

III. Parasitismo: Agentes Patógenos y Vectores Artrópodos

Las espadas y las lanzas, las flechas, las ametralladoras, e incluso los más potentes explosivos han tenido, de lejos, una menor influencia sobre el devenir de las naciones si los comparamos con el tifus del piojo, la peste de la pulga y la fiebre amarilla del mosquito. La guerra y la conquista y esa existencia en manada, que es un acompañamiento de lo que llamamos civilización, han fijado simplemente el escenario para estos poderosos agentes de la tragedia humana.

Hans Zinsser. *Rats, Lice and History* (1935)

1. Introducción

Durante el proceso evolutivo que han sufrido los diferentes grupos de organismos, éstos han tenido que adaptarse no sólo al ambiente, sino también a las condiciones impuestas por la presencia simultánea de otros organismos. Todos se originaron como seres de vida libre e independiente, pero fueron obligados a competir con otros para su existencia. Sólo aquellos que desarrollaron ajustes y adaptaciones satisfactorias fueron capaces de sobrevivir.

Estas adaptaciones o asociaciones entre organismos de una misma especie o de especies distintas pueden ser ocasionales, temporales, o tener un carácter obligado y permanente, pues si no se establecen así, los individuos mueren. Puede ocurrir que los organismos asociados (simbiontes)¹ obtengan un beneficio mutuo, o mutualismo²; que uno de ellos sea beneficiado y el otro perjudicado pero no de forma significativa², o comensalismo, palabra que proviene del latín *cum mensa* (con mesa); o bien que, como consecuencia de su relación, uno de los organismos resulte claramente perjudicado, como en el caso del parasitismo o la enfermedad infecciosa. El organismo causante del daño se denomina patógeno³.

La ciencia que estudia los parásitos⁴ es la parasitología y la interacción biológica entre dos especies, parásito y huésped, se denomina parasitismo. La mayoría de microorganismos que producen infecciones son estudiados por la microbiología, mientras que la parasitología se encarga de estudiar exclusivamente los parásitos eucariotas a excepción de los hongos.

El parasitismo es un fenómeno general de adaptación, mediante el cual muchas especies eucariotas y procariotas resuelven su existencia en la biosfera. Se puede definir un parásito como todo ser vivo que habita en la superficie o en el interior de otro organismo, denominado hospedador⁵, del que obtiene las sustancias nutritivas y el medio ambiente necesario para su desarrollo y multiplicación, viviendo, por tanto, a sus expensas y causándole un perjuicio. No existen diferencias esenciales entre las enfermedades infecciosas y las parasitarias, pues ambas son fruto de perturbaciones ocasionadas directamente por el agente patógeno o por sustancias liberadas por él.

El parásito siempre es una especie más pequeña y más débil que el hospedador, y si está bien adaptado no lo destruye inmediatamente, pues cuando esto ocurre el parásito deja de obtener beneficio. Por tanto, se encuentran en la naturaleza adaptaciones tan marcadas que sugieren que estas interrelaciones han existido durante mucho tiempo, probablemente por espacio de centenares de miles de años⁶.

¹ La palabra simbiosis proviene del griego *συν* (*sym*, con) y *βίσις* (*biosis*, viviendo), y describe las interacciones que se producen entre las diferentes especies biológicas.

² El organismo que coloniza a un animal sin dañarlo se denomina saprofito.

³ La palabra patógeno proviene del griego *πάθος* (*pathos*, enfermedad) y *γενειν* (*gainein*, engendrar).

⁴ La palabra parásito proviene del griego *παρά* (*para*, al lado de) y *σιτος* (*sitos*, cereales, alimento).

⁵ Con frecuencia se utiliza la palabra “huésped” para designar a un organismo vegetal o animal sobre el cual, o a costa del cual, vive un parásito; y esto es tal vez debido a una primitiva traducción del vocablo inglés “host”, que tanto puede significar “huésped” como “hospedador”. Pero aunque ello puede inducir a confusión, en la terminología científica usada por microbiólogos y parasitólogos no se hace esta distinción y se habla únicamente de huésped y no de hospedante u hospedador.

⁶ El parasitismo puede darse a lo largo de todas las fases de la vida de un organismo o sólo en periodos concretos de su vida. Como todo parásito sigue siendo un organismo, puede verse convertido a su vez en hospedador de una tercera especie. Al parásito que parasita a otro parásito se le denomina hiperparásito.

El carácter patológico de la asociación parasitaria se manifiesta fundamentalmente cuando esta es reciente, como en el caso de la peste y del tifus epidémico, pues cuando lleva tiempo establecida suele llegarse a un equilibrio hospedador-parásito que no es perjudicial para ninguno de los dos⁷.

La estrecha correspondencia entre las evoluciones de parásitos y huéspedes tiene mucho que ver con la especificidad del parasitismo, pues los parásitos son generalmente muy selectivos con respecto a sus huéspedes, llegando en un elevado porcentaje de casos a ser exclusivos de una única especie. De hecho, no hay apenas ninguna planta ni animal, grande o microscópico, que no cuente con algún parásito propio y no compartido. Si a esta característica se añade que algunos parásitos también son hospedadores de otros parásitos, entenderemos que su número sea notablemente alto. Las superficies cutáneas y mucosas (piel, tracto orofaríngeo, respiratorio, gastrointestinal, urogenital y epitelio conjuntivo-corneal) representan los espacios en los cuales el huésped tiene contacto con el espacio exterior y constituyen el lugar de entrada para las especies patógenas.

Se denomina infección a la presencia y multiplicación de microorganismos en los tejidos del hospedador; ahora bien, la respuesta de éste a la infección es muy variable y depende de las interacciones de muchos factores propios del hospedador y del agente patógeno. Puede oscilar desde la simple colonización de un epitelio al cual los microorganismos se hayan adherido y donde se reproducen sin producir daño tisular ni sintomatología, hasta la enfermedad manifiesta. La enfermedad infecciosa es pues la expresión clínica de la infección e indica que los microorganismos no sólo están presentes y se multiplican, sino que además provocan en el hospedador alguna perturbación no preexistente y aparecen signos y síntomas de enfermedad. Produce alteraciones macroscópicas y microscópicas en los órganos y tejidos y desencadena la activación de los mecanismos de defensa del organismo.

Esta enfermedad puede ser localizada, limitándose a una zona circunscrita, o generalizada, cuando pasa a afectar todo el organismo a través del torrente sanguíneo. En este caso puede ocasionar un cuadro de sepsis, que sería la respuesta inflamatoria sistémica (SRIS) provocada por la invasión masiva que origina una infección grave. El término enfermedad transmisible puede considerarse sinónimo de enfermedad infecciosa, ya que designa aquellos procesos patológicos que pasan de un hospedador a otro por cualquier tipo de mecanismo.

La predisposición del hospedador a la infección estará condicionada por el grado de su inmunidad adquirida y el estado de sus defensas naturales, ya que el agente patógeno deberá superarlas para llegar a provocar enfermedad. Si no son capaces de hacerlo no son considerados patógenos. En ocasiones, un patógeno de especie puede no afectar a un individuo de la misma especie, aunque en este caso tanto podría ser debido a una inmunidad elevada del individuo como a una virulencia atenuada del propio patógeno⁸.

Los patógenos primarios son los que atraviesan rápidamente las defensas naturales de los tejidos y en el momento de infectar siempre provocan enfermedad. Pero también existen los microorganismos llamados patógenos oportunistas, que pueden coexistir con el hospedador en una tregua que sólo se rompe ocasionalmente, al producirse algún tipo de fallo en los mecanismos de defensa o resistencia.

⁷ El parásito que mata al organismo donde se hospeda es llamado parasitoide.

⁸ Es fundamental entender que la virulencia del patógeno es variable, y esto, combinado con la resistencia del huésped, es lo que provoca una mayor o menor afectación del patógeno. Ninguna enfermedad epidémica ha matado al total de la población, pero sin muerte no existiría evolución en la Tierra.

El número de especies vivientes capaces de infectar al hombre y hacerlo enfermar alcanza varios centenares, con diferencias considerables en sus características. Son agentes patógenos algunos tipos de bacterias, virus, protozoos y gusanos (helminthos)⁹, muchos de ellos desconocidos hasta fechas muy recientes al pasar desapercibidos debido a su tamaño microscópico.

Las bacterias son los organismos más abundantes del planeta, de tamaño pequeño, entre 0,5 y 5 micrómetros ($1\ \mu\text{m} = 10^{-6}$ metros, una milésima de milímetro). Se encuentran en cualquier hábitat terrestre, creciendo en el suelo, en manantiales calientes ácidos, en desechos radioactivos, en el mar o en las profundidades de la corteza terrestre. La palabra bacteria fue acuñada por el científico alemán Christian Gottfried Ehrenberg (1795-1876); proviene del latín “bacterium” y esta del griego βακτηριον (bacterion, bastoncito), debido al aspecto alargado y recto de las primeras bacterias observadas.

Se estima que hay alrededor de 40 millones de células bacterianas en un gramo de tierra y un millón de células bacterianas en un mililitro de agua dulce. Se calcula que en el mundo existe en total unas 5×10^{30} bacterias, y cabe tener en cuenta que un gran número de especies bacterianas no han sido aún descritas, pues solamente la mitad de los Phylum de bacterias conocidas tienen especies que pueden cultivarse en el laboratorio.

Si bien en la antigüedad ya se tenía idea que las enfermedades infecciosas eran causadas por entidades contagiosas que penetraban en el cuerpo humano, no fue hasta finales del siglo XVII que las bacterias se observaron por primera vez. En el año 1683, el naturalista holandés Antonij van Leeuwenhoek, usando un microscopio de lente simple diseñado por él mismo, visualizó espermatozoos vivos, eritrocitos y bacterias, a las que llamó “animalculus”. El resultado de sus investigaciones fue publicado en diversas cartas dirigidas a la *Royal Society* de Londres y significó el descubrimiento de un mundo nuevo en el que se visualizaban organismos minúsculos. Robert Hooke, contemporáneo suyo, también realizó importantes observaciones con ayuda del microscopio y dijo, en 1665, que “*no hay nada tan pequeño que pueda escapar a nuestras observaciones*”. Mucho más tarde, sobre todo a partir de los trabajos de Louis Pasteur¹⁰, se tuvo la certeza que estos “*animalculus*”, ahora llamados microorganismos, eran los causante de muchas enfermedades.

Las bacterias presentan una amplia variedad de tamaños y formas, desde un tamaño 10 veces inferior al de las células eucariotas (0,5-5 μm), hasta los 0,5 mm., visibles a simple vista. Entre las más pequeñas se encuentran las del género *Mycoplasma*, que miden sólo 0,3 μm , igual que los virus más grandes.

La forma de las bacterias es muy variada y a menudo una misma especie adopta distintas morfologías: pueden tener forma de coco (del griego κόκκος, kóko, grano), esférica o bacilo (del latín *baculus*, varilla), o de bastoncillo; formas helicoidales o incluso tetraédricas o cúbicas. Toda esta variación es determinada en última instancia por la composición de la pared celular y del citoesqueleto, lo cual es de gran importancia pues puede influir en su capacidad para adquirir nutrientes, unirse a superficies o moverse en presencia de estímulos.

⁹ Virus, protozoos y gusanos serán tratados en el volumen II.

¹⁰ Louis Pasteur (1822-1895) demostró que todo proceso de fermentación y descomposición orgánica se debe a la acción de organismos vivos y que el crecimiento de microorganismos en caldos nutritivos no era debido a la generación espontánea. Todo ser vivo procede de otro ser vivo anterior, *omne vivum ex vivo*, el principio científico que significó la base de la teoría germinal, el cambio conceptual sobre los seres vivos y el inicio de la bacteriología moderna.

Las bacterias son organismos procariotas, sin núcleo ni membranas que delimiten sus orgánulos internos. Presentan un nucleoide, una estructura elemental que contiene una gran molécula circular de ADN. En el citoplasma se pueden apreciar plásmidos, pequeñas moléculas circulares de ADN que coexisten con el nucleoide. Contienen genes que son comúnmente usados para su reproducción sexual, vacuolas (gránulos que contienen sustancias de reserva) y ribosomas (complejos supramoleculares encargados de ensamblar proteínas a partir de la información genética que les llega del ADN transcrita en forma de ARN mensajero (ARNm).

Poseen en general una pared celular similar a la de plantas u hongos, compuesta por peptidoglicanos, llamados antiguamente mureína. Esta sustancia está compuesta por cadenas de polisacáridos enlazadas por péptidos que contienen unos aminoácidos que no se encuentran en las proteínas, de manera que protegen la pared celular de la mayoría de las peptidasas. Muchos antibióticos son efectivos sólo contra las bacterias pues inhiben la formación de esta pared celular.

Existen dos tipos diferentes de pared celular bacteriana: Gram-positiva y Gram-negativa, las más numerosas. Estos nombres provienen de la reacción de las paredes celulares a la tinción de Gram¹¹, un método tradicionalmente empleado para la clasificación de las especies bacterianas. Las bacterias Gram-positiva tienen una pared celular gruesa que contiene numerosas capas de peptidoglicano y ácido teicoico. En cambio, las bacterias Gram-negativa tienen una pared relativamente fina, consistente en unas pocas capas de peptidoglicano rodeadas por una segunda membrana lipídica que contiene lipopolisacáridos y lipoproteínas.

En las bacterias, como en la mayor parte de los organismos unicelulares, el aumento en su tamaño, el crecimiento, va ligado a la reproducción por división celular. Las bacterias crecen hasta un tamaño fijo y después se reproducen por fisión binaria, un tipo de reproducción asexual. En condiciones beneficiosas, una bacteria Gram-positiva puede dividirse cada 20-30 minutos y una Gram-negativa cada 15-20 minutos.

Las bacterias patógenas son una de las principales causas de enfermedad y mortalidad humana, causando infecciones como peste, tifus epidémico, tétanos, fiebre tifoidea, difteria, sífilis, cólera, lepra o tuberculosis.

Las infecciones bacterianas pueden tratarse con antibióticos, que se clasifican como bactericidas si matan bacterias, o como bacterioestáticos si sólo detienen su crecimiento. Existen muchos tipos de antibióticos y cada uno de ellos inhibe un proceso que difiere en el patógeno con respecto al huésped. Los patógenos que son transmitidos por artrópodos pertenecen a los Phylum Firmicutes, Proteobacteria¹² y Spirochaetes.

¹¹ La técnica de tinción de membranas de bacterias de Gram fue desarrollada por el médico y bacteriólogo danés Hans Christian Gram (1853-1938). Está compuesta por una solución de anilina y violeta de genciana a la que se aplica un tratamiento con lugol (yodo en yoduro potásico acuoso) y etanol. Gram observó que algunas bacterias retenían el colorante mientras otras no lo hacían. Si la bacteria conserva el tinte y se torna de color violeta es Gram-positiva, con una pared celular gruesa; si el tinte no se mantiene y se torna de color rojo, la bacteria es Gram-negativa, con una pared celular más fina, de una composición diferente.

¹² Proteobacteria es uno de los principales grupos de bacterias en donde están incluidos una gran variedad de patógenos, como *Escherichia* (diarrea), *Salmonella* (fiebre tifoidea), *Vibrio* (cólera), *Helicobacter* (úlceras) o *Neisseria* (gonorrea, meningitis). Este grupo se establece principalmente en términos de secuencia de ARN y se denominan así, "Proteo", en honor al dios griego Proteus, debido a la gran diversidad de formas que se encuentran en ellas, pues este podía convertirse no sólo en animal, sino en elemento, como agua o fuego.

Las previsiones de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para la salud de la humanidad en el siglo XXI son optimistas, pues la esperanza de vida será mayor y la calidad de vida mejor, reduciéndose las enfermedades y discapacidades asociadas. La población mundial en 2008 era aproximadamente de 6.800 millones de personas, y aumentaba 80 millones cada año, de manera que en el 2025 sobrepasará los 8.000 millones, concentrándose la mayoría de ellos, el 60%, en las grandes áreas urbanas.

Actualmente, aproximadamente el 33% de las muertes se debe a enfermedades infecciosas, el 30% a enfermedades cardiovasculares y el 10% al cáncer. Entre las primeras, las causas más frecuentes de muerte son las infecciones respiratorias, la tuberculosis, la diarrea, la malaria y las infecciones por HIV/sida.

La malaria o paludismo, la cuarta causa de muerte en el mundo, de la cual fallecen anualmente alrededor de un millón de personas, es transmitida por un vector artrópodo, el mosquito. Pero éste y otros artrópodos son capaces de transmitir numerosas y graves enfermedades y son los responsables de las grandes epidemias mortales que han afectado al hombre a lo largo de la historia.

2. Los vectores artrópodos

La epidemiología es la ciencia que estudia la distribución de la enfermedad y los agentes que la causan, tanto en humanos como en poblaciones animales. El número de especies vivientes capaces de infectar al hombre y enfermarlo alcanza varios centenares, con diferencias considerables en las características de cada uno de ellos.

En muchas ocasiones, los agentes patógenos no pueden acceder directamente a su huésped definitivo y necesitan la ayuda de los llamados vectores o transmisores. En el caso que nos interesa se trata de distintas especies de la Clase Artropoda, insectos y arácnidos (garrapatas y ácaros), conocidos desde los tiempos prehistóricos. Ellos se convierten en portadores de un parásito¹³, más bien hiperparásito, pues dadas sus costumbres hematófagas, son también parásitos obligados de distintos vertebrados.

Un parásito hematófago es aquel que se alimenta de la sangre¹⁴ de su hospedador, el cual lo provee con los nutrientes necesarios para llevar a cabo su metabolismo, metamorfosis y reproducción. Presenta diversas adaptaciones específicas para su modo de vida, desde un contacto íntimo, como en el caso de los piojos, a un contacto intermitente, como en el caso de las pulgas o de las hembras de algunas especies de mosquito, pues sólo ellas tienen capacidad de chupar sangre.

En función de los estudios de las secuencias de ARNr, las Proteobacteria se dividen en cinco grupos, considerados clases, denominados con las letras griegas α , β , γ , δ y ϵ . Entre las alfa-proteobacteria se encuentra la *Rickettsia prowazekii*, responsable del tifus exantemático; y entre las gamma-proteobacteria, la *Yersinia pestis*, causante de la peste.

¹³ Los vectores no producen enfermedades: los responsables de causarlas son parásitos suyos, microorganismos que a su vez son agentes patógenos. La enfermedad sería la respuesta del huésped a la invasión o infección de este parásito microscópico, que puede ocurrir tanto en el huésped vertebrado como en el artrópodo.

¹⁴ Para ello, es indispensable traspasar la barrera física de la piel, el estrato córneo que constituye la capa más externa de la epidermis y que está formado por restos celulares fundidos y aplanados, compuestos fundamentalmente por queratina, una proteína fibrosa.

Existen artrópodos que sólo causan molestias por su aspecto o picadura; otros provocan reacciones locales (por contacto) o generales (por inhalación de sus restos). Algunos vehiculan enfermedades infecciosas de forma meramente pasiva, no específica¹⁵; otros son agentes necesarios para la transmisión de enfermedades de diverso origen, y su importancia es primordial, pues en su ausencia no sería posible contraerlas.

Los animales vertebrados pueden adquirir el patógeno por diversas vías: la infección “directa o inoculadora” se produce cuando el agente infeccioso es introducido más o menos activamente por el mismo parásito, ya sea por picadura (paludismo, dengue, etc.); por presión de la parte posterior de su tracto digestivo (peste); por escape del parásito a través de su pared corporal (ciertas filarias), o por contaminación de algunas piezas bucales (tularemia). La infección “indirecta” sobreviene cuando la entrada en el organismo de estos agentes patógenos es facilitada por sus heces infestantes, defecadas sobre la piel durante su picadura, y penetración subsiguiente (tifus exantemático, mal de Chagas); por fluidos infectantes que pueden ser excretados por las glándulas coxales (virus y espiroquetas encontrados en garrapatas); por aplastamiento del artrópodo que se encuentra sobre la piel (Borreliosis al aplastar un piojo).

Los parásitos, en función del lugar que ocupen en el cuerpo del huésped, pueden clasificarse en endoparásitos, si viven en su interior (es el caso de los patógenos), y ectoparásitos si viven fuera¹⁶, como pulgas, piojos, mosquitos, garrapatas y algunas especies de moscas y chinches.

Las características principales y coincidentes de estos ectoparásitos hematófagos, vectores o transmisores de agentes patógenos, y por tanto, responsables de propagar enfermedades, son las siguientes:

- 1) Aparato bucal particular, en forma de pico perforador o mandíbula que roe la piel y lo habilita para atravesar los tegumentos de su huésped.
- 2) Adaptaciones bioquímicas que faciliten el flujo de sangre (anticoagulantes).
- 3) Administración de analgésicos locales que engañan a la víctima y evitan que la picada sea percibida.
- 4) Percepción generalmente química (olfativa) para detectar a sus huéspedes.
- 5) Rasgos particulares de la conducta, como la inmovilidad mientras se alimentan.

Un artrópodo hematófago necesitará hacer, a lo largo de su vida, al menos dos ingestiones de sangre para transmitir un parásito: la primera para adquirirlo de su huésped reservorio¹⁷, y la segunda para transmitirlo, aunque en ocasiones el artrópodo puede contraer el patógeno de forma directa en el ambiente donde reside.

¹⁵ Los vectores pasivos se limitan al traslado mecánico del microorganismo por medio de un artrópodo, ya sea por contaminación de sus patas, trompas o por el paso a través de su tracto gastrointestinal, sin multiplicación o desarrollo del agente patógeno, como es el caso de algunas moscas.

¹⁶ Los parásitos que poseen una parte de su cuerpo mirando hacia el exterior y otra anclada profundamente en los tejidos de su huésped son llamados mesoparásitos: es el caso de piojos, garrapatas y pulgas.

¹⁷ Se entiende por reservorio a cualquier animal vivo que, en condiciones naturales, proporciona subsistencia y alojamiento a algún agente patógeno, el cual deberá estar vivo y ser transmisible. Para asegurarse que un determinado animal es hospedador primario o reservorio, será necesario comprobar que la población del agente patógeno lo necesita para sobrevivir como especie, y para ello deberá permitir forzosamente que el reservorio viva el tiempo suficiente para poder completar su ciclo vital dentro de él, ya sea de forma parcial o total.

Las enfermedades transmitidas de este modo requieren, por tanto, la participación del parásito patógeno, del artrópodo vector o transmisor y del vertebrado hospedador o receptor. Los huéspedes parasitados que son capaces de transmitir el agente patógeno son llamados infecciosos, y aquellos huéspedes capaces de mantener el patógeno sin desarrollar síntomas clínicos pero que pueden transmitirlo a otros de forma directa o indirecta son llamados huéspedes portadores.

Los patógenos como virus y bacterias, que se reproducen de forma asexual, mantienen básicamente las mismas formas de vida tanto si están infectando a huéspedes artrópodos como si lo hacen a vertebrados. Sin embargo, patógenos con reproducción sexual y altamente evolucionados, como protozoos y gusanos, presentan distintos estadios de crecimiento y maduración en función del huésped que parasiten.

Entre patógenos con reproducción sexual, el huésped en donde se lleva a cabo la unión gametocítica, el que alberga la forma adulta o sexuada, es llamado huésped definitivo, mientras que el huésped intermedio será aquel en donde se produzca la reproducción asexual o que sirva de alojamiento a las formas larvarias; y tanto vertebrados como artrópodos pueden servir como huéspedes definitivos o intermedios, dependiendo del ciclo de vida del parásito.

Por poner un ejemplo, los seres humanos son huéspedes definitivos del gusano *Wuchereria bancrofti*, causante de un tipo de filariasis, puesto que los machos y hembras adultas copulan en el sistema linfático del hombre, mientras que el mosquito vector, *Culex quinquefasciatus*, es huésped intermedio en el cual se desarrollan sin reproducirse.

El caso contrario se produce con algunos protozoos del género *Plasmodium*, causantes de la malaria o paludismo. Los seres humanos son su huésped intermedio, pues la reproducción asexual ocurre en el huésped humano, y los gametocitos que se generan en él sólo se unen sexualmente en el intestino de sus huéspedes definitivos, ciertas especies de mosquitos del género *Anopheles*.

Algunas especies, o incluso individuos dentro de una misma especie, pueden tener inmunidad natural, ser resistentes y rechazar la infección. Por ejemplo, los humanos no se infectan con parásitos de la malaria aviar, a pesar que algunos mosquitos del género *Culex*, infectados por ese parásito, se alimentan con frecuencia de sangre humana. Por el contrario, los mosquitos no se infectan con los virus del sarampión o de la poliomielitis que afectan al hombre, aunque estos patógenos hayan sido ingeridos por ellos al alimentarse de la sangre de algún huésped virémico.

Los anticuerpos, también conocidos como inmunoglobulinas, son glucoproteínas (proteínas unidas a uno o varios hidratos de carbono) del tipo gamma globulina, usadas por el sistema inmunitario del huésped para identificar y neutralizar elementos extraños como bacterias o virus. La inmunoglobulina G (IgG) es la más común y comprende el 85% de las inmunoglobulinas presentes en el suero de individuos normales¹⁸. Existen individuos que se infectan con patógenos y al recuperarse de la enfermedad adquieren inmunidad, que puede ser pasajera o para toda la vida, parcial o completa. En el caso de una respuesta inmune parcial, si la infección vuelve a establecerse en aquel organismo, la severidad de la infección es habitualmente mucho menor.

¹⁸ El suero sanguíneo o suero hemático es el componente de la sangre que resulta de la coagulación de ésta y de la eliminación de la fibrina y otros componentes. Se define como la parte líquida del plasma sanguíneo, y contiene numerosos efectores biológicos en solución, como albúminas, globulinas, sales, enzimas, hormonas, vitaminas, lípidos, hidratos de carbono, hormonas, aminoácidos, etc.

Uno o más huéspedes primarios vertebrados resultan esenciales para mantener la transmisión de patógenos. En cambio, los huéspedes secundarios o incidentales no son indispensables para esta transmisión, pero sí resultan fundamentales, pues contribuyen a su amplificación, aumentando su número y por tanto la cantidad de vectores infectados. El huésped reservorio no desarrolla habitualmente ninguna enfermedad aguda, pero permanece infectado durante un largo periodo de tiempo, beneficiando el desarrollo del patógeno y siendo fuente de infección para sus vectores.

Para que el patógeno goce de un ambiente favorable, es necesario que los huéspedes vertebrados sean numerosos y proporcionen alimentación frecuente para sus vectores. Además, la temporalidad del huésped, su actividad diaria y la selección del hábitat determinarán la disponibilidad en tiempo y espacio de los vectores en búsqueda de huéspedes. Por ejemplo, la larva del gusano del que se ha hablado anteriormente, *Wuchereria bancrofti*, circula por el torrente circulatorio periférico de su huésped humano durante unas horas concretas de la noche, las cuales coinciden con el biorritmo de la picada de *Culex quinquefasciatus*, su mosquito vector.

Una vez expuesto al vector, el huésped primario debe ser susceptible a la infección y permitir el desarrollo y reproducción del patógeno. Sin embargo, existen los llamados huéspedes terminales, “sin salida”, que o bien no alcanzan el nivel de infección mínimo para contaminar al vector, o bien se agrava su estado de salud y muere antes que el parásito pueda completar su desarrollo o sea transmitido a otro organismo¹⁹.

El vector debe ser susceptible a la infección que recibe de su propio parásito y sobrevivir durante el suficiente tiempo para que éste complete su multiplicación y desarrollo. Pero no todos los artrópodos que ingieren patógenos permiten la maduración, diseminación y transmisión del parásito. Por ejemplo, el mosquito *Culex quinquefasciatus* se infecta ocasionalmente con el virus de la encefalitis equina occidental, pero éste no suele escapar de su mesenterón (estómago medio del insecto) y por tanto rara vez puede transmitirlo.

Todos los vectores artrópodos son poiquilotérmicos o de “sangre fría”, y entran en contacto con su huésped vertebrado homeotérmico de “sangre caliente” de forma intermitente, dependiendo de la temperatura ambiente. Esta es la razón por la cual la transmisión de muchos patógenos se sucede con mayor celeridad en los trópicos más que en las zonas templadas; y en estas, progresa más rápidamente durante el verano.

Una vez que el huésped ha sido infectado, el vector debe exhibir una probabilidad alta para realimentarse de uno o más huéspedes y asegurarse la transmisión del parásito patógeno. Los vectores que se alimentan de huéspedes terminales limitan la efectividad de la transmisión y además pueden resultar fatales para éstos, pues la relación parásito-huésped no ha coevolucionado hasta el punto que el huésped terminal pueda tolerar tal infección. Por ejemplo, la encefalitis equina occidental es una enfermedad virémica grave para el hombre y transmitida por mosquitos. El caso es que el huésped humano es terminal, pues rara vez produce una viremia suficientemente importante como para infectar a los mosquitos vectores.

¹⁹ El término zoonosis se aplica en estos casos. Un ejemplo de ellos es el de distintas especies de mosquitos del género *Anopheles* que, contaminados de malaria humana, pican al ganado, un huésped terminal para *Plasmodium*, el protozoo parásito y patógeno para el hombre.

La transmisión de parásitos por medio de vectores puede ser vertical u horizontal: en el primer caso, los parásitos maduran o se multiplican en el interior de los vectores. La transmisión horizontal se refiere al paso de parásitos entre vectores y huéspedes vertebrados y es esencial para el mantenimiento de casi todos los parásitos que necesitan un vector. Se lleva a cabo de dos maneras: a través de las llamadas “rutas anteriores”, por picada o mordida, cuando los parásitos son liberados de las partes bucales o de las glándulas salivares durante su alimentación: es el caso de la peste²⁰, malaria, virus de las encefalitis, filariasis, etc.

La otra transmisión se realiza a través de las “rutas posteriores”, por defecación, en la cual el patógeno permanece en el intestino del parásito vector y es transmitido vía heces fecales, como en el caso del tifus exantemático, en la fiebre recurrente o en la enfermedad de Chagas.

Algunos parásitos son exclusivos del hombre, en tanto que otros lo son tanto del hombre como de diversos vertebrados, estos últimos considerados como reservorios de las parasitosis que comparten con el ser humano.

De acuerdo con esto, las parasitosis humanas pueden separarse en dos categorías básicas: por un lado la antroponosis, parasitosis debidas a parásitos oioxenos²¹, que sólo pueden vivir en una especie hospedadora y se desarrollan en el hombre como único hospedador vertebrado. Entre ellas podría citarse el paludismo humano, algunas formas de filariasis, tifus epidémico o exantemático, etc.

La transmisión amplia de una antroponosis con aumento en el número de casos humanos diagnosticados durante un periodo específico de tiempo, se conoce como epidemia²². Cuando los casos humanos reaparecen consistentemente en el tiempo y en el espacio, la transmisión recibe el nombre de endémica. Y cuando la afectación de una enfermedad infecciosa se extiende a lo largo de un área geográficamente extensa, recibe el nombre de pandemia, aunque etimológicamente hablando debería cubrir el mundo entero y afectar a toda la población²³.

La otra categoría de parasitosis sería la llamada zoonosis, debida a parásitos de especificidad menos estricta y entre cuyos hospedadores vertebrados ocasionales se encuentra el hombre. Se trataría de enfermedades de animales que, en cuanto los niveles de transmisión enzoóticos (dentro del animal) aumentan, provocan una epizootia, la epidemia o explosión de la enfermedad entre animales. La peste sería un ejemplo de enfermedad iniciada en otro mamífero, la rata, y transmitida posteriormente al hombre, a través de las pulgas.

²⁰ El bacilo de la peste permanece en su más eficiente vector, distintas especies de pulgas, y eventualmente bloquea su intestino, de manera que esta regurgita la sangre que absorbe pero no puede digerirla, transmitiendo grandes cantidades de bacterias patógenas a su huésped y muriendo de hambre.

²¹ En el caso del hombre, estos vectores suelen alimentarse selectivamente de él y están asociados a ambientes domésticos o peridomésticos.

²² Epidemia proviene del griego ἐπί (epi, sobre, junto a) y δῆμος (démos, pueblo).

²³ Pandemia proviene del griego παν (pan, todo) y δῆμος.

3. El descubrimiento de los transmisores

Los estudios epidemiológicos se iniciaron en las postrimerías del siglo XIX, cuando los artrópodos que se alimentan de sangre fueron identificados por primera vez como vectores de patógenos a humanos y animales.

El inglés Patrick Manson, el padre de la medicina tropical, mientras trabajaba en China (1878), fue el primero que demostró y documentó la transmisión de un patógeno a través de un artrópodo chupador de sangre: el mosquito *Culex pipiens*, vector del gusano *Wuchereria bancrofti*. Con posterioridad a este descubrimiento, se hizo más claro y evidente el papel que jugaban diversos artrópodos chupadores de sangre a la hora de transmitir patógenos.

En 1881, el médico cubano Carlos Finlay propuso la teoría que el mosquito *Aedes aegypti* era el transmisor del virus de la fiebre amarilla²⁴. Sin embargo, no fue hasta 1900 que el americano Walter Reed, encabezando la Comisión Norteamericana de la fiebre amarilla en Cuba, probó que ese mosquito era efectivamente el vector de la enfermedad.

En 1890 el médico norteamericano Theobald Smith descubrió que el protozoo *Babesia bigemina* era el patógeno de la llamada fiebre de Texas, que afectaba la ganado vacuno. Un año más tarde descubrió que los vectores de la enfermedad eran garrapatas del género *Boophilus*.

En 1897, el japonés Masanori Ogata encontró la bacteria que causaba la peste, *Yersinia pestis*, en las pulgas de las ratas, y sugirió que estas eran los vectores de la enfermedad, lo cual fue demostrado al año siguiente por el francés Paul-Louis Simond y confirmado por las pruebas de J.C. Gauthier y A. Raybaud en Marsella en 1903. Tres años más tarde, en 1906, fue aceptado por la Comisión Británica para el estudio de la peste en la India (*The Plague Commission in India*), lo cual significaba el reconocimiento definitivo del mundo científico. El bacilo había sido aislado en 1894, primero por Shabasaburo Kitasato, y de manera inmediata pero independiente, por Alexandre Yersin.

Más tarde, en 1898, el inglés Ronald Ross²⁵, trabajando en la India, demostró el papel que juegan los mosquitos como vectores de los patógenos de la malaria aviar, pasando el parásito de gorriones enfermos a sanos. En el mismo año, el desarrollo cíclico de los patógenos de la malaria en el mosquito *Anopheles* fue descrito por el italiano Giovanni Battista Grassi²⁶.

Otros descubrimientos importantes continuaron durante los primeros años del siglo XX. En 1903, el militar y médico británico David Bruce demostró que las moscas “tsé-tsé”, del género *Glossina*, eran las transmisoras del protozoo que provoca la enfermedad del sueño o tripanosomiasis africana.

²⁴ En 1848, Joseph Clark Nott ya sugirió, aunque sin ningún tipo de evidencias, que el mosquito podía ser el transmisor de la fiebre amarilla y en 1864 el propio Finlay ya había opinado en el mismo sentido.

²⁵ En 1880, el médico francés Charles-Louis Laveran observó por primera vez patógenos de malaria en la sangre, los protozoos del género *Plasmodium*.

²⁶ En 1883, el médico norteamericano de origen inglés Albert Freeman Africanus King ya había asociado la malaria con el mosquito, aunque no lo pudo probar.

En 1906, el americano Howard Taylor Ricketts demostró que la garrapata *Dermacentor andersoni* era el vector de *Rickettsia rickettsii*, el agente causal de la llamada fiebre de las Montañas Rocosas. En el mismo año, Thomas Lane Bancroft demostró que el mosquito *Aedes aegypti*, transmisor de la fiebre amarilla, también lo era del dengue.

En 1907, Frederick Percival Mackie, trabajando en la India, demostró que los piojos del cuerpo humano, a través de sus deyecciones, eran vectores de *Borrelia recurrentis*, la bacteria que causa la fiebre recurrente.

En 1909, el brasileño Carlos Chagas demostró que el chinche de la familia Reduviidae *Pastrongylus megistus* era el vector del protozoo *Trypanosoma*, causante de la tripanosomiasis americana, conocida como enfermedad de Chagas²⁷.

En el mismo año, el francés Charles Henri Nicolle anunció que había probado que el piojo del cuerpo humano, *Pediculus humanus humanus*, era el vector de *Rickettsia prowazekii*, el agente patógeno que causaba el tifus epidémico o exantemático.

En total, se trató de un periodo de poco más de treinta años, considerado como la época de oro de la epidemiología y la entomología médico-veterinaria, durante la cual fueron enterrados numerosos mitos que persistían desde la más remota antigüedad.

²⁷ El trabajo de Carlos Chagas resultó excepcional en la historia de la medicina puesto que fue el único investigador capaz de describir completamente una nueva enfermedad infecciosa, su patógeno, su vector transmisor, su huésped, sus manifestaciones clínicas y su epidemiología.

Tabla I. Enfermedades transmitidas por artrópodos (insectos y garrapatas)

Artrópodo vector o transmisor		Agente causal o patógeno	Enfermedades producidas en humanos
Insectos	Pulgas (Siphonaptera)	Bacterias	Peste; Tifus murino; Tularemia
		Gusanos (Nematoda)	Teniasis canina; Teniasis nana
		Infestación de individuos	Tungiasis (causada por la nigua)
	Piojos (Phthiraptera)	Bacterias	Fiebre de las Trincheras o borreliosis por piojos (también fiebre quintana o fiebre de Bolina, de Meuse o de His-Werner); Fiebre recurrente epidémica o borreliosis recurrente por piojos (también peste amarilla, fiebre amarilla de la hambruna, fiebre de vagabundos o fiebre tifoidea biliosa); Tifus exantemático o epidémico.
		Infestación de individuos	Pediculosis
	Mosquitos (Diptera)	Virus	Dengue; Encefalitis de California; de Rocio; de San Luis; del río Ross; del valle de Murray; Encefalitis Equina Occidental; Equina Oriental; Equina Venezolana; Encefalitis Japonesa; Fiebre amarilla; Fiebre Banzi; Busqara; Calovo; Chikungunya; del Chagres; del Nilo Occidental; del Valle del Rift; de los Everglades; Guaroa; Ilesha; Inkoo; Ilheus; Mayaro; Mucambo; Oropuche; O'nyong-nyong; Pappataci; Sepik; Sindbis; Spondweni; Tahina.
		Bacterias	Bartonelosis (Fiebre de Oroya, verruga peruana o enfermedad de Carrión)
		Protozoos	Malaria o Paludismo; Botón de Oriente; Úlcera de las Chiclas o Leishmaniosis mexicana; Espundia o Leishmaniosis brasiliense; Kala-azar o Leishmaniosis visceral; Leishmaniosis africana oriental; Leishmaniosis panamense; Pian o Leishmaniosis de las Guyanas; Uta o Leishmaniosis peruana, Mansonelosis.
		Gusanos (Nematoda)	Filariasis diversas; Oncocercosis o "ceguera de los ríos".
	Chinches (Heteroptera)	Protozoos	Tripanosomiasis americana o mal de Chagas
	Moscas (Diptera)	Virus	Poliomelitis, Hepatitis A.
		Bacterias	Tularemia; Fiebre tifoidea; Disentería bacilar (Shigelosis); Cólera; Carbunco; Tuberculosis; Tracoma, Gastroenteritis, Meningitis.
		Protozoos	Disentería amebiana; Tripanosomiasis africana o enfermedad del sueño.
		Gusanos (Nematoda)	Loiasis.
		Infestación de larvas	Miasis cutáneas

Arácnidos	Garrapatas (Subclase Acarina)	Virus	Encefalitis Centroeuropea y Encefalitis Rusa de primavera y de verano; Encefalitis de Powasan; Encefalomiелitis infecciosa ovina o “mal del Brinco”; Fiebre de Kysanur; Fiebre del Colorado; Fiebre hemorrágica de Crimea-Congo; Fiebre hemorrágica de Omsk; Fiebre Thogotovirus.
		Bacterias	Ehrlichiosis; Enfermedad de Lyme; Fiebre botonosa mediterránea; Fiebre de las Montañas Rocosas; Fiebre Q; Fiebre recurrente endémica o espiroquetosis; Fiebre siberiana o del norte de Asia; Tifus de Queensland; Tularemia.
		Protozoos	Babesiasis
	Ácaros	Bacterias	Tifus de las malezas, fiebre fluvial del Japón o fiebre tsutsugumushi; Rickettsiosis pustulosa.
		Infestación	Sarna o escabiosis; Eritema otoñal o trombidiosis
Crustáceos (Subclase Copepoda)	<i>Cyclops</i> (crustáceo de agua dulce)	Gusanos (Nematoda)	Gusano de Guinea (Dracunculiasis)