

Capítulo II

Epidemiología de Enfermedades Originadas por Vectores

Este capítulo presenta la terminología más relevante varios temas que se cubren en el curso. Los entomólogos y veterinarios, juegan un papel clave en el proceso de aportar a entender la *epidemiología* de enfermedades originadas por vectores artrópodos y son un componente importante en los programas de investigación, monitoreo y control de parásitos de origen vectorial. Epidemiología = estudio de la distribución y agentes causantes de enfermedades. Un manejo exitoso es dinámico y requiere de diligencia continua y de investigación, para un mantenimiento exitoso del programa. Y cuando hablamos de éxito, estamos haciendo referencia a su efectividad en disminuir o eliminar el problema. La entomología veterinaria ubica en un plano primario la salud animal y la pública durante periodos de guerra, hambruna y de desastres naturales, eventos que tienden a interrumpir los programas de control, desplaza poblaciones a áreas con problemas y en términos generales tiende a aumentar la exposición de la población a los vectores. Históricamente, el desplazamiento de poblaciones no inmunizadas, como la de soldados, a áreas con la prevalencia de ciertas enfermedades originadas por vectores, ha tenido efectos devastadores. La transportación global y el comercio, continuamente introducen parásitos de humanos y otros animales y sus vectores, a nuevas áreas geográficas, poniendo poblaciones previamente libres de estas plagas, al riesgo de infestación e infección.

Aunque hay una gran variación en los métodos investigativos entre la amplia gama de parásitos originados por vector, los conceptos básicos de ecología unifican el patrón de información necesaria para entender la epidemiología de una enfermedad originada por un vector. La información progresa en un ruta que va; del descubrimiento del parásito como el agente causante de la enfermedad, a la identificación del método de transmisión entre vectores y el huésped vertebrado, al monitoreo, las predicciones, e idealmente y funcionalmente al control.

Durante el proceso de descubrimiento, el patrón de casos en el tiempo y en el espacio, y la identificación del agente causante, apuntan a si un artrópodo puede ser el responsable de la transmisión. La incriminación definitiva del vector requiere de la combinación de investigación de campo y de laboratorio que determina la abundancia del vector por unidad de tiempo y espacio, patrones de selección del huésped, razones de infección y competencia de vectores. Aunque estudios de corto plazo rápidamente determinan el método de transmisión, establecer el ciclo de transmisión y los mecanismos de mantenimiento entre temporadas, requieren años de cuidadoso y laboriosa investigación de ecología y de experimentación de laboratorio. Un monitoreo efectivo y programas de control son implementados en una forma más exitosa luego de que los patrones de mantenimiento, amplificación y transmisión epidémicas son descritos. Desafortunadamente, el descubrimiento de un problema, muy pocas veces sigue la ruta antes descrita. Con frecuencia el monitoreo y el manejo de casos progresa más rápido que el descubrimiento del patógeno o su vía de transmisión. Por tal razón procedemos en este capítulo a discutir los conceptos básicos para comprender la epidemiología de enfermedades originadas por vectores. Siendo una disciplina moderna,

la epidemiología trata con la historia natural y la diseminación de enfermedades entre humanos y poblaciones de animales. Las enfermedades originadas por vectores consisten en forma mínima con una tríada que incluye; (a) el artrópodo como vector, (b) un huésped vertebrado y (c) el parásito. La dispersión de patógenos por artrópodos es particularmente compleja, ya que además de las interacciones entre el huésped vertebrado y el parásito, se requiere de un artrópodo para la transmisión del parásito al huésped no infectado. Factores ambientales como temperatura y cantidad de lluvia afectan el proceso, impactando la razón de maduración del parásito en el huésped artrópodo, al igual que la abundancia en tiempo y espacio.

Un *vector* es un artrópodo responsable de la transmisión de parásitos entre vertebrados. Los vectores transmiten parásitos no enfermedades. *Enfermedad* es la respuesta del huésped a la invasión o infección con un parásito. Un *parásito* es un organismo, incluyendo virus, bacteria, protozoos y helmintos que dependen del huésped para poder sobrevivir. Los parásitos pueden o no causar una enfermedad. Cuando un parásito hiere el huésped y le causa una enfermedad, se le llama un *patógeno* o un *agente infeccioso*. Una *enfermedad originada por un vector* es una causada por un patógeno que es transmitido por un artrópodo. *Parásitos facultativos* son aquellos que tienen formas de vida libre y parasítica; mientras que los *parásitos obligados*, son totalmente dependientes del huésped para sobrevivir. *Ectoparásitos* viven en o fuera del huésped, mientras que los *endoparásitos* viven dentro del huésped. Cuando interactúan con el huésped, los ectoparásitos producen una *infestación* que típicamente permanece en el plano topical o periferal, mientras que los endoparásitos producen una *infección* al invadir los tejidos del huésped. El advenimiento y la severidad de la enfermedad dependen de la interacción huésped-parásito luego de la infección. Un huésped que carga un parásito está *infectado*, mientras que un huésped infectado, capaz de transmitir un parásito es *infeccioso*. Un huésped capaz de mantener un parásito sin desarrollar síntomas clínicos es un *portador*.

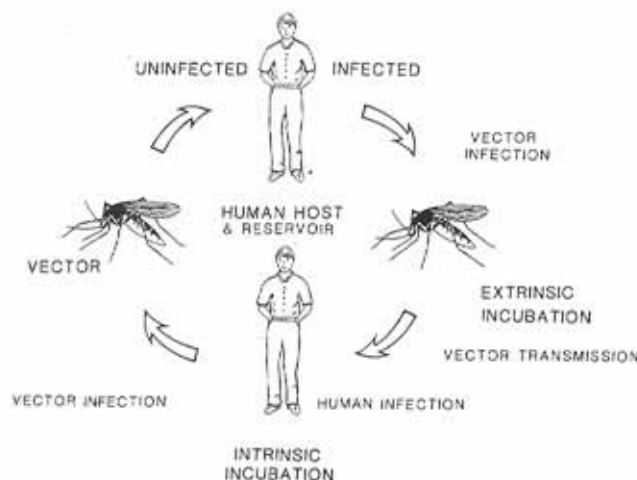
Un entendimiento cabal de la epidemiología de la enfermedad originada por un vector requiere de conocimiento en el área de ecología, fisiología, inmunología y de genética de población del parásito, artrópodo y del huésped vertebrado, y de cómo éstos interactúan con el medio ambiente. El grado de contacto entre el huésped vertebrado y el vector va desde intermitente (mosquito), a íntimo (piojo). Frecuentemente el huésped provee no sólo alimento en forma de sangre y otros tejidos, sino que también el hábitat o lugar donde éste vive. El vector que se alimenta de sangre típicamente une en tiempo y espacio al parásito, al vector y al huésped vertebrado, y en última instancia es responsable de la transmisión de parásitos de huéspedes vertebrados infectados a los susceptibles. Un vector necesita hacer por lo menos dos alimentaciones de sangre a lo largo de su vida para transmitir un parásito; la primera para adquirir el parásito y la segunda para transmitirlo. La alimentación con sangre provee al artrópodo con los nutrientes necesarios para su metabolismo, metamorfosis y reproducción. El *ciclo gonotrófico* o el ciclo reproductivo, la digestión de esa alimentación, maduración de huevos y oviposición. Hembras *parosas* han completado uno o más ciclos gonotróficos y tienen más probabilidades de estar infectadas con parásitos que hembras que se alimentan por primera vez (hembras *nuliparas*). Contrario a parásitos que son transmitidos de huésped en huésped, parásitos transmitidos por artrópodos generalmente han remplazado etapas de vida libre o ambientalmente resistentes con aquellas que pueden multiplicarse y desarrollarse en el artrópodo y ser transmitidos durante la etapa de alimentación con sangre.

Componentes de los ciclos de transmisión

Los componentes de un *ciclo de transmisión* de una enfermedad originada de un artrópodo son:

- (1) un huésped vertebrado que desarrolla un nivel de infección con el parásito que lo hace infeccioso a un vector.
- (2) Un artrópodo huésped o vector que adquiere el parásito del huésped infectado y es capaz de transmitirlo y
- (3) Uno o más huéspedes vertebrados susceptibles a la infección con el parásito luego de haberse alimentado un vector.

Figura 2.1-Componentes del ciclo de transmisión de un antroponosis como la malaria o el tifus de origen-pulga.



Los parásitos originados de vectores han evolucionado mecanismos para tolerar altas temperaturas corporales y evadir los complejos sistemas inmunológicos del huésped vertebrado así como tolerar las temperaturas altamente variables y evitar los diferentes mecanismos defensivos del vector artrópodo. Los parásitos asexuales, como virus y bacterias, utilizan prácticamente las mismas formas de vida para infectar ambos huéspedes, vertebrados y artrópodos; mientras que parásitos heterosexuales altamente evolucionados como los protozoos y helmintos, tienen diferentes etapas en los huéspedes, vertebrados y artrópodos. Algunos parásitos asexuales como el bacilo de la plaga, circunvalan intermitentemente el huésped artrópodo y transmiten directamente de un huésped vertebrado a otro.

Entre parásitos reproduciéndose sexualmente, el huésped en el que la unión gametocítica se lleva a cabo, se llama el *huésped definitivo*. Mientras que el huésped en el que ocurre la reproducción asexual se llama el *huésped intermedio*. Tanto vertebrados como artrópodos pueden fungir como huéspedes definitivos o intermedios, dependiendo del ciclo de vida del parásito. Por ejemplo, los seres humanos son el huésped definitivo de *Wuchereria bancrofti* ya que el macho y hembra adulto del gusano copulan dentro del sistema linfático, mientras que el mosquito vector *Culex quinquefasciatus* es el huésped intermedio en el que ocurre desarrollo sin reproducción. En contraste, los seres humanos son el huésped intermedio del protozoo *Plasmodium* que causa la malaria, ya que la

reproducción asexual ocurre en el huésped humano; gametocitos producidos en el huésped humano se unen sólo en el intestino del huésped definitivo, el mosquito.

La enfermedad es la respuesta del huésped a la infección con el parásito y puede ocurrir tanto en el huésped vertebrado como en el huésped artrópodo. Inmunidad incluye todas las propiedades del huésped que le confiere resistencia a la infección y juega un papel importante en determinar lo adecuado del huésped y la magnitud de la enfermedad o padecimiento. Algunas especies o individuos dentro de una especie tienen *inmunidad natural* y son resistentes o rechazan la infección. La inmunidad natural no requiere que el huésped haya estado en contacto previo con el parásito, pero puede que sea dependiente de la edad. Por ejemplo, los seres humanos no se infectan con parásitos de la malaria aviar, aún cuando el mosquito vector *Culex* infectado se alimenta con frecuencia del ser humano. Por el contrario, los mosquitos no se infectan con los virus de sarampión o de la poliomielitis que infectan al ser humano, aún cuando estos virus sin duda alguna son ingeridos por los mosquitos que se alimentan de sangre de un huésped virémico.

Individuos dentro de una población se infectan con parásitos, se recuperan y en el proceso, activamente adquieren inmunidad. Esta *inmunidad adquirida* al parásito tiene un rango que va de pasajera a de toda la vida y puede proveer protección de parcial a completamente permanente. Una respuesta inmune parcial puede permitir una infección continua pero puede reducir la severidad de la infección, mientras que la protección completa resulta en una cura y posiblemente previene la re-infección inmediata. La inmunidad adquirida puede ser humeral y resultar en la formación rápida de anticuerpos, o puede ser celular y resultar en la activación de las células T y de macrófagos. Los *anticuerpos* consisten de cinco clases de proteínas llamadas *inmunoglobulinas* que tienen funciones específicas para impartir inmunidad al huésped. La *inmunoglobulina G* (IgG) es la más común y comprende un 85% de las inmunoglobulinas presentes en el suero de individuos normales. Las IgG son proteínas relativamente pequeñas y típicamente desarrollan altas concentraciones varias semanas luego de una infección y pueden persistir a niveles detectables por años. En contraste, la IgM son principalmente macroglobulinas que aparecen poco después de la infección pero su número decae rápidamente. Para el diagnóstico de laboratorio de muchas enfermedades, las muestras de suero típicamente son examinadas durante un periodo de enfermedad aguda y convalecencia, de 2 a 4 semanas después. Un aumento de cuatro veces la concentración de anticuerpo IgG específico del parásito en estos pares de sueros provee evidencia serológica de infección. La presencia de altas concentraciones de IgM supuestamente implica una infección en progreso o reciente. *Células T y los macrófagos* son varias clases de células responsables de reconocer y eliminar parásitos. En huéspedes vertebrados de larga vida, la inmunología adquirida puede disminuir con el tiempo, los que eventualmente pueden dar paso a una re-infección. Clínicamente, la respuesta del huésped a la infección puede ir de inaparente o a-sintomática, a medianamente sintomática, a aguda. En términos generales, es de beneficio al parásito si el huésped tolera la infección y permite la reproducción del parásito y/o el desarrollo sin que el huésped desarrolle una enfermedad severa y muera antes de infectar a otros vectores.

El huésped vertebrado

Uno o más *huéspedes primarios vertebrados* son esenciales para mantener la transmisión de parásitos, mientras que huéspedes secundarios o incidentales no son esenciales para mantener la transmisión pero son importantes al contribuir a la amplificación del parásito. *Amplificación* se refiere al aumento general en el número de parásitos presentes en un área. Un *huésped amplificador* aumenta el número de parásitos y por lo tanto el número de vectores infectados. Los huéspedes amplificadores típicamente no permanecen infectados por mucho tiempo y pueden desarrollar la enfermedad. Un *huésped reservorio*, da apoyo al desarrollo del parásito, permanece infectado por un periodo de tiempo largo y funge de fuente de infección de vectores, pero usualmente no desarrollan la enfermedad aguda. Atributos del huésped primario vertebrado incluyen; accesibilidad, susceptibilidad, y transmisibilidad.

Accesibilidad El huésped vertebrado debe estar presente en abundancia y ser consumido con frecuencia por los vectores. La temporalidad del huésped, actividad diaria y selección del hábitat determinan la disponibilidad en tiempo y espacio a los vectores en búsqueda de huéspedes. Por ejemplo, el huésped aviar del virus de la encéfalomiélitis equina oriental generalmente comienza a anidar en los humedales coincidiendo con el emerger de la primera generación de primavera del mosquito vector *Culiseta melanura*, poniendo juntos en tiempo y espacio; al virus, al huésped aviar susceptible y a los mosquitos. Los patrones de actividad diaria pueden ser críticos. Por ejemplo, la larva microfilaria de *Wuchereria bancrofti* se mueven al sistema circulatorio periférico del huésped humano durante horas específicas de la noche que coinciden con el biorritmo de la picada del mosquito vector *Culex quinquefasciatus*. Históricamente, las epidemias de enfermedades originadas por vectores han estado asociadas a aumentos en accesibilidad de humanos a vectores durante guerras, desastres naturales, cambios ambientales y migraciones humanas.

Susceptibilidad Una vez expuesto, el huésped primario debe ser susceptible a infección y permitir el desarrollo y reproducción del parásito. Un *huésped terminal o "calle-sin-salida" (dead-end)* o no apoya el nivel de infección suficiente para infectar al vector o deviene grave y muere antes de que el parásito complete su desarrollo entre el sistema circulatorio periférico u otros tejidos e infecte otros vectores. Huéspedes reservorios ideales permiten a los parásitos sobrevivir en el sistema circulatorio periférico u otros tejidos apropiados, en suficientes números y por tiempo suficiente para ser una fuente efectiva de infección del vector. Parásitos asexuales como los virus y bacterias, típicamente producen infecciones intensas que generan grandes números de organismos infecciosos en periodos de tiempo relativamente cortos, durante los cuales el huésped o muere a la infección o desarrolla inmunidad protectora. En el caso del virus de la encéfalomiélitis equina oriental, 1ml de sangre de ave infectada, puede sostener hasta 10^{10} partículas de virus durante el día y la noche, por de dos a cinco días. Aves que sobreviven esa infección típicamente desarrollan inmunidad protectora duradera. En contraste, parásitos evolucionados producen comparativamente pocos individuos por un periodo más largo. *Wuchereria bancrofti* por ejemplo, mantiene pocas microfilarias en el torrente sanguíneo, típicamente menos de 10 microfilarias por decímetro de sangre, las cuales circulan más abundantemente en la sangre periférica durante periodos del día en los que los mosquitos vectores se alimentan de sangre. Sin embargo, dado el caso que ambos gusanos y el huésped humano son de larga vida, la transmisión es aumentada

por la exposición repetida, más que por la presentación intensa del parásito durante un periodo de varios días. Infecciones con más de 100 microfilarias por mosquito hembra pueden resultar fatales para el vector; por lo tanto, en este caso, limitar el número de parásitos que infectan el vector puede aumentar la probabilidad de transmisión.

Transmisibilidad Cantidades adecuadas de huéspedes vertebrados susceptibles deben estar disponibles para infectarse y por lo tanto, mantener el parásito. Las razones de transmisión típicamente disminuyen en forma concurrente con una reducción en el número de individuos susceptibles (no-inmunes) remanentes en la población huésped. El *umbral epidémico* se refiere al número de individuos susceptibles requeridos para que ocurra una transmisión epidémica. Mientras que el *umbral endémico* se refiere al número de individuos susceptibles requeridos para la persistencia del parásito. Estos umbrales numéricos varían dependiendo de la inmunología y dinámica de la infección en la población del huésped. Por lo tanto, huéspedes adecuados deben ser abundantes y o no desarrollar inmunología duradera o tener una razón reproductiva relativamente rápida, asegurando así el reclutamiento rápido de individuos susceptibles a la población. En el caso de la malaria, por ejemplo, el parásito evoca una respuesta inmune que pocas veces es completamente protectora y el huésped permanece susceptible a la re-infección. En contraste, infecciones del virus de la encefalitis de aves pasarinas típicamente producen protección de por vida, pero el largo de vida del ave es corto y la razón de reemplazo de la población es rápido, asegurando así la renovación constante de huéspedes susceptibles.

El vector artrópodo

Literalmente, *vector* es sinónimo de “portador” de un parásito, de un huésped a otro. Un portador efectivo generalmente exhibe características que complementan aquellas enumeradas anteriormente para el huésped vertebrado, e *incluyen selección del huésped, infección y transmisión.*

Selección del Huésped Un vector adecuado debe ser abundante y alimentarse con frecuencia del huésped vertebrado infectado, durante periodos en los cuales la etapa del parásito está circulando en la sangre periférica u otros tejidos accesibles al vector. La actividad de búsqueda y picado del huésped durante el tiempo equivocado o en el lugar equivocado o en el huésped equivocado, disminuirá el contacto con huéspedes con la capacidad de infectar, lo que también disminuye la capacidad de transmisión. Los patrones de selección del huésped determinan el tipo de parásito a los que el vector está expuesto. Vectores *antropófagos* se alimentan selectivamente de humanos y son importantes en la transmisión de parásitos humanos. Vectores antropófagos que entran en residencias para alimentarse de humanos o a descansar en las superficies interiores se llaman *endofilicos* (endo = adentro; filico = amante). Vectores que rara vez penetran las residencias se llaman *exofilicos*. Vectores *zoófagos* se alimentan principalmente de vertebrados otros que los seres humanos. Vectores *mamalófagos* se alimentan de la sangre de mamíferos y son importantes en el mantenimiento de parásitos de mamíferos. Vectores *ornitófagos* se alimentan principalmente de aves y son importantes parásitos de éstas. Se hace una distinción entre los vectores que son atraídos a un huésped y aquellos que se alimentan en forma exitosa del huésped. Por lo tanto los vectores mamalófagos representan un sub-grupo de los vectores mamalofilicos, que son aquellos atraídos a mamíferos.

Infeción El vector debe ser susceptible a esa infección y sobrevivir por suficiente tiempo como para que el parásito complete su multiplicación y desarrollo. No todos los artrópodos que ingieren parásitos apoyan la maduración, diseminación y transmisión del parásito. Por ejemplo, el mosquito *Culex quinquefasciatus* ocasionalmente se infecta con el virus de la encefalitis equina occidental; sin embargo, dado el caso que este virus rara vez escapa del mesenterón (estómago medio del insecto), esta especie rara vez transmite ese virus. Algunos artrópodos son susceptibles a infección bajo condiciones de laboratorio, pero en la naturaleza rara vez se alimentan en huéspedes vertebrados infectados o sobreviven lo suficiente como para dar paso al desarrollo del parásito. La *razón de transmisión* es el número de nuevas infecciones por unidad de tiempo y es dependiente de la razón de desarrollo del parásito a una etapa infecciosa y de la frecuencia de alimentación de sangre por parte del vector. Como muchos vectores artrópodos son poiquilotérmicos y entran en contacto con su huésped vertebrado homeotérmico en forma intermitente, la razón de transmisión del parásito es dependiente de la temperatura ambiental. Por lo tanto, la razón de transmisión de muchos parásitos es más rápida en los trópicos que en áreas templadas. En áreas con latitudes más altas el evento progresa más rápidamente durante el verano. La frecuencia de contacto con el huésped y por lo tanto, la razón de transmisión también dependen de la historia de vida del vector. Por ejemplo, epidemias de malaria en los trópicos, transmitida por un mosquito que se alimenta cada dos días progresa más rápido que epidemias de la enfermedad de Lyme a latitudes templadas, donde las espiroquetas son transmitidas a humanos principalmente por la etapa ninfal de la garrapata, que puede tener una generación y una alimentación con sangre por etapa de vida por año.

Transmisión Una vez infectado, el vector debe exhibir una probabilidad alta de re-alimentarse en uno o más huéspedes susceptibles para asegurarse de la transmisión del parásito. El desvío de vectores a huéspedes no susceptibles o huéspedes terminales (dead-end) limita la efectividad de transmisión. El término *zooprofilaxis* (protección animal) surge para describir el desvío de *Anopheles* infectados con parásitos de malaria humana, de humanos, al ganado, un huésped terminal para el parásito. Con zooprofilaxis el huésped terminal típicamente exhibe inmunidad natural, en la que los tejidos del huésped no son aceptables al parásito y no permiten el crecimiento y reproducción. Por el contrario, la transmisión a un huésped terminal puede resultar en una enfermedad seria, ya que la relación parásito-huésped no ha co-evolucionado al punto de que haya tolerancia por el huésped terminal. El virus de la encefalomiélitis equina occidental causa enfermedad seria en el humano, los cuales son considerados huéspedes terminales porque rara vez producen una viremia lo suficientemente fuerte como para infectar mosquitos.

Modos de Transmisión

La transmisión de parásitos por vectores puede ser vertical u horizontal. La *transmisión vertical* es el paso de parásitos directamente a etapas de vida subsiguientes o a generaciones dentro de la población de vectores. La transmisión horizontal describe el paso de parásitos entre vector y el o los huéspedes vertebrados.

Transmisión vertical

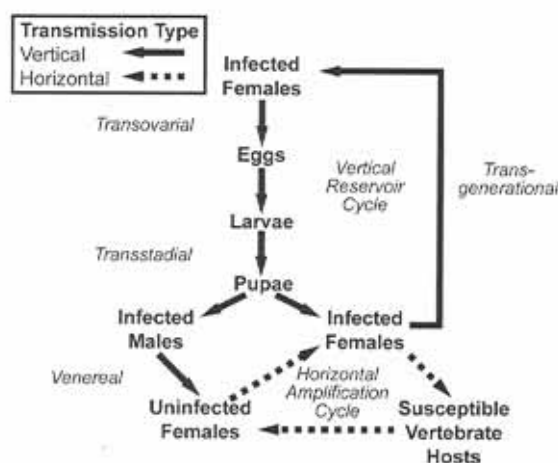
Tres tipos de transmisión vertical son posibles con poblaciones de vectores; trans-estadial, trans-generacional y venérea.

Transmisión trans-estadial es el paso secuencial de parásitos adquiridos durante una etapa de vida o estadio, durante la muda a la próxima etapa o estadio. Transmisión trans-estadial es esencial para la supervivencia de parásitos transmitidos por ácaros y garrapatas duras que se alimentan de sangre una sola vez durante cada estadio de vida y mueren luego de la oviposición. Las espiroquetas de la enfermedad de Lyme que son adquiridas por la larva de la garrapata debe ser pasada trans-estadialmente a la etapa ninfal antes de ser transmitida al vertebrado.

Transmisión trans-generacional es definida como el paso vertical de parásitos de un parental infectado a su cría. Algunos parásitos pueden mantenerse trans-generacionalmente por múltiples generaciones, mientras que otros requieren de transmisión horizontal para su amplificación. Transmisión trans-generacional normalmente ocurre *trans-ovarialmente* (a través del ovario) luego de que los parásitos infectan el tejido germinal del ovario. En estos casos casi toda la progenie es infectada. Otros parásitos no infectan el ovario y aunque son pasados a la progenie, la transmisión no es trans-ovarial. Esta situación es usualmente menos eficiente y sólo un por ciento bajo de la progenie es infectada. La transmisión trans-generacional en vectores como el mosquito también debe incluir transmisión trans-estadial, porque la etapa de vida inmadura no se alimenta de sangre.

Transmisión venérea es el paso de parásitos entre vectores macho y hembra durante la cópula, y es muy poco común. La transmisión venérea usualmente se limita a machos infectados trans-ovarialmente quienes infectan a las hembras durante la inseminación, que a su vez infecta a la progenie durante la fertilización. El virus La Crosse es un ejemplo de un parásito transmitido verticalmente en el que un huésped artrópodo sirve de reservorio.

Figura 2.2 Modos de transmisión de un parásito mantenido verticalmente, el virus de la encefalitis La Crosse.



Este virus es mantenido por transmisión trans-generacional entre los clones infectados del mosquito *Aedes triseriatus* y es amplificado por transmisión horizontal entre varios tipos de ardillas (squirrels y chipmunks). Como es raro el caso que este mosquito templado tenga más de dos generaciones por año, el virus La Crosse pasa largos periodos de tiempo en el vector infectado y relativamente cortos periodos de tiempo en el huésped vertebrado infectado. Hembras infectadas vertical u horizontalmente transmiten su infección trans-ovarialmente a una larva en su primer instar. Estas larvas transmiten el virus trans-estadialmente a través del cuarto estadio larval y en la etapa de pupa a adulto. Estas hembras infectadas trans-generacionalmente toman un alimento de sangre y ovipositan huevos infectados, con frecuencia en el mismo roto del árbol del cual emergieron. Algunos huéspedes que proveen alimentos de sangre devienen virémicos y amplifican el número de hembras de *Aedes triseriatus* por transmisión horizontal. La transmisión venérea del virus de machos infectados trans-generacionalmente a hembras no infectadas se ha demostrado en el laboratorio y sirve para establecer nuevos clones de hembras infectadas a la naturaleza.

Transmisión horizontal

La transmisión horizontal es esencial para el mantenimiento de casi todos los parásitos de origen vector y es llevada a cabo por rutas anteriores (picada o mordida) o posteriores (defecación). *Transmisión por estación-anterior* ocurre cuando parásitos son liberados de las partes bucales o de las glándulas salivares durante una alimentación (malaria, virus de la encefalitis, gusanos de filaria). *Transmisión por estación-posterior o stercorariana* se lleva a cabo cuando el parásito permanece en el intestino y son transmitidos vía heces fecales contaminadas. El tripanosoma que causa la enfermedad de Chagas es un ejemplo y desarrolla la etapa infecciosa en el intestino y es descargada sobre la piel del huésped cuando el vector triatómico defeca durante la alimentación. La irritación que resulta de las proteínas salivares que están siendo introducidas durante la alimentación causa que el huésped se rasque el área de la picada y se raspa el parásito a la herida. La fiebre recurrente del piojo y la rickettsia de la fiebre de tifus también utilizan métodos de transmisión estación-posterior.

Hay cuatro tipos de transmisión horizontal. Dependiendo de el papel del artrópodo en el ciclo de vida del parásito; *mecánico, multiplicativo, desarrollal, ciclodesarrollal*.

Transmisión mecánica ocurre cuando el parásito es transmitido entre huéspedes vertebrados sin amplificación o desarrollo dentro del vector, usualmente se da como resultado de contacto con partes bucales contaminadas. Artrópodos que tienen una asociación íntima con el huésped vertebrado y se alimentan a intervalos frecuentes tienen una probabilidad más alta de transmitir parásitos mecánicamente. El papel que juega el artrópodo es esencialmente extender la transmisión mediante contacto entre huéspedes vertebrados. Los majes de los ojos (gnats o mimes) tienen partes bucales raspadoras, esponjosas y se alimentan en forma repetida en las membranas mucosas de un sin número de huéspedes vertebrados haciéndolos un vector mecánico muy efectivo de bacterias responsables de la conjuntivitis "ojo rosado". La transmisión mecánica también puede ser causada mediante partes bucales contaminadas, esto si el vector es interrumpido durante la alimentación de sangre e inmediatamente se re-alimenta de un segundo huésped en un intento de completar su alimentación con sangre.

Transmisión multiplicativa o propagativa se lleva a cabo cuando el parásito se multiplica asexualmente en el vector y es transmitido sólo luego de que se completa un periodo adecuado de incubación. En este caso el parásito no sufrió metamorfosis y la forma transmitida no es diferente de la forma ingerida con la sangre consumida originalmente. El virus de la encefalitis de St. Louis no es transmitido hasta que el virus no se replica en y pasa por el mesenterón, es diseminado por el hemocelo y entra y se replica en las glándulas salivares. No obstante, la forma del virus no cambia a través de todo este proceso.

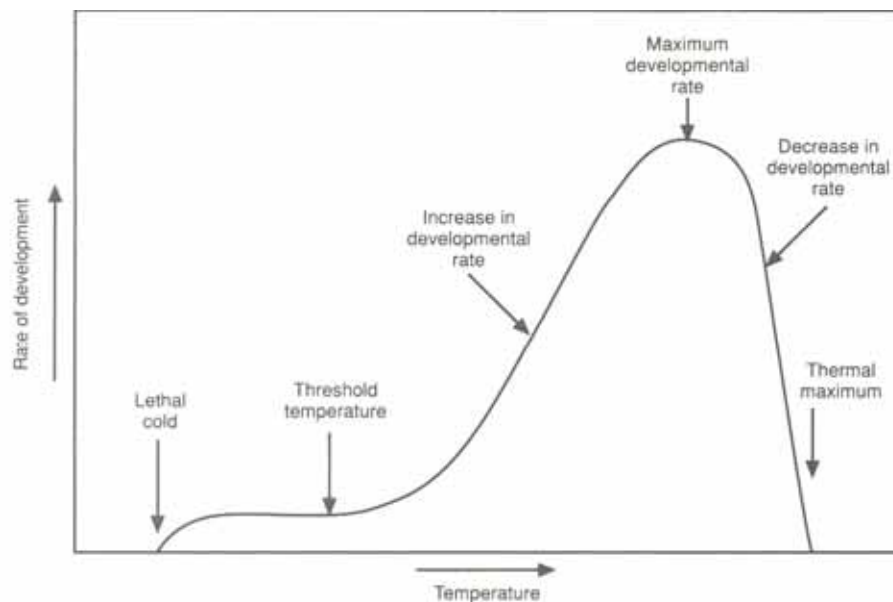
Transmisión de tipo desarrollal ocurre cuando el parásito se desarrolla y pasa por metamorfosis, pero no se multiplica en el vector. La microfilaria de *W. bancrofti* es ingerida en una alimentación con sangre, penetra el intestino del mosquito, pasa a los músculos alares donde muda dos veces, se mueven a las partes bucales donde permanecen hasta que se alimenta nuevamente de sangre. Los gusanos filariales no se reproducen asexualmente en el mosquito vector o sea que le número de gusanos disponibles para transmitir es igual a, o menor que el de ingeridos.

Transmisión tipo ciclodesarrollal se lleva a cabo cuando el parásito sufre metamorfosis y se reproduce asexualmente en el vector artrópodo. En el ciclo de vida del parásito de la malaria, gametocitos que son ingeridos con el alimento de sangre se unen en el intestino del mosquito y se transforman en una forma invasiva que penetra el intestino y forma una etapa que se reproduce asexualmente en la parte exterior de la pared del intestino. Luego de la reproducción asexual, esta etapa rompe y libera formas infecciosas que se mueven a las glándulas salivares, de donde son transmitidas durante la próxima alimentación con sangre.

El periodo de incubación extrínseco es el intervalo de tiempo entre la infección del vector y la transmisión del parásito, cuando el parásito todavía está afuera del huésped vertebrado. *El periodo de incubación intrínseco* es el tiempo desde la infección al inicio de los síntomas en el huésped vertebrado. Periodos repetidos de retraso de duración consistente entre grupos de casos nuevos al inicio de una epidemia fueron detectados por los primeros epidemiólogos que acuñaron el término *incubación extrínseca*. Estos intervalos representan la duración combinada de los periodos de incubación extrínsecos e intrínsecos.

La duración de los periodos de incubación extrínsecos es típicamente dependiente de la temperatura. La razón de desarrollo del parásito normalmente aumenta en una forma lineal con la función *grado-día* de la temperatura ambiental entre los umbrales alto y bajo. El modelo grados-día es en realidad una medida de tiempo fisiológico. La forma más precisa de establecer la constante termal es realizando ensayos de laboratorio con el insecto, bajo condiciones controladas utilizando temperaturas constantes. Sin embargo, es posible generar la información grados-día si se monitorea las temperaturas máxima y mínima en el campo y se recopilan los grados (temperatura) sobre el umbral para cada día, hasta que el insecto completa su desarrollo. Los modelos basados en grados-día se pueden utilizar para predecir el día en que la plaga inicia su actividad de vuelo, para predecir el inicio de la eclosión de los huevos, para determinar cuándo hay que iniciar el monitoreo del insecto o para determinar cuándo hacer una aplicación de un plaguicida.

Figura 2.3 - Efecto de la temperatura en el desarrollo del insecto



Luego de ingerido por el mosquito vector, el virus de la encefalomiелitis equina occidental (EEO) debe entrar y multiplicarse en las células del estomago medio o mesenterón, salir del mesenterón, diseminarse por el hemocelo e infectar las glándulas salivares, luego de lo cual el virus está listo para transmitirse mediante una picada. Bajo las condiciones calurosas del verano, este proceso se puede completar en 4 días y el vector *Culex tarsalis* es capaz de transmitir el virus durante la próxima alimentación con sangre.

Como contraste, bajo condiciones más frescas de la primavera, la transmisión se puede retrasar hasta la tercera alimentación con sangre. Algunos parásitos pueden aumentar la frecuencia en que el vector se alimenta de sangre y aumenta así su transmisión. El bacilo de la plaga permanece en y eventualmente bloquea el intestino de su más eficiente vector pulga, *Xenopsylla cheopis*. Regurgita durante la alimentación con sangre causando hambruna en el vector y por lo tanto llevando a cabo transmisión a intervalos progresivamente más cortos antes de que el vector sucumba a la hambruna.

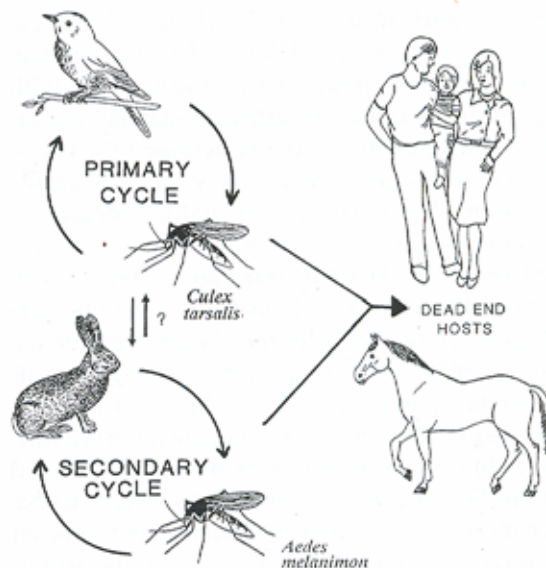
Ciclos de transmisión

Los ciclos de transmisión varían considerablemente dependiendo de su complejidad y del papel que desempeña el huésped del parásito. Una *antroponosis* originada por vector, es una enfermedad resultado de un parásito que normalmente infecta sólo humanos y uno o más vectores antropófagos. (Figura 2.1) La malaria, algunas formas de filariasis y el tifus de origen-piojo son ejemplos de antroponosis con ciclos de transmisión que involucran al humano y vectores huésped-específicos. Los humanos fungen como huésped reservorio para los parásitos quienes persisten por años

como infecciones crónicas. Vectores de antroponosis se alimentan selectivamente de humanos y están asociados a ambientes domésticos o peri-domésticos. La transmisión amplia de una antroponosis con aumento en el número de casos humanos diagnosticados durante un periodo específico de tiempo, se conoce como una *epidemia*. Cuando casos humanos reaparecen consistentemente en tiempo y espacio, la transmisión se conoce como *endémica*.

Zoonosis son enfermedades de animales que ocasionalmente infectan al humano. De igual manera las *ornitosis* son enfermedades de aves silvestres que son transmitidas al humano. En la mayoría de las zoonosis de origen-vector, el humano no es un componente esencial del ciclo de transmisión; sino que se infectan cuando mordidos por el vector que previamente se alimentó de un huésped animal infectado. Aunque los humanos frecuentemente se enferman, rara vez circulan suficientes parásitos para infectar vectores y por lo tanto se les llama, *huésped terminal* "dead end host". El ciclo de transmisión enzoótico (dentro del animal) es el ciclo animal primario o básico. Cuando los niveles de transmisión enzoótico escalan, la transmisión puede convertirse en epizootica o sea una explosión de la enfermedad entre animales. Una transmisión del ciclo enzoótico a un huésped terminal se conoce como *transmisión tangencial*. O sea tangente al ciclo de transmisión básico. Con frecuencia, diferentes vectores son responsables de transmisiones enzoóticas, epizooticas y tangenciales. Los *vectores puente* transmiten parásitos tangencialmente entre diferentes especies enzoóticas y huéspedes terminales. La mediación del ser humano en las zoonosis en el establecimiento de un ciclo de amplificación secundario entre huéspedes vertebrados habitando un ambiente periodoméstico. El virus de la encefalomiелitis equina occidental (EEO), es una zoonosis que ejemplifica ciclos primarios y secundarios de transmisión y de transmisión tangencial al humano y a equinos (Fig. 2.4).

Figura 2.4 Componentes del ciclo de transmisión del virus de la encefalomiелitis equina occidental.



En California la amplificación del virus EEO ocurre en el ciclo de transmisión enzoótico primario que consiste de varias especies de aves pasarinas y del mosquito *Culex tarsalis*. Además de las aves, este mosquito se alimenta de la sangre de varios mamíferos, incluyendo conejos. Los conejos especialmente el jackrabbit desarrolla

suficiente viremia como para infectar a mosquitos *Culex tarsalis* y *Aedes melanimon*, iniciando así un ciclo de transmisión zoonótico secundario. La actividad del virus EEO en el ciclo secundario *Aedes*/conejo usualmente se detecta luego de la amplificación en el ciclo primario de *Culex tarsalis*/ave. Ambos mosquitos transmiten tangencialmente el virus a humanos y equinos, huéspedes terminales para el virus.

Mantenimiento entre-temporadas

Un aspecto importante de la ecología de los parásitos de origen-vector es el mecanismo o los mecanismos mediante el cual persisten entre temporadas de transmisión o estallidos. La transmisión del parásito es típicamente más efectiva cuando las condiciones del tiempo son favorables para la actividad del vector y su crecimiento poblacional. En latitudes templadas, sobrellevar el invierno por parte de los parásitos es problemático cuando el vertebrado o el huésped artrópodo entran en dormancia o migran. Problemas parecidos sobrellevan los parásitos de climas tropicales cuando la transmisión es interrumpida por periodos de lluvia o sequía prolongados. La estacionalidad aparente característica de la mayoría de los parásitos de origen-vector puede deberse a amplificaciones periódicas de un parásito constantemente presente o a re-introducciones constantes de parásitos, luego de una extinción local.

Mecanismos para el mantenimiento durante periodos no favorables en el tiempo incluyen:

Transmisión continúa por el vector. Durante periodos no favorables de tiempo, los vectores pueden permanecer activos y continuar transmitiendo parásitos, aunque las razones de transmisión pueden disminuir por temperaturas bajas o abundancia baja del vector. En latitudes templadas con inviernos fríos, la transmisión continúa pero a razones más bajas, ya que la frecuencia de alimentación con sangre y la razón de maduración del parásito en el vector es reducida. En latitudes tropicales, la transmisión amplia puede terminar durante una época seca extendida que reduce la abundancia y supervivencia del vector. En ambos casos, la transmisión puede estar restringida espacialmente e involucrar sólo a una porción pequeña de la población de huéspedes vertebrados. Infecciones humanas durante estos periodos adversos usualmente son altamente agrupadas y puede estar restringida a miembros de la misma residencia.

Vectores infectados Muchos vectores entrar un estado de dormancia como inmaduros o adultos no consumidores de sangre. Vectores infectados verticalmente típicamente permanecen infectados por vida y por lo tanto pueden mantener parásitos durante periodos en los que la transmisión horizontal es interrumpida. El virus de la encefalitis de California es mantenido durante el invierno y periodos de sequía en los huevos del vector, *Aedes melanimon*, infectados trans-ovarialmente. Huevos infectados de este mosquito de aguas inundadas pueden permanecer en dormancia e infectados por varios años y son capaces de sobrellevar los rigores de un invierno frío, el calor del verano y periodos extensos de sequía. La inundación de huevos durante la primavera o verano produce crías de mosquitos adultos que son infectados al emerger. De forma similar, vectores que habitan los nidos de huéspedes migratorios como las golondrinas de los acantilados, con frecuencia permanecen vivos e infectados por periodos extendidos, hasta que el huésped regresa.

Huéspedes vertebrados infectados El mantenimiento del parásito puede llevarse a cabo por huéspedes-reservorio infectados que continúan produciendo etapas infecciosas para el vector o que albergan etapas inactivas del parásito y entonces hay una recaída o recrudecimiento durante la temporada en la que se alimentan de sangre los vectores. Los gusanos filariales adultos continúan produciendo microfilarias a través de su vida, independiente de la dinámica poblacional o temporalidad del mosquito vector. Como contraste, algunas estirpes de la malaria *vivax* coreana, invernan como una etapa en dormancia en el hígado de huésped humano y relapsan en la primavera, concurrente con el finalizar de la diapausa del mosquito vector.

Alternativamente, los parásitos pueden convertirse en extintos regionalmente durante periodos no favorables y re-introducirse de “refugios” distantes. Dos mecanismos que hacen esto posible son:

Huéspedes vertebrados migratorios. Muchas especies de aves invernan en los trópicos y regresan a las áreas de crianza templadas o sub-árticas en la primavera, potencialmente trayendo con ellas infecciones adquiridas en el trópico o en latitudes sureñas. Es también posible que el estrés de los largos vuelos y el inicio de la reproducción activen relapsos de infecciones crónicas. Además, muchos herbívoros grandes migran anualmente entre los pastos de la época mojada (veranos) y la seca (invierno) trayendo consigo una amplia gama de parásitos. Transportación de largo alcance humana o comercial es otra fuente posible de introducción de parásitos y vectores. El transporte estacional de productos agrícolas y el movimiento de trabajadores agrícolas puede dar la apariencia de temporalidad.

Frentes de tiempo (weather) Vectores infectados pueden ser cargados por grandes distancias por frentes predominantes de tiempo. Patrones consistentes de tiempo como el efecto del monzón del sureste del Océano Indico que barre a través del sub-continente de India, puede transportar pasivamente vectores infectados por cientos de kilómetros. El inicio de actividad por el virus EEO en el norte central de los EEUU y Canadá se ha relacionado a mosquitos infectados transportados por frentes de tormentas.

Incriminación del vector

Para entender la epidemiología de la enfermedad originada por vector es esencial que se establezca qué artrópodo es el vector primario responsable de la transmisión del parásito. Incriminación parcial o incompleta ha resultado en la dirección equivocada de esfuerzos de control de especies de artrópodos que no juegan un papel substancial en el mantenimiento enzoótica o de la transmisión epidémica. La incriminación del vector combina data de campo y de laboratorio que mide las razones de infección, competencia entre vectores y capacidad vectorial.

Razones de infección La colección de artrópodos infectados en la naturaleza es un paso importante en la identificación de vectores potenciales, ya que esto indica que la especie candidato se alimenta del huésped vertebrado que carga el parásito. La información de infección puede expresarse en porcentos en un punto en el tiempo o

prevalencia de la infección o el número de vectores infectados/número examinado x 100. El término comúnmente utilizado de *razón de infección* se refiere a la *incidencia de infección* e incluye cambios sobre un periodo de tiempo específico. Cuando la prevalencia de la infección es baja y los artrópodos son examinados en grupos, la data se refiere a razones de infección mínimas (número de grupos de vectores positivos/total de especímenes examinados/unidad de tiempo X 100 o 1,000). Razones de infección mínimas son valores relativos con rangos delineados por el tamaño del grupo. Por ejemplo, razones de infección mínimas de vectores examinados en grupos consistentes de 50 individuos cada uno, deben ir de 0 a 20 por 1,000 hembras examinadas.

Es importante distinguir entre huésped infectado albergando un parásito y un huésped infeccioso capaz de transmisión. En vectores ciclodesarrollales y desarrollales, las etapas infecciosas se pueden distinguir dependiendo de dónde estén localizadas en el vector, morfología o propiedades bioquímicas. Distinguir vectores infecciosos de no-infecciosos es una tarea difícil si no imposible, con infecciones virales o bacterianas, ya que la forma del parásito no cambia. La habilidad de transmitir puede ser implicada examinando partes selectas del cuerpo, como el cefalotórax, glándulas salivares, o la cabeza. Con algunos patógenos de garrapatas, el movimiento del parásito a las partes bucales no se lleva a cabo hasta varias horas después que se pega. Según se mencionó anteriormente, la razón de transmisión es el número de nuevas infecciones por unidad de tiempo. Cuando se estandariza a, por unidad de tamaño poblacional, la razón de transmisión se puede expresar como una incidencia. La incidencia anual del parásito es el número de nuevas infecciones por año por cada 1,000 individuos.

Inoculación entomológica es el número de picadas infecciosas potenciales por unidad de tiempo. Esta frecuencia es determinada de la razón de picada del animal, del humano o huésped y la proporción de vectores que son infecciosos y se calcula como picadas por humano por unidad de tiempo X la prevalencia de la infección.

Competencia del vector esta definida como la susceptibilidad de una especie de artrópodo a una infección con un parásito y su habilidad (o competencia) de transmitir esta infección adquirida. La competencia del vector esta determinada cuantitativamente alimentando al artrópodo candidato con un huésped vertebrado que circula etapas infectivas del parásito, incubar el artrópodo recién alimentado bajo condiciones propicias, re-alimentar el artrópodo en un huésped susceptible no-infectado y examinando el huésped para determinar si se infectó o no. Como es difícil el mantener huéspedes vertebrados naturales en un laboratorio y controlar la concentración de parásitos en el sistema circulatorio periférico, huéspedes de laboratorio o sistemas de alimentación artificial son utilizados con frecuencia para exponer un vector a un parásito.

La *susceptibilidad a infección* puede ser expresada como el porcentaje de artrópodos que se infectan entre aquellos que se alimentan de sangre. Cuando se alimenta al artrópodo con un rango de concentraciones de parásitos, la susceptibilidad puede expresarse como la *dosis infecciosa mediana* requerida para infectar el 50% de la población de artrópodos siendo alimentada con sangre. La habilidad de transmitir puede expresarse como el porcentaje de hembras alimentándose que transmitieron o como porcentaje de huéspedes que se infectaron.

El que un artrópodo que se alimenta de sangre falle en infectarse o en transmitir un parásito puede atribuirse a la presencia de una o más barreras a la infección. Para parásitos que se transmiten por una picada, el mesenterón del artrópodo provee la barrera más importante. Frecuentemente los parásitos crecen en una especie no-vector, si son inoculados al hemocelo, evitando así la barrera del mesenterón. Luego de penetrar y escapar del mesenterón el parásito debe multiplicarse y/o madurar y ser diseminado a las glándulas salivares o partes bucales. Inmunidad humeral o celular por parte del artrópodo puede hacer posible el “limpiar” la infección en ese punto creando una *barrera a la diseminación*. Aún luego de ser diseminados a las glándulas salivares, el parásito puede no ser capaz de infectar o de ser transmitido de las glándulas salivares debido a la presencia de *infección de la glándula salivar* o de *barreras al escape de la glándula salivar*.

Para parásitos transmitidos por la estación-posterior, la competencia del vector puede expresarse como el porcentaje de vectores infectados pasando etapas infectivas del parásito en las heces fecales.

El concepto de *capacidad vectorial* resume cuantitativamente los atributos ecológicos básicos del vector relativo a la transmisión del parásito. Aunque desarrollado para mosquitos vectores de los parásitos de la malaria y más fácilmente aplicado a antroponosis, el siguiente modelo provee un marco de referencia conceptual de cómo interactúan los componentes del ciclo de transmisión de muchos parásitos de origen-vector.

$$\text{Capacidad vectorial} = C = ma^2 (P^n) / (-1 nP),$$

C = Capacidad vectorial a nuevas infecciones por infección por día.

ma = # de picadas por humano por día.

a = habito de picada al humano

P = la probabilidad de supervivencia diaria

n = el periodo de incubación intrínseco (en días)

La razón de picadas = ma es frecuentemente estimada colectando vectores según tratan o intentan alimentarse de sangre y se expresa como picadas por humano por día o noche (ej. 10 mosquitos por humano por noche). El habito de picada al humano (a) combina la frecuencia de alimentación del vector y la selección del huésped. La frecuencia de alimentación es el largo de tiempo entre alimentaciones de sangre y frecuentemente es expresado como el inverso del largo del ciclo gonotrófico. Los patrones de selección del huésped son determinados haciendo pruebas de los vectores que se alimentan de sangre para determinar qué porcentaje se alimentó de humanos o de su reservorio principal. Por lo tanto, si la frecuencia de alimentación de sangre es de dos días y el 50% de los vectores en busca de huéspedes se alimenta en humanos, $a = (1/2 \text{ días}) \times (0.5) = 0.25$. En este ejemplo, $ma^2 = 10 \text{ picadas/humano/noche} \times 0.25 = 2.5$; en donde a es repetida porque los vectores infectados tienen que re-alimentarse para transmitir.

La probabilidad de que el vector sobreviva a lo largo del periodo de incubación extrínseca del parásito, P^n , requiere información de la probabilidad de supervivencia del vector (P) y la duración del periodo de incubación extrínseco (n). P es estimada verticalmente, marcando cohorts y monitoreando su razón de muerte con el tiempo. En

los dípteros, P puede ser estimado verbalmente de la razón de paridad (proporción de hembras parosas por número examinado). En la práctica $P = (\text{razón de paridad})^{1/g}$ donde g es el largo del ciclo gonotrófico. El periodo de incubación extrínseco puede ser estimado de la temperatura ambiental de data colectada durante experimentos de competencia del vector, examinando el tiempo desde infección hasta la transmisión para vectores incubados a diferentes temperaturas. Continuando con nuestro ejemplo. Si $P = 0.8$ y $n = 10$ días, entonces la duración de la vida infecciosa es $P^n/(-1nP) = 8^{10}/(-1n \times 0.8) = .48$ Por lo tanto $c = 2.5 \times .48 = 1.2$ transmisiones de parásitos por huésped infeccioso por día.

Monitoreo

El número de casos de la mayoría de las enfermedades originadas por vectores típicamente varía con el tiempo y espacio. Información del número de casos puede ser obtenida de registros de *morbidez* y mortalidad que mantienen las agencias de gobierno para la población humana. La data de *morbidez* son registros de enfermedad; y la *data de mortalidad*, de las causas de muerte. Esta data varía mucho en su calidad y en lo oportuno en tiempo que se llevan los registros, dependiendo de la exactitud al determinar la causa de la enfermedad o de la muerte y cuán rápido esto es reportado y registrado en el banco de datos. En los EUA la aparición de un caso confirmado una enfermedad originada por un vector como la fiebre amarilla, peste, malaria o encefalitis debe ser reportada a las autoridades de salud municipal. No obstante, infecciones con muchos parásitos de origen-vector, incluyendo la enfermedad de Lyme, y la encefalitis mosquito-originada, frecuentemente son asintomáticas y presentan síntomas clínicos variados por lo que con frecuencia son sub-diagnosticados y sub-reportados. La frecuencia de la detección de casos y la exactitud de los sistemas para reportarlos dependen del tipo de monitoreo utilizado y de la habilidad de la comunidad médica o veterinaria en reconocer los síntomas sugestivos y llevar a cabo las pruebas de laboratorio requeridas. Además, algunas pruebas de laboratorio varían en su especificidad y sensibilidad, complicando aún más la interpretación de los resultados de laboratorio. Los casos pueden clasificarse como sospechosos o *presuntivo*, basado en el diagnóstico clínico del médico, o *confirmado* basado en el aumento en diagnóstico de anticuerpos específicos o de la observación directa (o aislamiento) del parásito de ese caso. El monitoreo de casos clínicos puede ser activo o pasivo.

Monitoreo activo involucra la *detección de casos activos* en los que una persona que trabaja para una agencia de salud visita comunidades y activamente busca y prueba casos sospechosos. En los programas de control de malaria, un trabajador de campo visita cada casa, dos veces en semana o mensualmente y colecta películas de sangre de las personas con fiebre o que recientemente tuvo fiebre. Pacientes con fiebre son tratados con fármacos anti-malaria y se confirma el caso mediante la detección de parásitos en la película de sangre obtenida de cada persona con fiebre. Los casos confirmados son revisitados y medicamento adicional es administrado, de ser requerido. Este monitoreo provee razones de infestación de la población irrespectivo del criterio de clasificación utilizado.

La mayoría de los programas de monitoreo dependen de un *monitoreo pasivo* que utiliza *detección pasiva de casos* para identificar casos veterinarios o humanos. En este sistema individuos en búsqueda de tratamiento en organizaciones de cuidado de salud

primario, como oficinas de médicos, hospitales, y clínicas son diagnosticados por un médico que solicita las pruebas confirmatorias de laboratorio correspondientes. Sin embargo, dado el caso de que muchas enfermedades originadas por artrópodos presentan una variedad de síntomas no-específicos (dolor de cabeza, fiebre, malestar general y arthralgia), casos son frecuentemente no diagnosticados o mal identificados. En infecciones virales originadas por mosquitos, el paciente usualmente se recupera espontáneamente, y con frecuencia el caso es incluido bajo la lista de fiebres de origen desconocido o meningitis aséptica (o viral) sin ningún diagnóstico específico. En un sistema de detección de casos pasivo, es la responsabilidad del médico que está atendiendo el programa, solicitar la confirmación de laboratorio de cada caso clínico bajo sospecha y entonces notificar al epidemiólogo de la oficina regional de salud pública que un caso de enfermedad originada por vector ha sido confirmado.

El sistema de reportar los casos clínicos de enfermedades originadas por vector debe ser evaluado cuidadosamente cuando se está evaluando información o data de monitoreo. Esta información debe tomar en consideración la enfermedad, la frecuencia en que está produciendo síntomas reconocibles clínicamente, la sensibilidad y especificidad de las pruebas de laboratorio, y el tipo y extensión del sistema de reportar. Usualmente los programas que enfocan el monitoreo de una enfermedad en específico y utiliza un sistema activo de detección de casos, provee la información epidemiológica más confiable. En contraste, sistemas de base ancha, de cuidado de la salud de la comunidad que dependen de un sistema de detección pasiva, típicamente producen la información menos confiable, especialmente para casos de enfermedades originadas por vector que son poco frecuentes y con síntomas no-específicos.

Enfermedades que están siempre presentes o que re-aparecen consistentemente, a un nivel similar durante una época de transmisión específica, son clasificados como *epidémicas*. El número de casos en una población es expresado como incidencia o prevalencia. *Población* se define como el número de individuos en riesgo de infección en un área geográfica determinada durante un tiempo determinado. *Incidencia* es el número de casos nuevos por unidad de población por unidad de tiempo. *Prevalencia* es la frecuencia de casos nuevos y viejos entre los miembros de la población. La prevalencia típicamente se determina como un estimado de punto en tiempo y se expresa comúnmente como porcentaje de la población examinada que se encontró infectado. El nivel de *endemicidad* del parásito en la población puede ser establecido como *hipoendémico* (bajo) o *mesoendémico* (mediano) o *hiperendémico* (alto) dependiendo de la incidencia de la infección y/o el estatus de inmunidad de la población. En las encuestas de malaria, el porcentaje de niños con vasos palpables y la incidencia anual del parásito, son utilizadas para caracterizar el nivel de endemicidad. En enfermedades endémicas, el porcentaje de individuos con suero positivo para anticuerpos tipo-IgG típicamente aumenta y es una función lineal de la edad o historia residente, mientras que en casos de enfermedades hipoendémicas con transmisión intermitente, la función es disjunta, con ciertos grupos de edades expresando unas razones positivas elevadas. La incidencia de un número positivo elevado de infecciones humanas o casos se llama una *epidemia*. Agencias de salud, con la World Health Organization, típicamente monitorea la data de incidencia para establecer los criterios necesarios para clasificar el nivel de endemicidad y para decidir cuándo es que hay una epidemia en desarrollo. Una epidemia de amplia distribución geográfica en un mismo continente es conocida como *pandémica*.

Encuestas serológicas son herramientas útiles para determinar la experiencia acumulativa de la infección de una población con uno o más factores huésped-relacionados afectando la eficiencia o riesgo de transmisión y las razones de re-infección. Cuando se une a la data de morbilidad, encuestas serológicas proveen información de la razón de infecciones aparente a in-aparente. En *muestras al azar*, durante una encuesta serológica, los representantes colectan data de la población entera y pueden proveer información ecológica retrospectiva por análisis de la data colectada concurrentemente con cada muestra serológica. Esta información debe asignar factores de riesgo por infección, como el sexo, ocupación, historia de residente, o puede ser útil en determinar las diferencias relacionadas a la edad a la susceptibilidad a la enfermedad. Un *muestreo estratificado no al azar* y tiene como tarjetas a cohortes específicos o subgrupos de la población. Aunque un muestreo estratificado puede tener más sensibilidad en detectar casos raros o parásitos con distribución contigua, la data no puede ser extrapolada para determinar tendencias en la población entera. Pruebas serológicas seguidas del mismo individuo dentro de una población pueden determinar el tiempo y lugar de la infección al determinar cuándo el individuo fue *seropositivo* por primera vez o sea, serológicamente positivo con anticuerpos circulando por el cuerpo contra un parásito en específico. Este cambio de *seronegativo* a *seropositivo* se llama *seroconversión*.

Predecir el riesgo de infección usualmente se logra monitoreando los factores ambientales, la abundancia del vector, el nivel de transmisión en el ciclo primario o el de amplificación, y el número de casos humanos o de animales. Por regla general, la exactitud de predecir es inversamente relacionada, al tiempo y distancia del parámetro predictivo, de la detección de casos humanos. Actividades de monitoreo típicamente incluyen el monitoreo en tiempo serial de las condiciones ambientales, abundancia del vector, razones de transmisión enzoóticas, y casos clínicos.

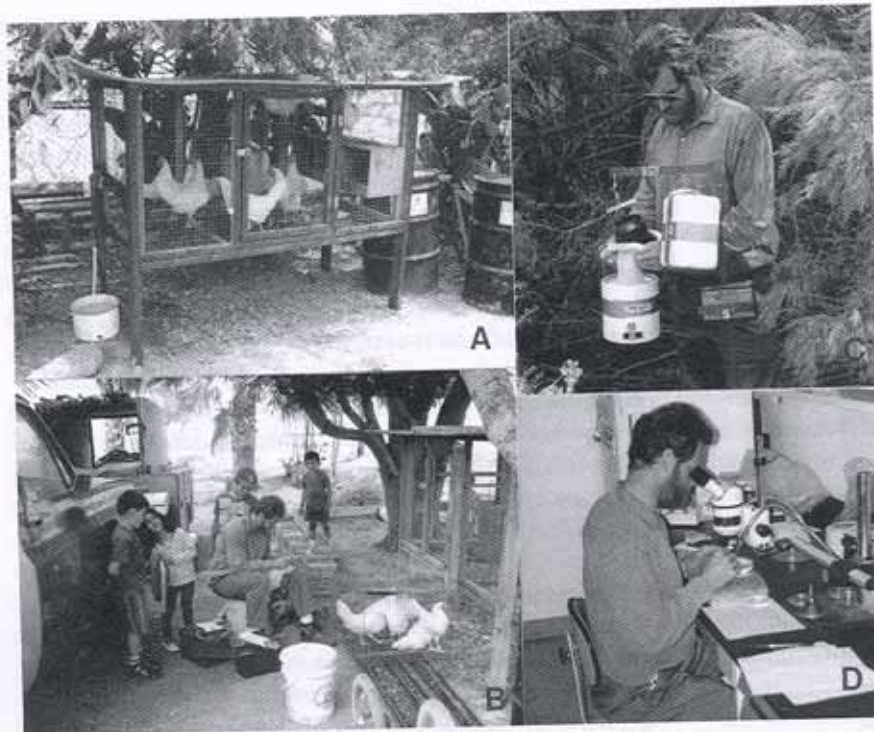
Condiciones ambientales Un tiempo muy mojado o cálido puede apuntar a condiciones favorables para actividad de los vectores o aumento poblacional, concurrente con un aumento en el riesgo de transmisión del parásito. Parámetros frecuentemente monitoreados incluyen la temperatura, lluvia, capa de nieve – lo que es una indicación de la cantidad de agua que va a haber al deshielo- y los programas en tiempo de irrigación agrícola.

Abundancia del vector Muestras estandarizadas en lugares fijos y a intervalos de tiempo, pueden ser utilizados para comparar cambios espaciales y temporales en la abundancia del vector lo que es útil en detectar un aumento en riesgo de transmisión de parásitos. Aumentos extraordinarios en abundancia y supervivencia del vector pueden predecir con certeza aumentos en transmisión enzoótica y en menor grado, epidémicas.

Razón de transmisión enzoótica Monitoreando el nivel de infección de parásitos en poblaciones de vectores o de vertebrados provee evidencia indirecta que el parásito está presente y siendo transmitido activamente (Figura 2.5) El nivel de transmisión usualmente se predice directamente del riesgo de la participación humana y del animal doméstico. Actividad de transmisión enzoótica puede monitorearse por las razones de infección vectorial, razones de infección de vertebrado-huésped, razones de seroconversión centinela, y de los casos clínicos.

Razón de infección del vector Muestrear vectores y examinarlos para parásitos determina el nivel de infección en la población de vectores. (Figura 2.5, C y D) Cuando se examina individualmente a los vectores, la data de prevalencia se expresa en porcentos (10 hembras infectadas por cada 50 examinadas, es una razón de infección de un 20%). Cuando se combina con estimados de abundancia, las razones de infección también pueden ser expresadas como vectores infectados por unidad de muestreo, por intervalo de tiempo; $100 \text{ picadas por humano por noche} \times 0.2 \text{ de la razón de infección} = 20 \text{ picadas infectivas por humano por noche}$. Esta data provee un índice de la razón de transmisión. Cuando las razones de infección son bajas y la población del vector alta, los vectores típicamente son examinados en lotes o grupos. Es estadísticamente ventajoso mantener el tamaño del grupo lo más constante posible y así mantener la misma probabilidad de detección, lo que hace los números comparables. Dado el caso que puede haber más de un vector infectado por grupo, las razones de infección se expresan como razones mínimas de infección = $\text{grupos positivos} / \text{total de individuos examinados} \times 100$ o $\times 1,000$.

Figura 2.5 Monitoreo para la encefalitis originada por el mosquito en el sur de California. (A) Jaula con 10 gallinas “centinelas”; (B) Tomando una muestra de sangre de una gallina; Colocando una trampa para mosquitos; (D) Clasificando mosquitos colectados, por especie para estimar abundancia relativa.



Razón de infección del vertebrado-huésped Zoonosis introducidas, como la plaga silvática en roedores norteamericanos, frecuentemente produce una mortalidad elevada que puede ser utilizada para monitorear epizooticos de estos parásitos sobre tiempo y espacio. En contraste, zoonosis endémicas raramente resultan en mortalidad del huésped vertebrado. Examinar los reservorios o los huéspedes amplificadores para infección es necesario para monitorear el nivel de transmisión del parásito enzoótico. El muestreo estratificado para estos parásitos (directamente por aislamiento del parásito o indirectamente por seroprevalencia) típicamente enfoca los jóvenes del año, para

determinar transmisión en progreso. Por ejemplo, examinar aves anidando para viremia puede proveer información del nivel de transmisión enzoótica del virus de la encefalitis.

Monitoreando la incidencia de individuos recientemente infectados en una población por unidad de tiempo, es necesario para detectar aumentos en actividad de transmisión. Porque muchos parásitos son difíciles de detectar o están presentes solamente por un tiempo limitado, el muestreo frecuentemente enfatiza el monitoreo de seropositividad.

Monitoreando el anticuerpo IgM, el cual aumenta rápidamente luego de la infección y decae también rápidamente, puede indicar el nivel de una infección reciente. Mientras que monitorear para el anticuerpo IgG documenta la experiencia histórica con el parásito. Muestreando, marcando, liberando y re-capturando y re-muestreando animales silvestres, es una forma muy útil de proveer información en tiempo y espacio de la infección en una población de animales de vida libre.

Razón de seroconversión de centinelas Los *centinelas* son típicamente animales que se monitorean a través del tiempo para cuantificar la prevalencia del parásito. Atrapar animales silvestres o pájaros es una labor intensiva y determinar seroprevalencia puede proveer poca información del tiempo y lugar de la infección, especialmente si el huésped viaja grandes distancias. Para evitar este problema, se pueden ubicar animales en jaulas o mantenerlos amarrados en el área, o se colocan animales domésticos con un historial infectivo conocido en áreas sensitivas y se muestrean repetidamente para detectar infección. Un centinela deseable debe poder ser picado frecuentemente por la especie del vector primario, fácilmente diagnosticado cuando infectado e incapaz de infectar vectores adicionales (no fungir como un huésped amplificador), no sucumbir a la infección y ser costo efectivo de mantener y sangrar (examinar) o muestrear para ser examinado. Las gallinas son centinelas muy útiles para programas de muestreo del virus de la encefalitis originada por mosquitos. Parvadas de gallinas seronegativas son colocadas en fincas y muestreadas semanalmente o cada dos semanas para determinar la seroconversión al virus. Como las aves están confinadas y la fecha de seroconversión se conoce, la fecha y el lugar de infección se puede determinar con exactitud, mientras que el número en seroconversión se utiliza para estimados de intensidad de transmisión.

Casos clínicos Detectar infección entre animales domésticos puede ser una indicación importante de una transmisión epizoótica se está desarrollando y que el riesgo de infección al ser humano es alto. Animales domésticos con frecuencia están más expuestos a vectores que los humanos y proveen una indicación más sensitiva de transmisión de parásitos. Casos clínicos humanos en áreas rurales en asociación cercana con ciclos de transmisión primaria, pueden ser predictivos de una futura transmisión epidémica en escenarios urbanos.

Enfermedades de origen vector frecuentemente afectan sólo un porcentaje bajo de la población humana y por lo tanto el control del vector se considera el método de intervención más escogido. Programas de control intentan mantener la abundancia del vector por debajo de los umbrales necesarios para la transmisión del parásito a humanos o a animales domésticos. Cuando estos programas fallan, la protección personal con ropa impregnada con repelentes o insecticidas, mosquiteros sobre la cama, o cortinas es frecuentemente el único recurso que las personas tienen. La vacunación puede ser una

alternativa viable de control para enfermedades específicas de origen vector, si la vacuna imparte inmunidad duradera, como es el caso en el virus de la fiebre amarilla. Sin embargo, muchos parásitos como el de la malaria, han evolucionado al punto de que generan respuestas inmunológicas leves que proveen sólo una protección marginal y de corto plazo. La necesidad de re-vacunación continua y a intervalos cortos limita severamente su utilidad, especialmente en países en desarrollo. Aunque recientes descubrimientos en la quemoterapia han sido exitosos en el manejo de ciertos casos, queda el mandato de los entomólogos médico/veterinarios en desarrollar estrategias que combinen lo epidemiológico y lo ecológico para reducir o eliminar el riesgo de enfermedades de origen vector.