

**Dr. Ricardo Cubedo**

# **EL ÓRGANO TRANSPARENTE**

La inteligencia de  
tu sistema inmunitario

**Larousse**

# ÍNDICE

Introducción — 8

## **1.** **EL SISTEMA INMUNITARIO A VISTA DE PÁJARO — 13**

- 1.1** Un ruso pescando estrellas de mar en Sicilia — 14
- 1.2** Dos sistemas inmunitarios por el precio de uno — 16
- 1.3** Dos ejércitos para una misma guerra — 20
- 1.4** Y un policía enamorado de las rosas — 24

## **2.** **GUERRA DE TRINCHERAS. EL SISTEMA INMUNITARIO INNATO — 31**

- 2.1** La web inmunitaria — 32
- 2.2** Fuera de ti, dentro de ti.  
Las fronteras del cuerpo — 35
- 2.3** Las barricadas muertas de la piel — 37
- 2.4** Las membranas mucosas:  
piel con superpoderes — 40
- 2.5** El interferón contra la invasión de los virus zombis — 46
- 2.6** ¿Por qué nadie ha oído hablar del sistema del complemento? — 51
- 2.7** Un órgano dentro de los huesos — 55
- 2.8** Millones de tiburones microscópicos — 58
- 2.9** Inflamación y fiebre.  
Las defensas, chateando — 60
- 2.10** Asesinas natas & company — 65
- 2.11** En pocas palabras... — 69

### **3.**

## **LAS TROPAS DE ÉLITE. EL SISTEMA INMUNITARIO ADAPTATIVO — 71**

- 3.1** La célula dendrítica toma una decisión difícil — 72
- 3.2** Peor que una aguja en un pajar — 75
- 3.3** La sangre blanca — 77
- 3.4** El bazo pluriempleado — 79
- 3.5** Los antígenos son el mensaje — 82
- 3.6** Origami de proteínas — 86
- 3.7** Receptores de membrana. Como llaves y cerraduras — 89
- 3.8** Con permiso para mutar — 92
- 3.9** El timo, la máquina del «YO» — 98
- 3.10** La ceremonia de presentación del antígeno — 103
- 3.11** La guerra de los clones. Los linfocitos T — 110
- 3.12** El linfocito B es una ametralladora de anticuerpos — 117
- 3.13** ¡Me he quedado con tu cara! — 129
- 3.14** En pocas palabras... — 134

### **4.**

## **ENJAULANDO A LA FIERA. EL CONTROL DE LAS DEFENSAS — 137**

- 4.1** Tú no eres un aguacate — 138
- 4.2** No todo tú eres tú. La microbiota — 144

### **5.**

## **LA INMUNIDAD ENFERMA — 151**

- 5.1** No, tú no tienes las defensas bajas — 152
- 5.2** Susto o muerte. Parásitos o alergias — 156
- 5.3** La hipótesis higienista y el motín de las defensas — 161

### **6.**

## **PILOTANDO NUESTRA PROPIA INMUNIDAD — 169**

- 6.1** ¿Qué puedes hacer para mejorar tus defensas? — 170
- 6.2** Vacunas con «V» de vaca — 175
- 6.3** Los héroes de los trasplantes no son cirujanos — 179
- 6.4** Balas mágicas — 181
- 6.5** Para acabar... — 184

Agradecimientos — 187

Glosario\* — 188

Créditos fotográficos — 192

\* Las palabras subrayadas en el texto son términos que aparecen ampliados en el glosario final de las páginas 188-191.



# INTRODUCCIÓN

David Vetter nació una mañana de septiembre de 1971 en el Hospital Infantil de Texas, en Houston, una de las sesenta instituciones sanitarias que componen el Centro Médico de Texas. No es habitual que un parto suponga la más mínima conmoción en el mayor centro sanitario del mundo, una pequeña ciudad de la medicina, diez veces más extensa que el Estado Vaticano, en la que más de 100 000 trabajadores sanitarios atienden 10 millones de consultas cada año. Pero el caso era bien especial. A David no lo pusieron en los brazos de su madre nada más nacer. En realidad, su piel casi nunca entró en contacto con otra piel humana durante los doce años que duró su vida. El pequeño de los Vetter nació en un paritorio estéril, atendido por médicos y enfermeras embutidos en equipos de protección individual. Apenas se cortó el cordón umbilical, le desinfectaron cuidadosamente la superficie de la piel, el interior de la boca y las fosas nasales para eliminar hasta el último *microbio* que pudiera haber arrastrado en su paso por el canal del parto. Un sacerdote católico equipado como un astronauta lo bautizó con agua bendita esterilizada y, a continuación, fue depositado en una cámara aséptica, un capullo de

plástico del tamaño de un frigorífico del que solo saldría en contadas ocasiones y usando un traje especial diseñado por la NASA.

El caso del pequeño David saltó a los medios de comunicación y alcanzó notoriedad como «el niño burbuja». Había heredado una rara enfermedad genética: inmunodeficiencia grave combinada. Su hermano no había superado las primeras semanas de vida, mientras que su hermana era una niña completamente normal.



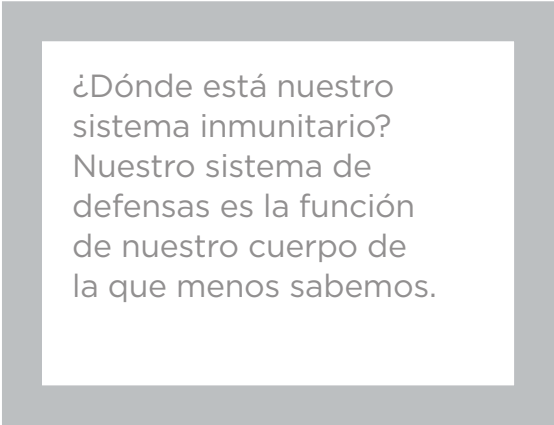
David Vetter, el «niño burbuja».

El síndrome que padecía David estaba ligado a una mutación en el cromosoma del sexo masculino y solo lo padecían los varones. A principios de los setenta, el diagnóstico prenatal empezaba a usarse en los hospitales más avanzados, lo que permitió que los médicos de Houston se anticiparan a los acontecimientos. El más inocente de los **microorganismos** podría matar a estos pacientes que nacen desprovistos de sistema inmunitario. Su única probabilidad de supervivencia consiste en permanecer en una cámara estéril en espera de un trasplante de **médula ósea** o de un tratamiento de terapia génica que les restituya el sistema inmunitario.

La imagen del niño burbuja nos obliga a considerar fugazmente hasta qué punto dependemos de ese sistema complejo y recóndito al que llamamos «las defensas». Quizá intuyamos que solo gracias a él llegaremos vivos a la próxima semana y, sin embargo, la mayoría de nosotros lo conocemos muy poco. Con toda seguridad, el sistema inmunitario es la parte del cuerpo en la que menos reparamos a lo largo de nuestra vida. Si pensamos en el sistema circulatorio nos llevaremos la mano instintivamente al pecho y sentiremos el latido del corazón. También es fácil imaginar el estómago o los intestinos si pensamos en el sistema digestivo. Pero ¿a qué parte del cuerpo nos llevaremos la mano, qué imagen se representará en la mente si pensamos en el sistema inmunitario?

En verdad, carece de forma, volumen y ubicación determinados, pero hay una razón aún más importante para explicar que rara vez reparamos en la existencia del sistema

inmunitario: parece que nunca se estropea. Todos conocemos a alguien que padece una arritmia cardíaca o quizá un familiar cercano use una botella de oxígeno porque le fallaron los pulmones. Puede que nosotros mismos tomemos un medicamento para normalizar la tensión arterial o el azúcar en la sangre. Pero ¿conocemos a alguien cuya vida haya peligrado a causa de un trastorno inmunitario? ¿En cuantas ocasiones nos ha recetado el médico una pastilla para arreglar algo que se nos estropeó en las defensas?



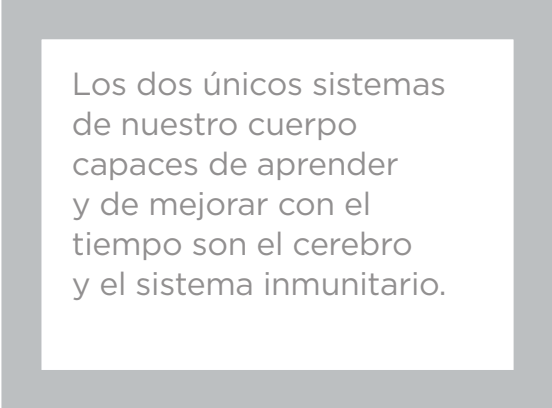
¿Dónde está nuestro sistema inmunitario? Nuestro sistema de defensas es la función de nuestro cuerpo de la que menos sabemos.

Aun así, el sistema inmunitario es un ente real. Si amontonáramos todas las células y tejidos que lo conforman, nos encontraríamos con un órgano del tamaño del hígado, un órgano que he calificado como «transparente» porque parece invisible a fuerza de estar en todas y en ninguna parte a la vez, porque funciona de manera tan perfecta que apenas nos damos cuenta de su existencia. Y, sin embargo, el «órgano transparente» constituye uno de los sistemas más importantes, sofisticados y perfectos del organismo humano. Nuestro metabolismo se ha refinado a lo largo de

medio millón de años de evolución de manera que ahorra energía y obtiene el máximo rendimiento con el mínimo consumo. Sorprende averiguar que el cuerpo de un adulto solo consume unos 100 vatios para mantenerse vivo, lo mismo que una bombilla. Así pues, una manera de saber qué importancia le concede el cuerpo humano a cada una de sus partes consiste en preguntarse cuánta energía le adjudica; pues bien, entre una cuarta y una tercera parte de toda la energía consumida por el metabolismo de un cuerpo en reposo está dedicada en exclusiva a mantener el sistema inmunitario; así de importante es para sobrevivir. Tan solo el cerebro supera en complejidad al sistema inmunitario.

En general, una vez alcanzada la madurez sexual, todas las partes del cuerpo experimentan un lento e irremisible declive. Las rodillas de los 40 años no gozan ya de los cartílagos frescos y elásticos que nos permitían correr como gamos a los 15. Tampoco están igual la capacidad cardiovascular, la tersura de la piel y la agudeza visual. Solo dos órganos son capaces de mejorar continuamente a lo largo de buena parte de la vida adulta: la sustancia gris del cerebro y nuestro fiel sistema inmunitario. La corteza cerebral de un adulto de 60 años es un instrumento mejor que el que tenía a los 16 años: ha almacenado infinidad de conocimientos y experiencias, ahora quizá es capaz de hablar dos idiomas, domina una profesión, maneja instrumentos complejos como un automóvil o un ordenador, y es capaz de analizar y controlar mejor su entorno.

Lo mismo sucede con el sistema inmunitario. Lo más probable es que se deteriore solo durante los últimos años seniles. Mientras tanto, lo único que hará será mejorar y lo hará de una forma peculiar y sorprendente. Si el cerebro se perfecciona de forma continua, el sistema inmunitario lo hace a base de la sucesiva instalación de versiones mejoradas de su sistema operativo, como un ordenador o un *smartphone*. El recién nacido incorpora una «inmunidad v.1.0», adquirida a través de la placenta y con cada sorbo de leche materna. Pronto, su organismo tendrá que enfrentarse al ataque despiadado de millares de microbios y sustancias extrañas. Cada batalla ganada supondrá la reinstalación de una versión mejorada del sistema operativo inmunitario, dotado de nuevos **anticuerpos**, de células-memoria que lo acompañarán como centinelas microscópicos durante décadas. Como el cerebro, el sistema inmunitario aprende y, porque aprende, es un sistema inteligente.



Los dos únicos sistemas de nuestro cuerpo capaces de aprender y de mejorar con el tiempo son el cerebro y el sistema inmunitario.

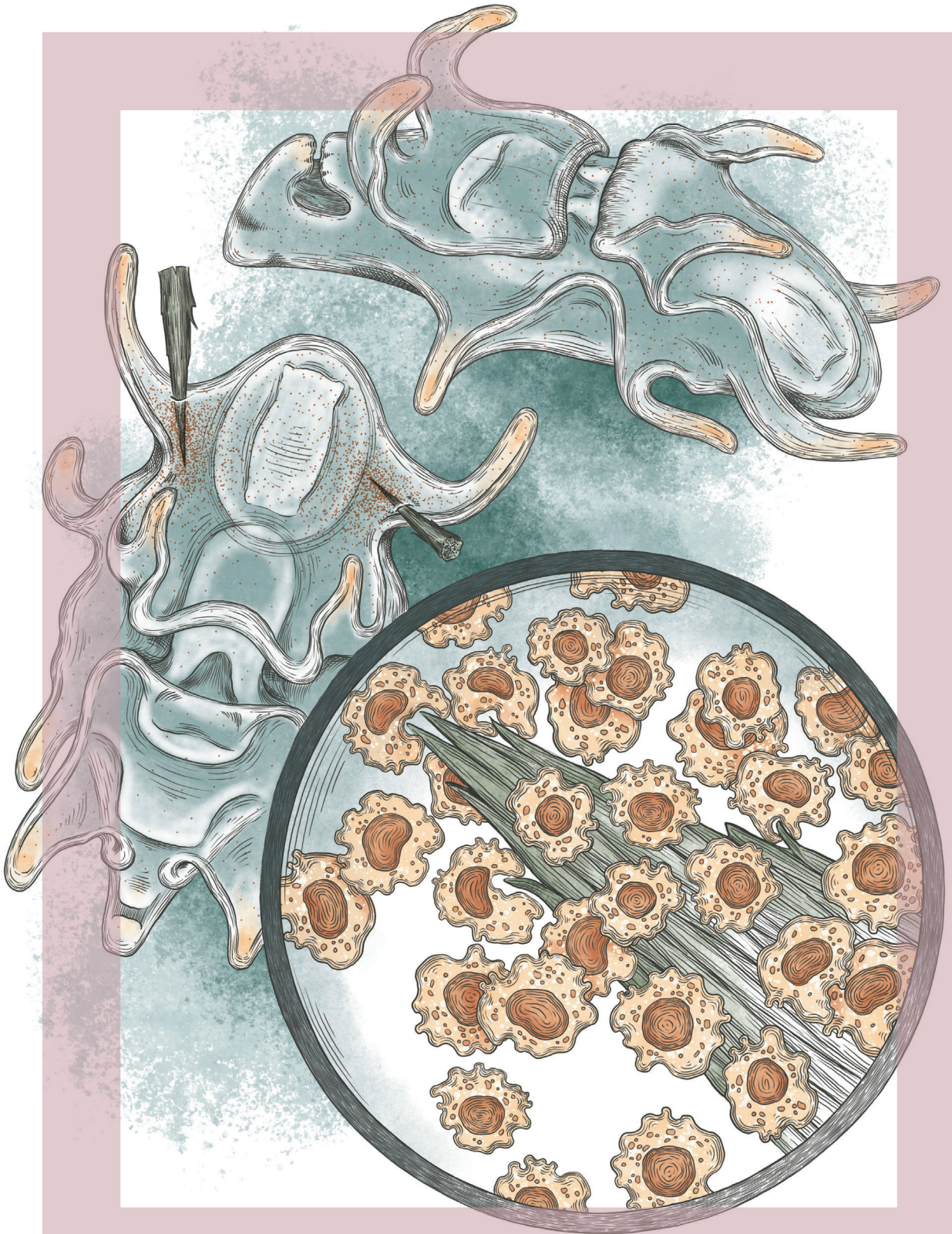
Se tiende a imaginar las defensas del organismo como un ejército frente a los microbios. Es cierto que esa es una de sus funciones principales, pero el sistema inmunitario es bastante más complicado y abarca mucho más. Este libro se propone hacer visible ante tus ojos este órgano inteligente y transparente, exquisitamente complejo y perfecto, de cuya existencia apenas eres consciente.

Podrás comprender que el inmunitario es el sistema maestro de reparación del organismo. Gracias a él somos capaces de sanarnos de cualquier herida externa y de muchas enfermedades internas. Impide que desarrollemos cánceres casi cada mes y expurga el cerebro de conexiones irrelevantes y obsoletas, lo que permite que se produzca el aprendizaje y el pensamiento.

Veremos que la inmunidad es uno de los sistemas de comunicación inalámbrica más complejos y rápidos del mundo, que dispone de un segundo sistema circulatorio, independiente del sanguíneo, que atraviesa todo el cuerpo y que desconocías. Aprenderemos que este órgano transparente está relacionado de modos que ni imaginabas con el sueño, la obesidad, el estado de ánimo, el estrés, el ejercicio físico, las demencias o el envejecimiento.

EL ÓRGANO TRANSPARENTE es un libro que no presupone conocimientos previos; está escrito para personas con interés en temas de medicina y de ciencias de la vida, lectores capaces de asombrarse al conocer que nuestro sistema inmunitario es idéntico al de los tiburones, que desean saber para qué sirve el timo o el bazo, que sienten curiosidad por los tiempos heroicos de los trasplantes de órganos, que aspiran a conocer algo más de las vacunas, de las enfermedades autoinmunes o del tratamiento del cáncer con inmunoterapia, que no se resignan a aceptar sin más muchas ideas falsas que rodean al asunto de «mejorar las defensas», que necesitan argumentos racionales sobre la mejor manera de desarrollar y mantener el sistema inmunitario sano para sí mismos y para sus hijos.

En fin, pretendo dotar a los lectores del conocimiento suficiente para que ejerzan su sentido crítico ante las informaciones y desinformaciones que encontrarán sobre el sistema natural de defensas, pero, sobre todo, me gustaría brindarles el puro placer que proporciona ser conscientes de la perfección de nuestro organismo.







**EL SISTEMA  
INMUNITARIO  
A VISTA  
DE PÁJARO**

## 1.1

# UN RUSO PESCANDO ESTRELLAS DE MAR EN SICILIA

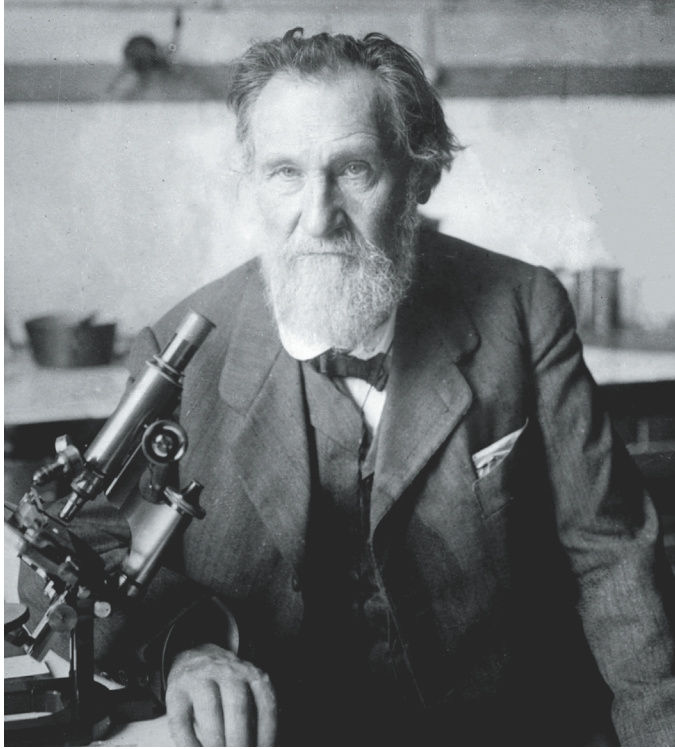
En la Navidad de 1882, mientras se descalzaba y se arremangaba las perneras de los pantalones para meterse hasta las pantorrillas en las frías aguas del mar Tirreno, Élie Metchnikoff no podía sospechar que las larvas de estrella de mar que se disponía a recoger en la orilla de la playa lo conducirían, 26 años después, al salón de banquetes del ayuntamiento de Estocolmo. Allí recogió el premio Nobel de Medicina y quedó consagrado para la historia como el padre de la inmunología.

Metchnikoff enseñaba zoología en la Universidad de Odessa, entonces parte del Imperio ruso. Unos meses atrás, el emperador Alejandro II había sido asesinado por revolucionarios antizaristas. El profesor de zoología se sentía amenazado por su doble condición de noble y de judío, así que puso tierra de por medio y buscó refugio en la pequeña ciudad siciliana de Messina, donde residía su hermana.

El sabio judío había dispuesto un pequeño laboratorio en la habitación de huéspedes, con poco más que el microscopio alemán que había añadido a su equipaje en su precipitada salida de Odessa. A finales de 1800 apenas acababan de desarrollarse las técnicas de tinción que permitieron

distinguir al microscopio el interior de las células. Metchnikoff no contaba con esos adelantos en su laboratorio improvisado, así que no le quedaba más remedio que limitarse a observar elementos transparentes y fáciles de obtener, como larvas de estrellas de mar. En realidad, no pretendía mucho más que distraerse y mantener su mente engrasada mientras aguardaba a que en Rusia se calmasen los ánimos revolucionarios.

Las larvas apenas medían uno o dos milímetros, pero se dejaban recoger bien con un colador de tela sustraído de la cocina de su hermana. Transparentes como el cristal, eran fáciles de observar con solo disponerlas bajo el objetivo del microscopio, atrapadas entre dos láminas finas de vidrio. Metchnikoff se sorprendió al descubrir que había células que se desplazaban libremente por el interior de las larvas, de un lado a otro. Debido a ese comportamiento tan peculiar, las llamó *células vagabundas* en las anotaciones de su cuaderno de experimentos. No hacía tanto tiempo que Pasteur había demostrado que los microbios eran capaces de producir enfermedades, algo de lo que ni muchísimo menos estaban aún convencidos la mayoría de los médicos y científicos, así que la idea de un microscópico mundo



Élie Metchnikoff fue el primero en ver las células de las defensas y adivinar su funcionamiento.

de defensas frente a las infecciones era pura ciencia ficción, poco más que una intuición remota en la mente de algunos investigadores, como el zoólogo de Odessa. Al ver aquellas células merodeando por el cuerpo de las larvas, Metchnikoff tuvo una de esas epifanías que a veces alcanzan como un rayo a los científicos. De algún modo, imaginó las células ya no como vagabundas, sino como soldados, patrullando arriba y abajo en busca de algún intruso.

En el jardín había un pequeño mandarino. Tomó unas pocas de sus minúsculas espinas y las insertó con esmero en algunas de las larvas de estrella de mar. Metchnikoff cuenta en sus memorias que apenas pudo dormir esa noche.

Con las primeras luces del día siguiente, se precipitó al microscopio y lo que pudo observar no dejaba lugar a duda. Mientras que en las larvas sin espinas las células vagabundas seguían deambulando sin dirección aparente, en las larvas heridas se habían arremolinado en torno a las espinas, como si estuviesen luchando de algún modo contra el cuerpo extraño. Incluso era posible apreciar que los extremos de las espinas habían sido erosionados o devorados, sin duda por la acción de esas células, que ya nadie podría ver de otra forma sino como miembros de un diminuto ejército celular.

Élie Metchnikoff no solo acababa de descubrir el sistema inmunitario; lo había visto con sus propios ojos.

## 1.2

# DOS SISTEMAS INMUNITARIOS POR EL PRECIO DE UNO

La selección natural es un sistema de limpieza que solo conserva lo que es realmente útil. Si quieres saber lo importante que es una parte o una función de tu cuerpo, hay dos preguntas importantes:

- ¿Cuánta energía se le adjudica?
- ¿Desde cuándo existe esa parte o esa función del cuerpo?

Si algo lleva ahí muchos millones de años debe de ser porque es fundamental para la supervivencia. Las estrellas de mar son animales bastante primitivos. Forman parte del grupo de los equinodermos, al que también pertenecen los erizos de mar. Las células que Metchnikoff observó en el interior de las larvas de estrella de mar y a las que logró atraer con espinas de mandarino eran **macrófagos**, una clase de **glóbulos blancos** que son un elemento fundamental de nuestras defensas. Más adelante hablaremos en detalle de los macrófagos, pero baste por el momento con decir que unos cuatro mil millones de ellos circulan por tu sangre mientras lees estas líneas, patrullando infatigables en busca de microorganismos, sustancias

y partículas invasoras; literalmente, salvando tu vida cada día. Lo más fascinante es que esos macrófagos que defienden el cuerpo humano son idénticos a los de las estrellas de mar y a los de cualquier otro animal superior, idénticos a los de los animales primitivos que habitaban el mar antediluviano hace 500 millones de años, mucho, muchísimo antes de que aparecieran los dinosaurios.

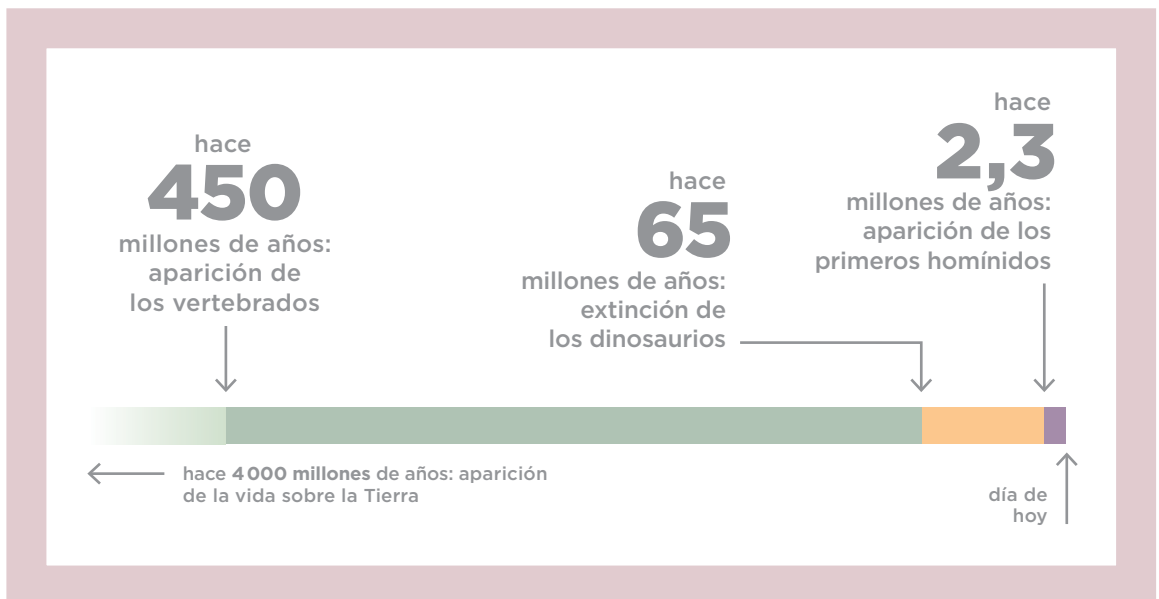
Hoy día sabemos que, en realidad, la inmunidad es mucho más antigua. Incluso las bacterias disponen de alguna clase de defensas para protegerse de los virus, de manera que la inmunidad debió de ser una de las primeras funciones en aparecer en los sistemas vivos, junto con la generación de energía y la capacidad de multiplicarse.

En el mundo más primitivo, la inmunidad era un sistema estable y permanente. Es decir, que un organismo nacía y moría con el mismo sistema inmunitario. Nada extraordinario; así sucede con todos nuestros órganos y tejidos. Al fin y al cabo, la estructura del corazón, el hígado y los ojos es la misma desde el nacimiento hasta la muerte. Sin embargo, hace unos 450 millones de años hubo una verdadera revolución en el funcionamiento del sistema

inmunitario. Algunos de los primeros vertebrados, que eran peces con esqueleto cartilaginoso, desarrollaron la capacidad prodigiosa de ir cambiando su inmunidad a lo largo de la vida, de manera que se adecuaba a los **microbios** con los que se iba encontrando. Está claro que las especies evolucionan como adaptación al medio, gracias a la selección natural que impone la supervivencia y reproducción de los mejor adaptados a las circunstancias que se encuentran. Pero aquí no hablamos de la evolución de una especie, algo que sucede en una escala temporal de miles o millones de años. En el caso de aquellos peces, se trataba de la adaptación de cada individuo, una modificación que multiplicaba la probabilidad de sobrevivir de cada sujeto y que sucedía en cuestión de días. Es como si las jirafas desarrollaran la capacidad de

que su cuello y sus patas se acortaran o se alargaran a lo largo de la vida de cada animal, y tantas veces como hiciera falta, según las condiciones impusieran la necesidad de alimentarse unas veces de las hojas altas de los árboles y, otras, de la hierba que crece a sus pies. Gracias al nuevo y revolucionario sistema inmunitario, las defensas de dos peces cartilagosos, idénticas al salir del huevo, acababan siendo completamente diferentes, tan solo porque ambos ejemplares habían emigrado hacia distintas aguas, cada mar con sus propios microbios y parásitos.

La flamante nueva clase de inmunidad, con esa asombrosa capacidad de cambiar y adaptarse, era tan buena que la evolución ya jamás se desprendió de ella. Tras millones de años, aquellos peces cartilagosos dieron paso a los peces óseos con espinas, estos



Nuestro sistema inmunitario moderno apareció con los vertebrados; de hecho, los dinosaurios ya tenían una inmunidad muy parecida a la nuestra.

a los animales anfibios, los anfibios a los reptiles, pájaros y mamíferos, incluidos los seres humanos; y todos conservaron el mismo tipo de defensas. Por eso un chimpancé, un caballo, un gorrión, una serpiente, una rana y un atún, todos, compartimos un mismo sistema inmunitario, con los mismos órganos, las mismas células, las mismas clases de anticuerpos. También lo compartían con nosotros los dinosaurios antes de extinguirse y lo hacen hoy día los tiburones o las rayas marinas, los últimos descendientes de aquellos peces con cartílago en vez de espinas que se «inventaron» la nueva inmunidad hace casi medio millar de millones de años.

Pero el antiguo sistema inmunitario, aquel que era idéntico desde el nacimiento hasta la muerte, jamás desapareció. Al contrario, a pesar de que era mucho menos poderoso que la nueva clase de defensas modificables, la evolución también lo ha conservado hasta nuestros días. Ha llegado el momento de exponer algo que seguramente no sabías y que es esencial para comprender nuestro sistema de defensas: en el cuerpo hay no uno, sino dos sistemas inmunitarios. Imagina que descubrieras que tienes dos cerebros, uno más primitivo dedicado a las funciones simples, como buscar comida o huir del peligro, y otro mucho más evolucionado y complejo, que solo usaras para tareas difíciles, como el cálculo o el lenguaje. Así es como se reparten la tarea los dos sistemas inmunitarios.

En nuestro organismo conviven dos sistemas inmunitarios:

- El innato es el más sencillo y no varía desde el nacimiento hasta la muerte.
- El adaptativo es mucho más complicado, y se modifica a lo largo de la vida para adaptarse a los microbios.

Al primero lo llamamos **inmunidad innata**; es el más primitivo, descendiente de los primeros animales que aparecieron en el mar hace unos 4000 millones de años, semejante al de las estrellas de mar.

Un sistema de defensas que no se modifica a lo largo de la vida, compuesto por células como aquellos macrófagos que Metchnikoff descubrió en la casa siciliana de su hermana. El segundo sistema de defensas se llama **inmunidad adaptativa**.

Lo compartimos con los dinosaurios, con los tiburones y con casi todos los animales con huesos que pueblan la Tierra. Es un mundo de **leucocitos**, de células memoria y de anticuerpos. Mucho más moderno, poderoso, complejo y eficaz; pero también más necesitado de energía, más lento para ponerse en marcha y más peligroso si se revuelve contra nosotros, como sucede en las alergias y en las enfermedades autoinmunes.

Ambos sistemas inmunitarios, el innato y el adaptativo, conviven en los tejidos y se coordinan en armonía, repartiéndose las tareas de proteger y reparar el cuerpo. En los dos próximos capítulos obtendrás una panorámica de cómo funciona cada uno de ellos; y a lo largo del libro profundizaremos sobre cómo la inmunidad innata y la inmunidad adaptativa no solo te protegen de los microbios, sino también cómo curan las heridas y las enfermedades, cómo te mantienen a salvo de sustancias tóxicas y de venenos, de qué forma sostienen una vigilancia incesante sobre la aparición de células cancerosas, hasta qué punto son importantes para la salud del cerebro e, incluso, cómo pueden haberte ayudado a seleccionar pareja. Nos asomaremos también a la parte oscura de la inmunidad: cuando nos deja tirados o nos ataca en lugar de protegernos. Asimismo sabremos cómo ha sacado partido la medicina de todos los conocimientos adquiridos desde que Metchnikoff se mojaba los tobillos pescando estrellas de mar: inventando vacunas, engañando a las defensas para que no rechacen un órgano trasplantado o desarrollando modernos anticuerpos contra las vacunas.

## 1.3

# DOS EJÉRCITOS PARA UNA MISMA GUERRA

Imagina que eres el jefe del Estado Mayor encargado de organizar la defensa de una nación, de un país bajo constante amenaza de invasión por los cuatro costados, por tierra, mar y aire. Dispones de buenos recursos, de ejércitos y fuerzas navales, de armas modernas y de fábricas de armamento, pero es sencillamente imposible cubrir todo el territorio al mismo tiempo. De ninguna manera podrías disponer de cazas, bombarderos, tanques, destructores, fuerzas anfibias, submarinos y misiles en cada kilómetro de frontera, en cada playa, en cada puerto o boca de río, en cada palmo de espacio aéreo. ¿Cómo organizarías la defensa del país? Es posible que acabes imaginando algo parecido a esto:

— Establecer guarniciones permanentes con cierta cantidad de fuerzas básicas polivalentes en los lugares más críticos, por ejemplo, en las fronteras por las que fuera más probable una incursión enemiga. Serían elementos entrenados y bien pertrechados, pero sencillos y poco costosos de mantener.

— Tus fuerzas principales las mantendrías a resguardo en lugares desde los cuales les fuera posible alcanzar en poco tiempo cualquier rincón del territorio; en reserva, pero siempre dispuestas a entrar en acción.

Si fueras tan buen estratega como tu sistema inmunitario, mantendrías en segunda línea los batallones de infantería más potentes, los grandes destructores y los submarinos nucleares, los portaviones, y los escuadrones de cazas y de bombarderos.

Seguramente, muchos de los ataques del enemigo serían incursiones menores, meras tentativas o amagos para medir fuerzas. Así, las fuerzas básicas que habrías dispuesto por doquier serían capaces de repeler por sí mismas la mayor parte de las agresiones de forma rápida, eficaz y económica. Pero, tarde o temprano, algún enemigo desplegará una invasión en toda regla. Ante un ataque semejante, tus fuerzas elementales serán insuficientes, pero aún tendrán que cumplir dos misiones fundamentales. La primera es informar al Estado Mayor con todo detalle de las características de la invasión: dónde ha tenido lugar, cuántos son los enemigos, de qué armas están provistos y hacia dónde se dirigen. Si has sido inteligente, te habrás provisto de un sistema de comunicaciones rápido como la luz y a prueba de bomba. Lo último que se le pide a las fuerzas básicas y polivalentes de defensa es que contengan al enemigo cuanto sea posible. Se trata de una batalla perdida, con muchas bajas y víctimas civiles. De seguro el enemigo conseguirá avanzar mientras llega el grueso del ejército de reserva, pero quizá



Igual que un ejército, tu inmunidad se organiza en líneas defensivas:

- La primera línea de defensa es la inmunidad innata. Está siempre preparada y controla la mayoría de los ataques.
- La inmunidad adquirida es la segunda línea de defensa. Entra en acción cuando la primera empieza a ser superada por los microbios.

la victoria dependa de que los simples soldados consigan retenerlos algunos kilómetros, impedir quizá que alcancen una carretera, un puente vital o una vía ferroviaria. Nada más reciban la noticia de la invasión, el ejército y la armada acuartelados, las fábricas de armamento, deben ponerse en marcha. Pero estas fuerzas se diferencian en algo básico de los ejércitos de contención que luchan desesperadamente en el frente. Como no sabías ni de dónde vendría el enemigo ni de qué armas dispondría, las fuerzas armadas básicas debían ser polivalentes e iguales en todos lados. Es cierto que no son tropas de élite en ningún aspecto concreto, pero pueden pelear en cualquier terreno y venden cara su vida antes de que el enemigo gane cada palmo de terreno. Pero ahora el escenario bélico ha cambiado. Ya sabes quién te ataca, por dónde y con qué. Si quieres ganar la guerra y sobrevivir, has de saber adaptar el contraataque al ataque; si vinieron por mar,

debes enviar a tus destructores, portaviones y bombarderos; si es un ataque terrestre con carros de combate, necesitarás una fuerza superior de tanques, ingenieros de minado y helicópteros antitanque; si una nube de bombarderos se acerca a la capital, has de despegar tus cazas, preparar las baterías antiaéreas y las fábricas deben de trabajar día y noche produciendo la munición apropiada.

Creo que ya habrás entendido hasta qué punto el sistema inmunitario, mejor dicho, los dos sistemas inmunitarios, se parecen a las fuerzas armadas de un país que espera constantemente un ataque extranjero, pero que ignora a qué clase de enemigo se habrá de enfrentar, cuándo atacará y por dónde vendrá. Tu cuerpo es ese país, amenazado de invasión desde el momento en que naciste. El enemigo puede ser banal, como un catarro, o potencialmente mortal, como una meningitis. Podría ser un virus, como

el del herpes o el de la covid-19; una bacteria, como las que causan la mayoría de las neumonías en invierno o las diarreas en verano; un parásito, como el de la malaria, la sustancia tóxica de un alimento en mal estado, como el de la salmonella; o el veneno de un insecto que te ha picado. El enemigo puede llegar a través de una herida en la piel o de una úlcera en algún punto de tu intestino, podrías aspirarlo en la siguiente bocanada de aire o haber estado escondido en un bocado de tu última comida. Microbios, parásitos y tóxicos pueden penetrar a través de las membranas conjuntivas que tapizan los ojos, colarse por las orejas, trepar por las fosas nasales o transmitirse con las relaciones sexuales, alcanzarte con un beso, un apretón de manos o venir transportados por tu mascota. Tu ejército, tu sistema inmunitario ha de estar siempre dispuesto y preparado para todo.

La mayoría de tus encuentros con los elementos extraños que te invaden también son pequeñas escaramuzas. Quizá ese minúsculo corte en un dedo, que no ha necesitado ni una tirita, pero que es una brecha abierta en los muros de tu fortaleza a través de la que se precipitan miles de microbios. O puede que se trate de unos pocos cientos de miles de microscópicos granos de polen que han llegado con el aire inhalado, o todas esas partículas de alquitrán que aspiras con cada calada del cigarrillo. Pues bien, el sistema inmunitario innato es equivalente a las guarniciones de soldados polivalentes. Lidia con esos pequeños ataques docenas de veces continuamente sin que tú seas consciente de ello. Como mucho, habrás observado que los labios de ese corte que te has hecho en el dedo con un folio se han elevado un poco,

que la zona está enrojecida, algo caliente y que te duele si te rozas. Pero desconoces por completo que, en esa pequeña región, en una provincia alejada del país de tu cuerpo, se está librando una verdadera batalla fronteriza entre una docena de variedades de bacterias y un microscópico ejército de células como las que descubrió Metchnikoff en sus larvas de estrella de mar, que se concentran en la herida como acudían a las espinas de mandarina.

Pero los ataques no siempre son tan inocentes. De cuando en cuando, serás objeto de una intentona seria de invasión. Se podría tratar de una cistitis, una infección respiratoria, la gripe, una herida con pus, una otitis o una intoxicación alimentaria. Al igual que un ejército invasor, estas infecciones pugnan por penetrar en nuestro territorio tan rápida y profundamente como les sea posible. Un batallón invasor siempre busca acceder lo más rápido que pueda a una carretera principal que le permita internarse como un rayo en territorio enemigo. La autovía del cuerpo a la que pretenden llegar los batallones de microorganismos es la sangre. Cualquier infección se convierte en una **sepsis**, o **septicemia**, si llega a invadir la sangre; un asunto muy feo, el principio de la pérdida total de la guerra. Si piensas en conocidos tuyos que han muerto, seguro que la mayoría de ellos eran personas mayores y fallecieron a causa de enfermedades cardiovasculares o de cáncer; quizá alguno más joven tuvo un accidente de tráfico. Pero la cosa habría sido muy diferente si hubieras vivido antes de los años cuarenta, como Albert Alexander.