solé

La lectura abre horizontes, iguala oportunidades y construye una sociedad mejor. La propiedad intelectual es clave en la creación de contenidos culturales porque sostiene el ecosistema de quienes escriben y de nuestras librerías. Al comprar este libro estarás contribuyendo a mantener dicho ecosistema vivo y en crecimiento. En **Grupo Planeta** agradecemos que nos ayudes a apoyar así la autonomía creativa de autoras y autores para que puedan seguir desempeñando su labor. Dirígete a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos) si necesitas fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra. Puedes contactar con CEDRO a través de la web www.conlicencia.com o por teléfono en el 91 702 19 70 / 93 272 04 47.

© Ricard Solé, 2023

Iconografía: Grupo Planeta

© Editorial Planeta, S. A., 2023
Av. Diagonal, 662-664, 08034 Barcelona (España)
Crítica es un sello editorial de Editorial Planeta, S. A.

editorial@ed-critica.es
www.ed-critica.es

ISBN: 978-84-9199-499-2
Depósito legal: B. 4.449-2023
2023. Impreso y encuadernado en España por Gómez Aparicio



Mary Shelley, 1818

Vamos a morir. Y eso nos convierte en los afortunados.

R. DAWKINS

¿Tenemos derecho a contrarrestar, irreversiblemente, la sabiduría evolutiva de millones de años, para satisfacer la ambición y la curiosidad de unos pocos científicos?

ERWIN CHARGAFF

«**L**a tumba de Mary Shelley es muchas tumbas a la vez. Si alguien la abriera [...] no daría con un cuerpo humano regular, sino con una criatura diferente, como un monstruo.» Así nos describe la escritora argentina Esther Cross la singularidad del lugar en el que descansan los restos de la escritora inglesa que, con tan solo 18 años, había creado la que muchos consideran la primera novela de ciencia ficción. En su libro *La mujer que escribió Frankenstein*, Cross nos habla del lado humano de Shelley, que era muy joven cuando completó aquella narración extraordinaria, pero que también había conocido ya, de primera mano, los ingredientes que iban a definir el rumbo de su novela¹. La adolescente que poco a poco iba ensamblando las piezas de su relato en aquel Londres de principios de siglo, lleno de chimeneas y sumer-

gido en la niebla, creció en un entorno en el que tanto la cuestión de la muerte como la posibilidad de evitarla estaban muy presentes. En 1818, cuando se publica *Frankenstein* (bajo el anonimato y con un prefacio de Percy Shelley, el poeta y marido de Mary),² en las calles de Londres el tráfico de cadáveres en connivencia con las escuelas de medicina era una actividad corriente y muy controvertida. Era bien sabido que un cadáver fresco podía ser robado (en noches sin luna) por grupos de individuos, quienes entregaban los cuerpos a médicos no muy preocupados por hacer preguntas. En aquella época, cuando Mary pasaba parte de su tiempo en el cementerio de Saint Pancras, leyendo sentada sobre la tumba de su madre, podía verse a individuos que permanecían días enteros al lado de otras tumbas recientes. Eran hombres pagados por los familiares para disuadir a los ladrones durante un tiempo, hasta que el muerto resultara inservible para los médicos. Pero Mary Shelley también sabía que, en las mismas calles de Londres, había quienes afirmaban ser capaces de devolver a la vida a los asesinos que habían sido ejecutados. La ley convertía los cuerpos de los ahorcados en materia de experimentación y, mediante pilas eléctricas (las famosas pilas de Volta), Giovanni Aldini se hizo brevemente famoso por unas demostraciones públicas en las que los cuerpos (o las cabezas separadas de estos) parecían recuperar el aliento vital, ya fuera abriendo los ojos, respirando o levantando un brazo. Estas demostraciones despertaban un enorme interés, pero también un gran rechazo, y acabaron prohibiéndose.³

Hasta aquí, esta es la imagen de la escritora que suele ofrecerse junto a su historia de terror. Pero en esa historia, en la que el desafío es no solo vencer a la muerte, sino comprenderla, hay un componente a menudo inadvertido que nos habla también de Mary Shelley. El monstruo, una vez huido del laboratorio y rechazado por su creador, debe empezar desde cero, escondiéndose de los humanos e intentando, a la vez, mantenerse cerca de ellos para aprender a hablar y a escribir. Las películas de Hollywood de los años treinta, con Boris Karloff en el papel del monstruo, con sus característicos tornillos en el cuello y sus movimientos torpes, incapaz de comunicarse con palabras, han dejado una huella cul-

tural que hace un flaco favor a la obra original.⁴ En la novela, el monstruo está también lleno de cicatrices y deformidades, pero desarrolla un intelecto que le permite comprender la situación de abandono a la que se ha visto abocado. La pérdida que ha sufrido se transformará en el deseo de poseer una compañera semejante a él, creada también con partes de otros cuerpos. Escapar de la soledad es, en última instancia, lo que la criatura persigue desde que su mente renace a la vida. Los acontecimientos que se desencadenan a lo largo del libro están plagados de sentimientos de dolor y de pérdida, unos sentimientos que Mary Shelley ya había experimentado a menudo. Su madre, la brillante escritora y ensayista Mary Wollstonecraft, falleció pocos días después de dar a luz a su hija debido a una infección. La propia Mary Shelley también perdería años más tarde a su hija, nacida de su relación con Percy, al que conocía desde los catorce años. La niña, que había venido al mundo de forma prematura, murió al poco tiempo de nacer. La pareja se vio obligada a superar muchas dificultades para salir adelante y tuvo tres hijos más, de los que tan solo uno sobrevivió. En cada ocasión, Mary Shelley se quedó con un mechón de pelo o una prenda de ropa del hijo muerto (algo frecuente en aquella época). Cuando su marido falleció ahogado, su cuerpo fue incinerado, pero un amigo común entregó a la viuda el corazón del poeta, que al parecer sobrevivió a la cremación. Mary Shelley lo envolvió con la primera página de uno de sus libros de poesía y lo guardó. Un año después de su muerte, se encontraron esas reliquias en su escritorio y finalmente se decidió llevarlas a su tumba. Como dice Cross, eran «sus fantasmas parciales y anatómicos», algo así como una familia reducida e inanimada. Juntos finalmente en un sepulcro con un nombre y dos corazones.

¿Cuál ha sido el alcance de *Frankenstein*? La historia del científico que busca las claves de la inmortalidad, creando un ser humano a partir de partes de cadáveres y logrando que cobre vida mediante la electricidad, ha trascendido mucho más allá de lo que su joven creadora hubiera podido imaginar. Desde las páginas de aquel relato victoriano, el doctor Frankenstein experimenta una epifanía: «Llevado por aquel estado de ánimo, me lancé a la crea-



Figura 1. *El funeral de Percy Shelley*, pintado por el artista Louis Édouard Fournier en 1889, nos remite a la muerte prematura y a la posterior incineración del poeta inglés, ahogado en 1822 en la costa de Spezzia, en Italia. En la imagen se muestra a tres amigos íntimos del poeta, entre ellos Lord Byron (a la derecha).

ción de un ser humano». El sueño de devolver a la vida la materia inerte hallada en los depósitos o en una horca no conlleva un desenlace feliz. En este sentido, la obra no propone un triunfo sobre la muerte, sino más bien un recordatorio de los peligros que una ciencia irreflexiva puede generar. Solo que *Frankenstein* es mucho más y ha generado todo tipo de debates y controversias que han llegado hasta nuestros días. Con ellos, se ha mantenido encendida la llama de un mundo en el que no tendríamos que enfrentarnos a la muerte. Más de doscientos años después, seguimos investigando para comprender mejor la vida y la naturaleza de su final. ¿Podemos afirmar que las ideas e implicaciones que surgen de *Frankenstein* siguen vigentes? Sin duda. Un ejemplo de esta influencia lo encontramos en *Jurassic Park*. En el clásico de Spielberg, los animales extintos también son devueltos a la vida a partir de partes desenterradas, aunque esta vez se trata de fragmentos de genomas fósiles atrapados en sus tumbas de ámbar.⁵

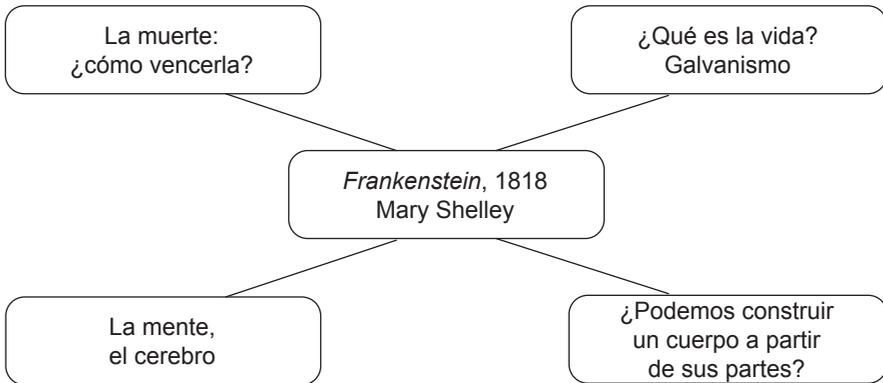


Figura 2. Cuatro de las grandes cuestiones que se plantean o influyen en la novela de Shelley. Estas incluyen la posibilidad de evitar la muerte, la comprensión de la vida (relacionada con la electricidad), la persistencia de la mente y su relación con el órgano que la genera y la posibilidad de «construir» un ser vivo a partir de partes.

Son muchas las especulaciones filosóficas y científicas que convergen en la novela. En la se indican cuatro grandes temas, cada uno de los cuales nos remite a grandes cuestiones abiertas. Al plantear el intento de escapar de la muerte, la novela nos remite a la vieja cuestión de la inmortalidad. Y puesto que se emplea la electricidad como la fuerza que devuelve la vida a la materia inerte, nos preguntamos sobre la naturaleza de la vida y de la mente. Finalmente, la idea de crear un ser humano a partir de partes cosidas es un esbozo primitivo de lo que, en cierto sentido, define los inicios de la ingeniería de la materia humana.

Podemos dar una respuesta a la pregunta sobre la vigencia de los temas que se plantean en la novela mediante el análisis del impacto de la obra. Para ello, recurriremos a una base de datos de millones de libros con la que es factible medir la abundancia relativa de distintas palabras clave. En la figura 3 vemos el resultado que se obtiene cuando se buscan las palabras «Frankenstein» y «Artificial Life» (vida artificial). En la inmensa mayoría de los casos, la abundancia de una palabra suele mostrar una caída a largo plazo, que de algún modo indica su pérdida de relevancia.⁶

Aquí, en cambio, la obra de Mary Shelley muestra un crecimiento que refleja su enorme impacto y su indiscutible vigencia. Lejos de desvanecerse, su influencia ha sido extraordinaria, y su empleo como metáfora en diversos ámbitos ha sido creciente. Si nos fijamos en la segunda serie temporal, el concepto de vida artificial recibe un impulso considerable tras la publicación del libro, y su importancia nunca se desvanece. Mucho más tarde, ya en la segunda mitad del siglo xx, con la aparición de la ingeniería genética a principios de los años setenta, *Frankenstein* despegas de nuevo, y en los intensos debates que tuvieron lugar durante ese período se recupera el mensaje de humildad ante la naturaleza latente en la obra. Así por ejemplo, uno de los padres de la biología molecular, Erwin Chargaff, nos advierte:

Este mundo nos es dado en préstamo. Venimos y nos vamos, y después de un tiempo dejamos la tierra, el aire y el agua a otros que vienen después de nosotros. Mi generación, o quizá la anterior a la mía, ha sido la primera en participar, bajo el liderazgo de las ciencias exactas, en una guerra colonial destructiva contra la naturaleza. El futuro nos maldecirá por ello.⁷

En los años cincuenta del siglo pasado, con el desarrollo de los primeros ordenadores, el mito del monstruo se reescribe también desde la materia inanimada: ¿podemos crear un ser inteligente a partir de los componentes que empleamos para diseñar una máquina? Por ahora, no ha ocurrido nada parecido. Pero también surge la idea de crear una máquina capaz de hacer algo que tan solo los sistemas vivos pueden hacer: reproducirse. El gran matemático John von Neumann se planteó el problema de qué se necesita para que una máquina pueda hacer una copia de sí misma.⁸ En la misma época, nacen y se desarrollan la cibernética y la teoría de la información, y se dan los primeros pasos hacia la futura inteligencia artificial, a medida que los ordenadores se hacen más potentes y permiten imitar algunas de las funciones del cerebro. En 1971, con la publicación del primer artículo científico que presenta la posibilidad de manipular el material genético e introducir o quitar genes de

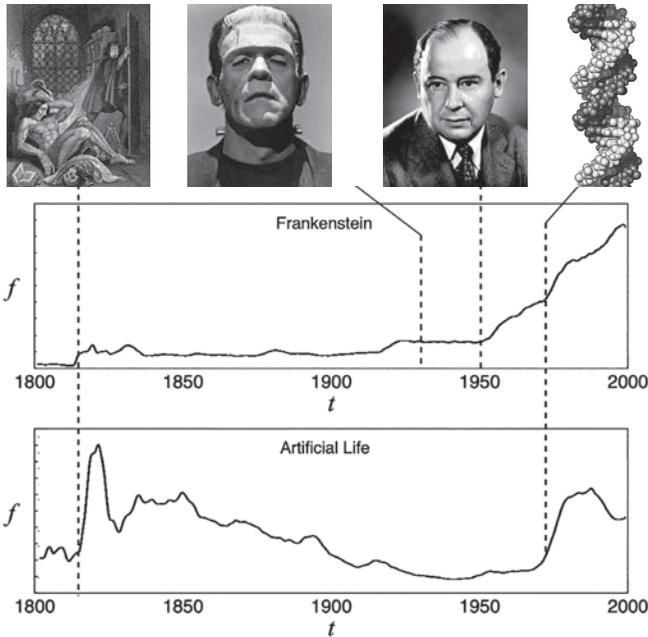


Figura 3. El impacto creciente de la novela *Frankenstein*, de Mary Shelley, se puede medir mediante el empleo de la herramienta *Google Ngrams*, que nos permite determinar la frecuencia relativa de una palabra o cadena de palabras dentro de una base de datos de millones de libros. La evolución de la frecuencia del término «Frankenstein» es siempre creciente, y aquí se muestra junto a algunos hitos básicos. De izquierda a derecha: la publicación en 1818 del libro de Shelley, su versión cinematográfica protagonizada por Boris Karloff (1931), la emergencia de las ideas acerca de las máquinas capaces de reproducirse (sugeridas por von Neumann hacia 1950) y el desarrollo de la ingeniería genética. Por comparación, se muestra también el mismo análisis para el término «Artificial Life» (vida artificial).

un organismo, se crea un nuevo dominio del conocimiento, la ingeniería genética, que retoma muchas de las preguntas anteriores y demuestra que es posible modificar la materia viva. Con la creación de la biología sintética⁹ a principios de nuestro siglo, el relato de Shelley se hace real a escala molecular. Ahora, las partes que se ensamblan son genes, y el resultado final es una célula con propie-

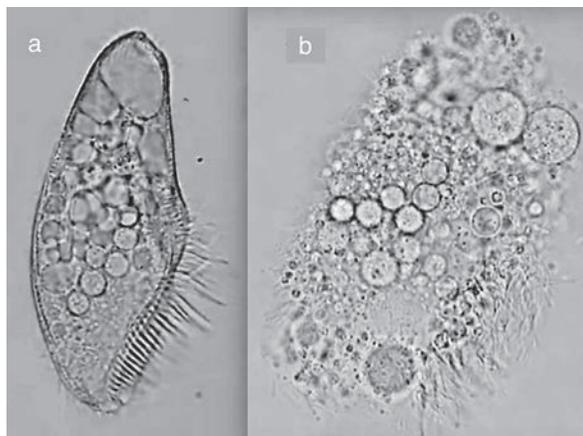
dades y comportamientos inexistentes en la naturaleza. Así que, antes de considerar la muerte del individuo, debemos detenernos a examinar la muerte de la unidad básica de la vida: la célula.

El biólogo francés y premio Nobel de medicina François Jacob escribió en una ocasión que «el sueño de toda célula es convertirse en dos células». Y así es en la mayoría de los casos. La división celular es uno de los mecanismos requeridos para regenerar nuestros órganos y tejidos. A diferencia de las máquinas, necesitamos no solo mantenimiento, sino también recambio constante, lo que implica un consumo constante de energía y materia que el metabolismo convierte en estructuras estables que puedan crecer y multiplicarse. La segunda parte del proceso, igualmente necesaria, tiene que ver con el destino final de todas nuestras células: su muerte. ¿Cuál es la escala de este proceso para nosotros, los humanos? La respuesta es que la mortalidad celular es constante, masiva e inevitable. Se estima que, cada segundo, mueren un millón de células en nuestro cuerpo. Si sumamos su peso a lo largo de tan solo un día, hablamos de aproximadamente un kilogramo de células muertas, que deben ser procesadas y eliminadas. Este balance entre nacimiento y muerte celular es una propiedad clave, e inevitable, de la vida compleja. Mantener el equilibrio adecuado es fundamental para evitar la enfermedad. En cierto sentido, podríamos decir que nuestro cuerpo es un tipo de máquina especial cuya arquitectura se mantiene a lo largo del tiempo mientras casi todas sus partes van cambiando. Una propiedad envidiable que mantiene despiertos a muchos bioingenieros por las noches: ¿podríamos crear máquinas a medida, cuyos componentes pudieran autorregenerarse cuando fuera necesario? Es también una de las peores pesadillas a las que se enfrenta la biomedicina. Para poder regenerar y reparar tejidos, es preciso que los procesos de proliferación (crecimiento celular) se mantengan siempre activos, igual que los mecanismos de control, pero, a medida que avanza la vida, aumentan las oportunidades de que el control falle. Cuando el balance se rompe, surge la enfermedad.

Aunque en este libro exploraremos el problema de la muerte en el contexto de sistemas (ya sean células, organismos, máquinas o

lenguajes), podemos iniciar nuestro viaje empezando por los sistemas más simples, formados por una sola célula autónoma. Cualquiera que disponga de un microscopio y de una gota de agua de un estanque tiene la oportunidad de observar distintas especies de animales unicelulares, como el paramecio o la ameba, que se mueven activamente en busca de alimento. En ocasiones, alguno de estos organismos parece haberse detenido por completo y podemos observar cambios drásticos en su estructura y en su forma, como vemos en las imágenes de la figura 4, antes y después de la muerte, tomadas de un vídeo del fotógrafo James Weiss. Durante la secuencia, el organismo se mueve activamente, y sus orgánulos internos son bien visibles. En algún momento, sin embargo, vemos que se detiene. Podemos pensar que se trata solo de un estado latente para conservar energía (algo que en la naturaleza sucede a menudo), pero al cabo de unos segundos vemos que la vida se ha detenido. En un instante, la separación entre el interior y el exterior del individuo parece desvanecerse, y aunque aún vemos con claridad todas las estructuras que antes coordinaban sus acciones dentro del cuerpo, también comprobamos que algo ha ido muy mal. Todo indica que se ha producido la muerte. Si es así, ¿cómo podemos saberlo? En este territorio de lo simple, las células nos han dado claves esenciales para abordar el problema que planteaba Shelley.

La primera respuesta a la pregunta de qué significa morir la obtenemos de nuestra comprensión moderna de la vida, que nos dice que la complejidad de la materia viviente depende del mantenimiento de estructuras enormemente dinámicas: la vida es un proceso. ¿Cómo podemos demostrarlo? La idea planteada por el biofísico norteamericano Harold Morowitz en 1955 se basó en el siguiente experimento:¹⁰ se puede congelar una célula viva a muy bajas temperaturas hasta que toda su estructura quede convertida en un sólido, una vez que el agua se ha eliminado de su estructura. En todos los sentidos imaginables, la célula estaría «muerta»: no reacciona a su entorno, no procesa información de ningún tipo ni puede reproducirse. Pero al añadir agua y elevar la temperatura hasta alcanzar la temperatura ambiente, sabemos



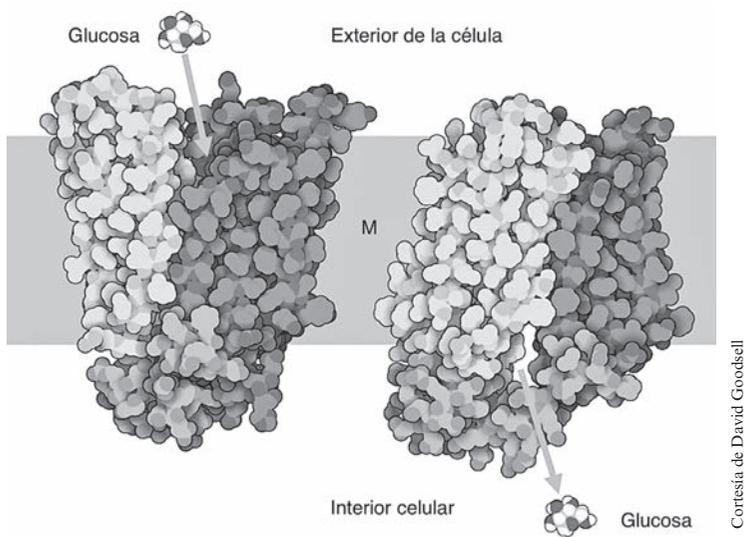
© James Weis

Figura 4. Muerte de un ser unicelular. El estado vivo de cualquier organismo requiere la convergencia de múltiples mecanismos para mantenerse estable. Aquí vemos a un animal unicelular antes (a) y después (b) de morir. Las imágenes están separadas por tan solo unos segundos. La integridad de muchas de sus estructuras aún es visible después de la muerte, pero se ha desvanecido la separación entre el interior y el exterior.

que la bacteria regresa a su estado normal, dinámico. O, como nos gusta decir, «vuelve a la vida». Este proceso de congelación se ha dado constantemente en nuestro planeta y, de hecho, el calentamiento global está despertando de su estado latente a multitud de especies microbianas que han permanecido aisladas en los hielos de ambos polos durante milenios. Este simple experimento nos enseña que el funcionamiento de un sistema vivo requiere la puesta en marcha y el mantenimiento de interacciones entre sus componentes. Este hecho subyace a los procesos celulares que, en último término, definen la muerte a esta escala. En particular, existe un proceso molecular de enorme importancia que, al detenerse, tiene consecuencias letales. Es uno de los mecanismos clave que permitieron la emergencia de las primeras células y que es imprescindible para que estas evolucionen como sistemas autónomos. Se

trata de los mecanismos de transporte activo que se producen en las membranas de todas las células, desde las que se desplazan en una charca en busca de alimento hasta las neuronas que llevan impulsos de un lado a otro del cerebro. Mediante proteínas ancladas en la superficie celular, la cual define la frontera entre el mundo exterior y el interior, estos transportadores crean diferencias de concentración de iones. De forma parecida a un salto de agua, en el que la diferencia de altura permite mover el líquido en una dirección (y obtener energía), las moléculas requeridas podrán salir o entrar de forma preferente. Los flujos de entrada y salida son el motor de muchos procesos que mantienen a la célula lejos del equilibrio. Permiten capturar las moléculas necesarias para el metabolismo o, en el caso de las neuronas, generar impulsos eléctricos. Cuando estos flujos se detienen, el equilibrio se restablece y la diferencia entre interior y exterior desaparece.¹¹ Los procesos que mantenían el estado vivo, alejado del equilibrio, tocan a su fin, si bien, como veremos, esta situación es reversible durante un cierto período de tiempo.

Este es tan solo el primer eslabón dentro de la jerarquía de la organización de un organismo complejo. ¿Podemos extrapolar lo que ocurre a nivel celular a organismos complejos? Muchos años después de la propuesta de Morowitz, un accidente en el que estuvieron implicados seres humanos permitió reproducir las condiciones de su experimento: personas que habían quedado sumergidas durante horas en aguas muy frías, cercanas al punto de congelación, pudieron ser reanimadas. Además, las personas que habían experimentado hipotermia severa y que no mostraban ningún signo vital (ni pulso ni actividad cerebral) pudieron recuperarse sin sufrir complicaciones a largo plazo. Las investigaciones en curso sobre el uso de la hipotermia profunda, combinada con los adecuados fluidos de preservación de órganos, confirman que dichos estados reversibles pueden inducirse en condiciones experimentales. El método se ha utilizado en modelos animales porcinos a los que se había provocado una hemorragia masiva, que había desembocado en la muerte cerebral clínica. Bajo condiciones adecuadas, se induce un estado de hipotermia durante una



Cortesía de David Goodsell

Figura 5. ¿Cuál es la causa de la muerte celular? Aunque diversos mecanismos (como una infección vírica o defectos genéticos) pueden hallarse implicados, la incapacidad para mantener concentraciones distintas entre el interior y el exterior de la célula da lugar a la detención de la actividad celular y, en último término, a la muerte de la célula. En la imagen, se muestra un diagrama de una proteína que atraviesa la membrana (rectángulo gris, M) y que permite la entrada de glucosa desde el exterior al interior. Para ello, la proteína requiere un aporte de energía, que le permite cambiar de forma para transferir la glucosa al interior celular.

hora y posteriormente se calienta el cuerpo poco a poco y se lleva a cabo un *bypass* cardiorrespiratorio, y de este modo se restauran las condiciones normales del animal. Ninguno de los animales mostró déficits neurológicos detectables o deterioro cognitivo una vez reanimados. El cerebro, cuya actividad se ha detenido por completo, vuelve a recuperarse: las funciones cognitivas regresan intactas. De forma similar a la célula congelada cuya maquinaria molecular vuelve a ponerse en marcha, el organismo entero que se halla en estado de congelación contiene los elementos necesarios

para recuperar el estado normal, en cuanto los procesos (esta vez en múltiples escalas) se reinician.

No es de extrañar que estos casos clínicos hayan estimulado un renovado interés por la posibilidad de resucitar cuerpos congelados después de someterlos a un procedimiento que permita preservar adecuadamente los tejidos. Algunos investigadores han intentado desarrollar tecnologías que pretenden convertir en realidad esta idea. La empresa ALCOR, en Estados Unidos, ha sido pionera en este campo, si bien la fiabilidad de sus métodos y sus posibles resultados son controvertidos. Con más de 150 cuerpos almacenados (la compañía prefiere denominarlos «pacientes»), se ofrece la esperanza de que, en el futuro, sea posible descongelar sin daños a los individuos que fueron sometidos a un proceso de «vitrificación». Este proceso requiere la convergencia de varias condiciones nada simples. El sujeto debe ser sometido a los procesos requeridos lo antes posible (ya que el cerebro puede dañarse), siendo particularmente importante el reemplazo de buena parte del agua intracelular por glicerol, un compuesto que permite evitar la formación de cristales de hielo.¹² La literatura de ciencia ficción y el cine han empleado a menudo este recurso, y uno de los mejores ejemplos es la comedia satírica *El dormilón*, de Woody Allen,¹³ en la que el protagonista es congelado por error (iban a quitarle las amígdalas) y vuelve a despertarse doscientos años después en un mundo en el que la clonación o los robots domésticos son moneda corriente (y en el que un Volkswagen abandonado todo ese tiempo en una cueva arranca a la primera). Esta es una historia de ficción, pero la hibernación se da en la naturaleza en un buen número de organismos, que modifican profundamente su fisiología para soportar las inclemencias del invierno. Sobrevivir durante períodos de escasez ha sido un motor de la evolución de muchas especies, que siempre deben ajustar su modo de vida a las posibilidades que les ofrece el entorno. En un clima templado en el que se alternan períodos de calor y frío, la caída de las temperaturas a valores cercanos al punto de congelación, así como la reducción de los recursos disponibles, requieren cambios drásticos en el consumo de energía. En el caso de los organismos que no

pueden regular su temperatura (anfibios, reptiles, insectos), sus cuerpos pueden terminar convertidos en sólidos cuando las temperaturas caen por debajo de los cero grados. En este caso, la evolución ha permitido la aparición de moléculas especiales que actúan impidiendo la formación de cristales de hielo, los cuales romperían sin remedio las estructuras celulares. Para aquellos organismos capaces de regular su temperatura, la estrategia es clara: si se dispone de pocos recursos y existe la necesidad de producir calor para compensar su pérdida, el hecho de permitir que el cuerpo se acerque a la temperatura ambiental reduce rápidamente el gasto de energía necesario para mantener los gradientes de iones y la integridad de las membranas celulares (que se romperían al congelarse) e impedir la posible detención de la actividad cardíaca. Se alcanza así un estado de casi-muerte que parece tener sus ventajas. ¿Por qué no se ha adaptado esta estrategia de forma general? ¿Por qué los humanos, en particular, no pasamos por este estado de muerte temporal? La respuesta a estas preguntas procede del estudio del metabolismo en relación con la masa corporal: a medida que la masa corporal crece, las necesidades metabólicas (por unidad de biomasa) se reducen con rapidez.¹⁴ En otras palabras: una vez alcanzado cierto tamaño corporal, una hibernación completa puede ser poco ventajosa, y es infrecuente en animales de más de cinco kilogramos.¹⁵

Aunque el estado aparente de algunos políticos en las sesiones del Parlamento sugiera lo contrario, alcanzar de forma prolongada y reversible las condiciones de metabolismo mínimo no es una tarea nada fácil. Edgar Allan Poe especula sobre la posibilidad de conseguirlo a través de la hipnosis. En su relato *El extraño caso del señor Valdemar*, un paciente a las puertas de la muerte es hipnotizado para que pueda mantenerse en una especie de limbo entre la vida y la no-vida, un estado muy similar a la hibernación, en la que todo queda suspendido. Situaciones similares se plantean en algunas películas que narran largos viajes interplanetarios: en *Alien: el octavo pasajero* vemos a los tripulantes de la *Nostromo* despertando de un largo sueño inducido, y lo mismo ocurre con los astronautas de *El planeta de los simios*. En *Passengers*, los tri-

pulantes deberán esperar cien años en sus compartimentos cerrados antes de convertirse en colonos de un planeta lejano. La hibernación es una oportunidad de viajar no solo a través del espacio, sino, sobre todo, a través del tiempo. La protagonista de *Passengers*, una periodista interpretada por Jennifer Lawrence, planea un viaje temporal en el que, después de alcanzar el planeta que se pretende colonizar, regresará de nuevo a la Tierra. Al despertar de su aventura, verá nuestro mundo futuro, pues habrán transcurrido 200 años. Para algunos defensores de la criogenización, esta posibilidad es uno de los alicientes para someterse a ese proceso.¹⁶ Así pues, ¿se cumplirá alguna vez el sueño de ser congelado para volver a la conciencia en un mundo futuro? Sí y no.

Suponiendo que la tecnología necesaria pueda ser desarrollada, el sueño de poder «volver a despertar» después de que la actividad se haya detenido por completo es en realidad una quimera. De hecho, la hibernación conlleva cierto tipo de muerte sutil (pero real). Para comprenderlo, supongamos que alguien nos propone el siguiente experimento mental, que llamaremos «el problema de la réplica». Imaginemos que alguien pudiera hacer una copia exacta (e instantánea) de nuestro cuerpo. La copia es idéntica al original y, por lo tanto, posee exactamente los mismos recuerdos y la misma personalidad (que se generan con exactamente el mismo cerebro). A continuación, el autor de la réplica nos propone que, dado que nuestra copia es perfecta e indistinguible, el original puede ser sacrificado sin problemas. ¿Aceptaríamos semejante trato? Obviamente, no. Cada uno de nosotros, ya seamos copias o no, experimentamos una conciencia subjetiva e irremplazable. Nuestra eliminación no es inocua, aunque exista una copia que nadie podrá distinguir del humano empleado originalmente para crearla. El motivo es simple: cada copia del *hardware* (el cerebro físico) da lugar a una experiencia consciente subjetiva. Y aunque no lo parezca, la situación es equivalente para el individuo que es congelado y reanimado en un futuro lejano. La actividad de su cerebro se ha detenido por completo. Imaginemos que reemplazamos este pedazo de materia gris solidificada por una copia exacta. ¿Cuál sería la diferencia respecto al original? Ninguna en absolu-

to. Si ahora despertáramos al cuerpo portador de este cerebro idéntico, veríamos volver a la vida a la mente original que lo poseía. Y, sin embargo, en un sentido subjetivo, no sería el mismo: la conciencia que emerge es necesariamente distinta. No hay, en realidad, despertar posible.¹⁷

En la obra de Shelley y de muchos otros autores, el objetivo que se persigue es la inmortalidad. La muerte no debe suceder. Pero desafiarla requiere resolver otros problemas para los que tal vez no exista solución. El paso del tiempo conlleva el envejecimiento de tejidos y órganos. Y no hay forma de que *El curioso caso de Benjamin Button*¹⁸ se haga realidad, excepto si se rompen las reglas, como sucede con el cáncer.¹⁹ Para los físicos, la cuestión debe trasladarse al terreno de la entropía y de la segunda ley de la termodinámica. Todos los sistemas del universo se dirigen inevitablemente a un estado de desorden con el paso del tiempo. Se suele ilustrar esta idea con el modo en que percibimos una película que se nos muestra al revés. Sonreímos al ver cómo alguien surge del agua de una piscina, cuya superficie se aplana mientras el saltador regresa al trampolín. Nada de esto puede ocurrir en el mundo real y, por extensión, no veremos rejuvenecer nuestro rostro en el espejo con el paso de los años. En este marco general en el que todo (incluido el universo) debe morir, parece que hay poco espacio para la inmortalidad.

¿Es posible devolver la vida a un cuerpo muerto? El caso de la congelación es un tanto especial, puesto que no hay daños que impidan reactivar el funcionamiento normal una vez restablecidas las condiciones adecuadas. Más adelante nos detendremos a analizar el concepto del fin de la vida en el contexto de la mente, pero el oportunismo de algunos, sumado a la obsesión por el negocio o por la fama, no ha necesitado de esta reflexión. Un caso especialmente sangrante se dio en 2017 en Estados Unidos, por parte de la compañía Bioquark, con sede en Filadelfia.²⁰ Esta corporación prometía una verdadera resurrección para pacientes que habían quedado en estado de muerte clínica irreversible después de sufrir un daño cerebral masivo, provocado muy a menudo por un derrame. El desafortunado destino de estas personas es ser

mantenidas, mediante respiración asistida, en un estado de muerte en vida, hasta que se decide desconectarlas de su soporte vital. La irreversibilidad es el resultado de los daños que sufren tanto los tejidos como la comunicación entre diversos centros cerebrales, que simplemente hacen imposible cualquier tipo de recuperación. Los avispados miembros de Bioquark, sin embargo, vieron la oportunidad de hacer negocio pretextando el empleo de «técnicas avanzadas basadas en células madre» o el recurso a la «estimulación cerebral eléctrica» y a las «terapias láser». Se añade a todo esto una mezcla de proteínas (que no falten las proteínas y sus mágicos efectos) y ya tenemos una propuesta tan absurda como efectiva: ¿quién no invertirá su dinero para intentar lo imposible? Bioquark promocionó su idea y consiguió que apareciera rápidamente en los medios como un tratamiento revolucionario que podía «devolver los muertos a la vida». Por mucho que los responsables de esta empresa adornaran su discurso con una endeble pátina de ciencia e insistieran en que se trataba de un experimento, su pretensión de realizar ensayos clínicos con pacientes fue finalmente prohibida, dado que no se sostenía en ninguna base científica (un problema obvio era la ausencia de ensayos previos con animales) y tan solo fomentaba falsas esperanzas en los desesperados familiares.²¹

Dejando de lado a los charlatanes, que se sitúan a medio camino entre la ficción y la realidad, nuestro conocimiento sobre la naturaleza de la muerte sigue evolucionando y aún hay espacio para la sorpresa. Un buen ejemplo nos lo dan los llamados *genes zombies*, algo que habría intrigado a Mary Shelley y que encaja muy bien con lo de «comprender la muerte para entender la vida». En el curso de una investigación acerca de las respuestas celulares después de la muerte del organismo, se descubrió que, en contra de toda lógica, algunos genes se activaban y permanecían activos durante días. Un estudio en particular, que se llevó a cabo con tejido cerebral extraído durante intervenciones que requerían neurocirugía,²² demostró que el tejido, que estrictamente hablando debería considerarse muerto, contenía células que aumentaban su actividad genética a lo largo de un día entero. Ello tenía lugar

en un tipo de células esenciales para mantener la función neuronal: las células de la neuroglía (o células gliales). A diferencia de las neuronas, estas células (mucho más abundantes) pueden reproducirse en condiciones normales y desempeñan un papel vital en el cerebro, proporcionándole nutrientes y soporte estructural. ¿Por qué se activan? Su función en condiciones normales responde en parte a esta pregunta. Entre otras tareas, las células gliales deben hacerse cargo de posibles daños celulares que pueden darse a lo largo de la vida, ya sea por caídas en el aporte de oxígeno o por un derrame cerebral. La respuesta ante la muerte de los tejidos, que implica condiciones de alto estrés, pasa por la activación de estas células, si bien esta activación queda limitada a la expresión de sus genes. Esta respuesta es transitoria (como máximo, dura unas doce horas) y coincide en el tiempo con la progresiva degeneración de las neuronas, que tiene lugar a medida que los genes clave para la función cerebral se van apagando. Una curiosa combinación de esperanza y derrota.

Dos siglos después de *Frankenstein*, nuestra aproximación a los misterios de la vida y la muerte se basa en una visión de la complejidad de la biología, en la que los sistemas (en lugar de las partes) desempeñan un papel central. En la figura 6 podemos ver las contrapartidas a la ciencia victoriana que resumíamos en la figura 2. La muerte forma parte de un amplio espectro de fenómenos que tienen que ver con la homeostasis de los organismos y con su respuesta al paso del tiempo y al estrés. En este apartado, son muchas las cosas que hemos aprendido acerca del funcionamiento normal de esos sistemas y, muy especialmente, de los estados patológicos, como es el caso del cáncer. Las células tumorales representan todo aquello que nuestros tejidos y órganos deben evitar, en particular en relación con la evolución. Para poder funcionar correctamente, nuestro organismo requiere la cooperación estable de todas sus partes, empezando por las células. Algunas células, debido a mutaciones, dejan de obedecer a las reglas de regulación y se reproducen en exceso. Algunas descubren (una vez más, evolución darwiniana) mecanismos de escape al control. Uno de estos mecanismos (como veremos en el siguiente capítulo) es, ni más ni

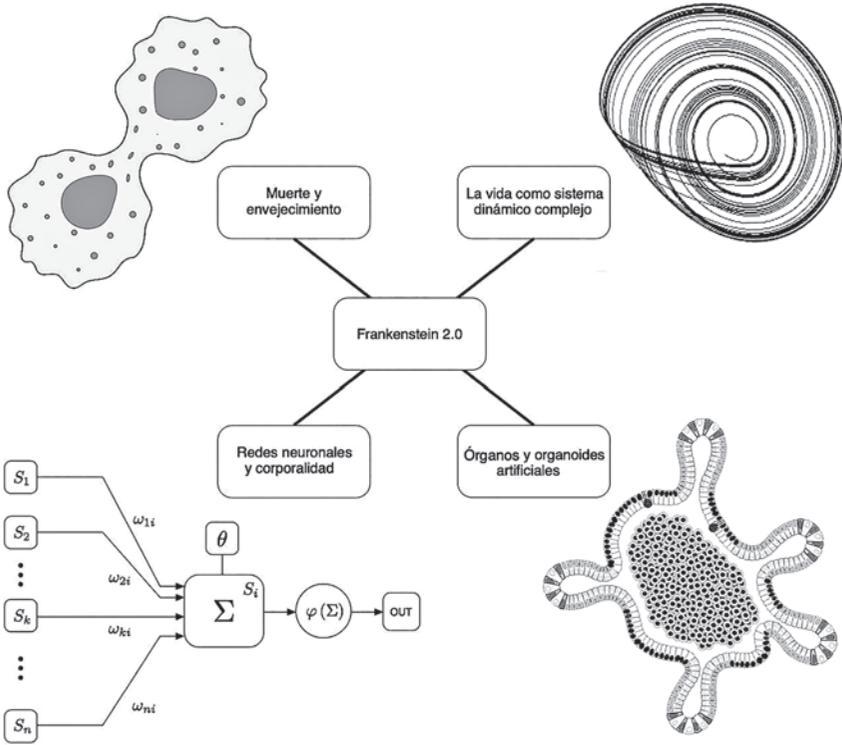


Figura 6. Una visión actual de la figura 2, que se correspondería con una versión 2.0 de los problemas planteados en *Frankenstein*. En su versión científica moderna, la muerte se conecta de forma profunda con la comprensión de la biología del envejecimiento, la vida se entiende en términos de redes y sistemas no-lineales, la mente y el cerebro se analizan bajo la perspectiva de las redes neuronales, mientras que la posibilidad de crear a un ser humano a partir de partes se reinterpreta en términos de crear y conectar entre sí órganos artificiales.

menos, que la inmortalidad. Por otra parte, el avance de la ciencia de las redes complejas²³ ha permitido desarrollar una nueva perspectiva sobre los procesos que tienen lugar a escalas muy distintas, de las células a los cerebros. Lejos de considerar estos sistemas como separables en partes desconectadas, la visión que emerge nos conecta con la complejidad del mundo y de la vida en particular. Finalmente, volviendo a Victor Frankenstein y a su intento de

reconstruir un cuerpo a partir de partes obtenidas de cadáveres, una nueva disciplina dentro de la bioingeniería nos remite a las posibilidades del diseño de los llamados «organoides». Estos se obtienen a partir de células individuales, mediante las cuales se pueden crear esbozos de distintos órganos que se mantienen vivos durante largos períodos de tiempo. Sin entrar en detalles, digamos que esta tecnología se basa en la capacidad de *reprogramar* estas células para convertirlas en células madre pluripotenciales, que poseen la capacidad de dar lugar a cualquier tipo especializado de célula.²⁴ Cada organoide se crea bajo condiciones especiales, y todos tienen un tamaño muy reducido (cientos o miles de veces menor que el órgano real), pero, bajo el microscopio, presentan las características básicas de hígados, riñones, pulmones, páncreas o cerebros. Además de poseer los tipos celulares de cada tejido, muestran una estructura espacial que también reproduce los rasgos propios del órgano deseado. En el caso del cerebro, observamos capas de neuronas organizadas dentro de un «minicerebro» en el que pueden estudiarse diversas propiedades del cerebro completo, aunque estos minicerebros se encuentren alejados de las capacidades cognitivas que definen al órgano del pensamiento. Todavía hay que investigar mucho antes de que esos organoides posean el tamaño y los atributos de los órganos a los que pretenden emular, pero son una herramienta extraordinaria para estudiar la fisiología y el desarrollo de muchas enfermedades y para ensayar posibles tratamientos. Entre los desarrollos actuales, destacaría uno que nos permite cerrar este capítulo regresando al principio. ¿Podemos recrear, mediante la combinación de organoides, un organismo completo? Para ello, deberíamos, una vez más, juntar las distintas partes para generar el equivalente de un individuo. La tecnología de los denominados «chips de microfluídica» nos proporciona el sustrato para conseguirlo. Estos chips, de unos pocos centímetros de tamaño y usados muy a menudo en bioingeniería, permiten mantener separadas diversas poblaciones celulares que se conectan entre sí mediante canales a través de los cuales fluyen los nutrientes, los factores de crecimiento y otras moléculas necesarias para mantener el funcionamiento de los dis-

tintos tejidos. Si colocamos distintos organoides en diversas cámaras dentro de uno de estos dispositivos, cada una de ellas con las condiciones adecuadas, podemos diseñar lo que ya se ha llamado un «humano en un chip», como se indica en el esquema de la figura 7. Y aunque estos sistemas artificiales estén muy alejados del drama de los ladrones de tumbas, carezcan de las capacidades y percepciones de un humano real y tengan un tamaño diminuto, es muy posible que arrojen luz acerca de lo que permite a un ser vivo complejo coordinar sus múltiples funciones con una fiabilidad que desafía a la de cualquier máquina.

En este largo recorrido desde los cuadernos de notas de una adolescente sentada en el cementerio de Saint Pancras hasta la

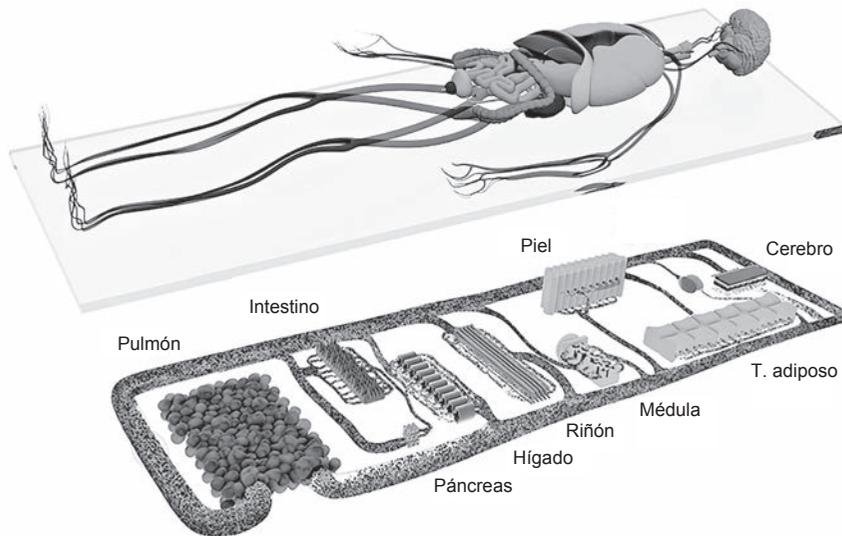


Figura 7. La analogía moderna de un ser humano creado a partir de partes de cuerpos nos la ofrece el «humano en un chip». En este sistema basado en la tecnología de chips de microfluidica, el cuerpo es reemplazado por un conjunto de organoides que emulan a cada uno de los órganos reales y que se conectan entre sí mediante un fluido, que puede ser sangre artificial. El fluido es bombeado a través del chip mediante un sistema de bombeo controlado por ordenador. Aunque las dos imágenes se han representado como iguales en tamaño, el chip es cien veces menor. Imagen adaptada de Benam *et al.*, 2019, *Drug Discovery Today*.²⁵

ingeniería de tejidos y células madre, dos cosas han permanecido. La primera, la pregunta abierta acerca de la posibilidad de evitar el fin de la vida. La segunda, el espíritu de indagación que guio al joven Victor Frankenstein a intentar lo imposible y que nunca se ha detenido.²⁶