

LA MATEMÁTICA DE LOS PIOJOS

La gran cantidad de mitos que rodean a los piojos han multiplicado las estrategias de control, que suelen ser poco efectivas. ¿Puede un modelo matemático ayudarnos a atacar este problema?

Sebastián Risau-Gusman y María Fabiana Laguna

16 Entonces el Señor dijo a Moisés: Di a Aarón: «Extiende tu vara y golpea el polvo de la tierra para que se convierta en piojos por toda la tierra de Egipto.»

17 Y así lo hicieron; y Aarón extendió su mano con su vara, y golpeó el polvo de la tierra, y hubo piojos en hombres y animales. Todo el polvo de la tierra se convirtió en piojos por todo el país de Egipto.

18 Y los magos trataron de producir piojos con sus encantamientos, pero no pudieron; hubo, pues, piojos en hombres y animales.

19 Entonces los magos dijeron a Faraón: Este es el dedo de Dios.

**Éxodo 8 - Biblia de las Américas
(Descripción de la tercera plaga de Egipto)**

Palabras clave: piojos, modelo matemático, pediculosis, epidemiología.

S. Risau-Gusman

Dr. en Física, Université Joseph Fourier, Grenoble, Francia.
Cjo. Nac. de Invest. Científicas y Técnicas (CONICET)
– Ctro. Atómico Bariloche, Argentina.
srisau@cab.cnea.gov.ar

M.F. Laguna

Dra. en Física, Inst. Balseiro, Univ. Nac. de Cuyo, Argentina.
Cjo. Nac. de Invest. Científicas y Técnicas (CONICET)
– Ctro. Atómico Bariloche, Argentina.
lagunaf@cab.cnea.gov.ar

Recibido: 26/06/2012 Aceptado: 29/08/2012



¿Qué son los piojos?

Los piojos son insectos sin alas, pertenecientes al orden *Phtiraptera*, compuesto por más de 5000 especies. Son todos ectoparásitos de aves y mamíferos y la mayoría vive en sectores específicos del cuerpo de su hospedador. Están altamente especializados, ya que los piojos de cada especie de mamíferos y aves no pueden sobrevivir si son transferidos a otra especie (ver el Apartado sobre Mitos). Físicamente esta especialización se manifiesta claramente en las adaptaciones que han desarrollado para mantener un contacto cercano con su hospedador. Estas adaptaciones se reflejan, por ejemplo, en su tamaño (de 0,5 mm a 8 mm), o en las garras con las que se sujetan firmemente a la superficie o al pelaje del animal.

Los piojos pueden separarse en dos grandes grupos: el de los *chupadores*, que son *hematófagos*, es decir que se alimentan de la sangre de su huésped, y el de los *masticadores*, que se alimentan de restos de piel, partes de plumas y secreciones sebáceas. Mientras los piojos masticadores son muy frecuentes tanto en mamíferos como en aves, los chupadores sólo se encuentran en mamíferos. Por lo tanto, todos los piojos humanos son hematófagos. Conozcamos un poco más sobre ellos.



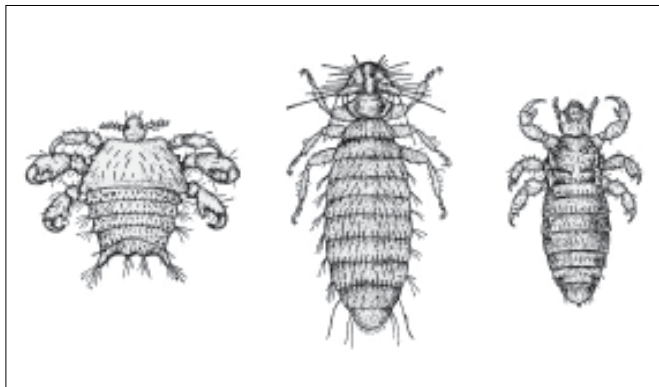
Los piojos del hombre

De los cientos de especies de piojos chupadores que existen, sólo tres infestan al hombre: el *piojo púbico*, o ladilla, el *piojo del cuerpo*, y el *piojo de la cabeza* (ver Figura 1).

El piojo púbico (*Phtirus pubis*) no se considera un riesgo serio para la salud pública porque no es vector de ninguna enfermedad conocida (es decir, no transmite enfermedades al hombre) y porque tiene un bajo nivel de prevalencia, de cerca del 2%. Sin embargo, como se transmite principalmente por contacto sexual, su presencia se usa para predecir enfermedades de transmisión sexual.

El piojo del cuerpo (*Pediculus humanus corporis*) es vector de varias enfermedades graves. Suele vivir en la ropa (por eso se lo llamó también *Pediculus*

Figura 1: Los tres piojos del hombre. De izquierda a derecha, piojo púbico (mide entre 1,1 y 1,8 mm), piojo del cuerpo (2,3 - 3,6 mm) y piojo de la cabeza (2,1 - 3,3 mm). Gentileza de North Carolina State University



vestimenti) y sólo pasa a la piel del hospedador para alimentarse. Se encuentra más frecuentemente en personas que viven en condiciones de hacinamiento y poca higiene, como refugiados de guerra o de desastres naturales, pero también entre indigentes. De hecho, fue el responsable de epidemias de tifus exantemático en campos de refugiados de Ruanda y Zaire a fines del siglo XX. Al principio se creyó que esta enfermedad se transmitía por la picadura de *Pediculus humanus corporis*, pero más tarde, después del contagio y muerte de varios investigadores pioneros, se descubrió que la transmisión se produce en realidad por las heces infectadas del piojo. El piojo del cuerpo no sólo transmite tifus (que no debe confundirse con la fiebre tifoidea), sino que fue también responsable de decenas de miles de muertes por la que se conoce como “fiebre de las trincheras” en las dos guerras mundiales (en la primera se reportó más de un millón de infestados con una mortalidad del 90%).

El tamaño y las características morfológicas del piojo de la cabeza (*pediculus humanus capitis*) lo acercan

mucho al piojo del cuerpo, pero, a diferencia de éste, no es vector de ninguna enfermedad conocida. Muchos dudan de que puedan ser considerados especies distintas, ya que las diferencias son principalmente ecológicas, y pueden incluso entrecruzarse. Estudios genéticos muestran que la divergencia genética entre estas dos especies se produjo hace aproximadamente 150.000 años. De hecho, se considera esta divergencia como el mejor indicador del momento en que los humanos comenzaron a usar ropas, debido a que la rápida degradación de las pieles animales hace imposible encontrar evidencias arqueológicas directas tan antiguas.

En la Figura 2 vemos un ejemplo, no sólo de la antigüedad sino también de la extensión geográfica de las infestaciones por piojos. A la izquierda se muestra un peine fino de 1.500 años de antigüedad encontrado en una excavación realizada en la ciudad de Antinoe, en Egipto, mientras que a la derecha se muestra una liendre en el pelo de una momia chilena de aproximadamente 3.500 años.

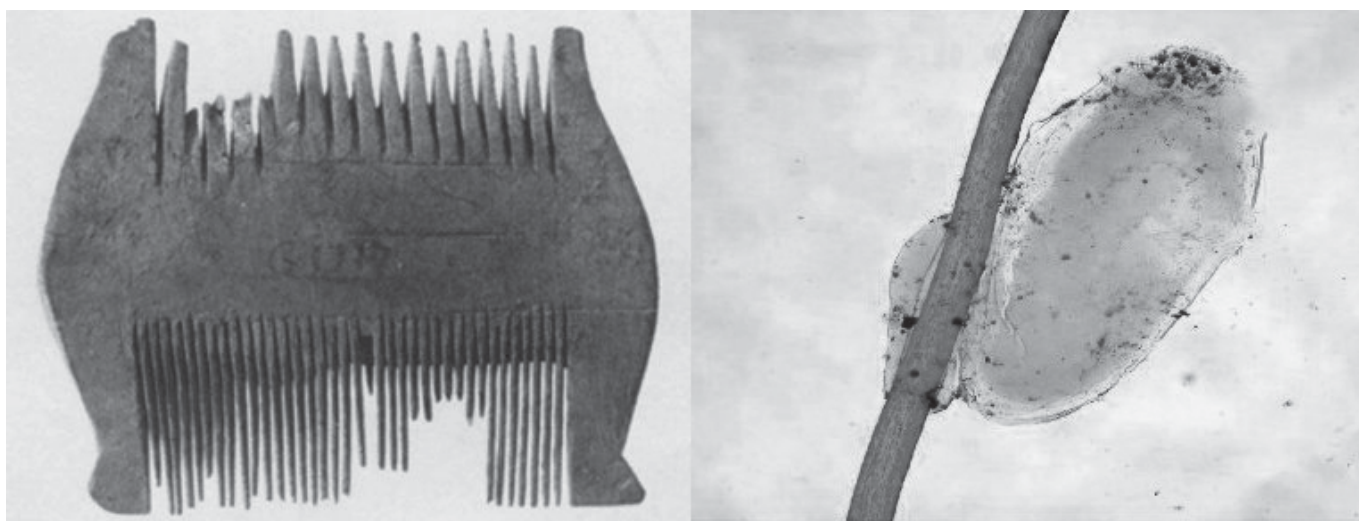


Figura 2: Primeras pruebas. Izquierda: peine fino de 1.500 años de antigüedad encontrado en una excavación realizada en la ciudad de Antinoe, en Egipto. Tomada de “Ancient Head Lice on a Wooden Comb from Antinoë, Egypt”, R.L. Palma. *Journal of Egyptian Archaeology* 77:194 (1991). **Derecha: liendre en el pelo de una momia chilena de aproximadamente 3.500 años.** Tomada de Mumcuoglu K.Y (2008) «Human lice: *Pediculus* and *Pthirus*», en Raoult D. y Drancourt M. (Eds), *Paleomicrobiology: Past Human Infections*. Springer-Verlag.



Intentos de control y erradicación

Con el desarrollo del insecticida dicloro-difenil-tricloroetano (DDT) a principios de la década del 40, se redujo enormemente la prevalencia de todos los tipos de piojos en los grupos humanos. Sin embargo, en las últimas décadas la prevalencia del piojo de la cabeza ha vuelto a ser muy importante. En casi todo el mundo se encuentran escuelas con cursos donde la mayoría de los alumnos están infestados.

A pesar de esta larga convivencia entre los piojos y los humanos, los tratamientos para controlar y erradicar la pediculosis han sido, a lo largo de la historia, tan numerosos como poco efectivos. Por ejemplo, en un antiguo tratado médico egipcio (el papiro Ebers) encontramos una interesante anticipación del uso de aerosoles cuando recomienda “mezclar una parte de harina de dátiles y otra de agua y calentar. Mientras aún esta tibia, sorber una bocanada de la mezcla y escupirla rociando la parte del cuerpo infestada por los parásitos.” Las cosas no parecen haber mejorado mucho en los 3.500 años siguientes. Por ejemplo, la página de Internet www.ehow.com recomienda a las sufridas madres “cubrir toda la cabeza del niño con una gruesa capa de mayonesa” y luego ponerle al infante una “gorra para la ducha y dejar que la mayonesa actúe entre 6 y 8 horas”. En las variantes menos calóricas de este tratamiento se prefiere el aceite de oliva.

En tiempos más recientes, el desarrollo paralelo de la química y el capitalismo ha generado la floreciente industria de los pediculicidas, lo que ha transformado a la pediculosis en un problema principalmente económico, en términos de salud pública. Se calcula que, sólo en Estados Unidos, se gastan aproximadamente 240 millones de dólares anuales en champús que contienen permetrina, que es apenas uno de los varios químicos disponibles. Sin embargo, la evidencia sobre la efectividad de los diversos productos es muy escasa. En 2006 una revisión de 71 estudios sobre pediculicidas determinó que apenas 4 satisfacían criterios mínimos de confiabilidad. Un problema adicional es que, por cuestiones éticas evidentes, la mayoría



de estos estudios se realizan *in vitro*, en condiciones muy artificiales. Exige un cierto esfuerzo de imaginación extrapolar el resultado de lo que le ocurre a un piojo sobre un disco de algodón embebido en champú dentro de una caja de Petri a lo que ocurrirá cuando se use ese mismo producto en la cabeza de un chico.

Dado este panorama, es natural pensar que nada se pierde tratando de abordar esta problemática desde un ángulo diferente.



Modelos matemáticos

Un modelo matemático es un conjunto de reglas que representan una versión simplificada del objeto bajo estudio. Se utilizan para estudiar los mecanismos subyacentes de sistemas complejos, y proporcionan un marco adecuado para integrar los datos conocidos y hacer predicciones sobre el sistema a estudiar. En particular, los modelos para estudiar poblaciones animales tienen una larga historia. Hay, inclusive, algunos modelos matemáticos para estudiar poblaciones de algunos ectoparásitos como las garrapatas o las pulgas.

La epidemiología matemática, que se ocupa de estudiar modelos de propagación de enfermedades infecciosas, es ya una disciplina bien establecida que es frecuentemente utilizada para evaluar el posible impacto de políticas de salud pública. Si bien las publicaciones sobre epidemiología matemática de una gran cantidad de enfermedades han crecido muchísimo en los últimos años, una búsqueda en la literatura de modelos de pediculosis arroja sólo dos resultados. Uno de ellos está en una revista rusa (¡y no hay traducción!) y el otro modela la propagación de la pediculosis como si fuera una enfermedad clásica: los individuos se dividen simplemente en dos grupos: el de los “susceptibles” y el de los “infectados” (Ver artículo “Ir y venir de las epidemias”).

Pero la pediculosis no es una enfermedad sino una infestación, y por lo tanto debe abordarse de forma diferente a las enfermedades habituales, en las que sólo se considera que la persona está enferma o sana. En el caso de la pediculosis importa saber cuántos piojos tiene cada persona (porque de eso dependerá, por ejemplo, cuánto tiempo le lleve «curarse», o a cuántas personas pueda contagiar). Por eso mismo, es importante conocer cómo evolucionan las poblaciones de piojos. Y para esto es esencial utilizar información lo más detallada posible sobre la biología del piojo. En

Figura 3: Piojo de la cabeza (macho adulto) aferrado al pelo. Se observan claramente sus garras muy desarrolladas, especialmente en las patas delanteras.

Imagen de Gilles San Martin (tomado de Wikimedia Commons).



Figura 4: Algunas etapas de la vida de un piojo. De izquierda a derecha: ninfa en su primera muda, ninfa en su segunda muda, ninfa en su tercera muda, piojo adulto macho y piojo adulto hembra. Imagen cortesía de Purdue University.

lo que sigue reseñaremos brevemente sus características más importantes.

Parámetros vitales y ciclo de vida del piojo

Aristóteles creía que los piojos se generaban espontáneamente del sudor y otras secreciones corporales “cuando éstas se secan en la superficie del cuerpo”. Si bien sabía que los piojos “generan” liendres, suponía que “éstas no generan nada”. Sus ideas sobrevivieron durante al menos 2.000 años. Puede decirse que el punto álgido del estudio de la biología del piojo fue durante el período que abarcó las dos guerras mundiales. A partir de la baja de la prevalencia en la posguerra, el interés en estos parásitos decayó marcadamente y es apenas en las dos últimas décadas que se ha retomado seriamente su estudio. Quizás ésta sea la razón por la cual muchos malentendidos han sobrevivido hasta nuestros días (ver Apartado sobre Mitos).

Es curioso ver que el diccionario de la Real Academia Española define a los piojos como “insectos hemípteros”, emparentándolos con las chinches. Sin

embargo, a diferencia de éstas, los piojos no tienen alas y viven exclusivamente sobre el cuerpo de su hospedador, del que obtienen su único alimento, la sangre. Se alimentan entre 4 y 10 veces por día perforando el cuero cabelludo. La picadura es totalmente indolora, y las cantidades de sangre extraídas son mínimas. Lo único que delata su presencia es la posible alergia provocada por el anticoagulante que el piojo deposita en la picadura. Sin embargo, la intensidad de estas reacciones alérgicas, y el prurito asociado, dependen fuertemente de la sensibilidad del hospedador. Se han reportado casos de personas con infestaciones severas, de cientos de piojos, que no perciben su presencia.

Los piojos de la cabeza han desarrollado adaptaciones muy específicas. Sus tres pares de patas no les permiten saltar, pero sus terminaciones en forma de «pinza», les sirven para agarrarse fuertemente y para trasladarse de pelo en pelo (ver Figura 3). Por ello, el mecanismo de contagio más frecuente es el contacto directo entre cabezas, momento en el que el piojo puede agarrar un pelo de otra cabeza y “mudarse”.

	Eclosión	Ninfa (1° m)	Ninfa (2° m)	Ninfa (3° m)	Adulto	Huevo
Medio	8.4	3.0	5.2	8.0	20.2	4.9
Mín-Máx	7 - 11	3 - 4	5 - 7	8 - 9	12 - 13	1 - 6

Tabla 1: Duración de cada etapa de la vida del piojo, expresada en días. Última columna: número de huevos por hembra por día. Primera línea: valor medio. Segunda: valores mínimos y máximos observados. Fue construida a partir de los datos reportados en Takano-Lee *et al.* (2003) “In vivo and in vitro rearing of *Pediculus Humanus Capitis* (Anoplura: Pediculidae)”, *Journal of Medical Entomology*, 40, pp. 628-635.

Figura 5: Vector que representa el estado de una población de piojos. Cada componente corresponde a un estado, y el número indica la cantidad de individuos en ese estado. Las flechas en la parte superior del vector indican las transiciones posibles entre estados. Las de abajo, muestran las posibilidades de crecimiento de la colonia a través de la puesta de huevos de los individuos hembra en la etapa adulta.

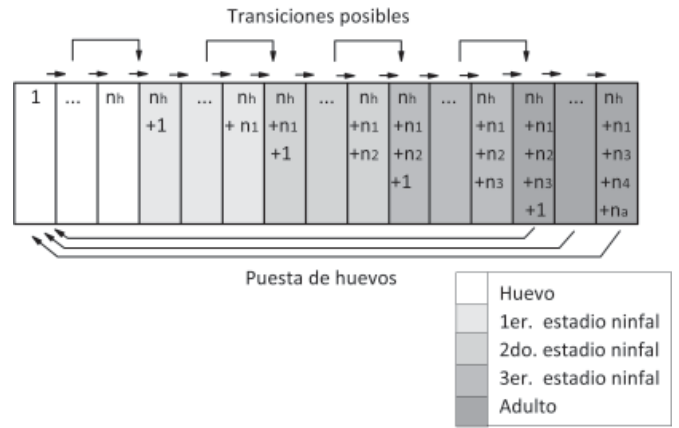
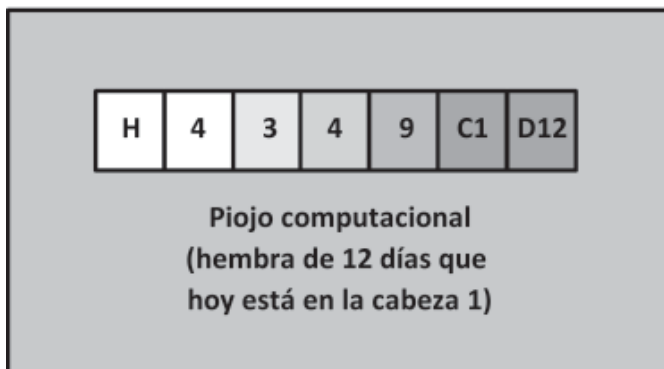


Ilustración: M.F. Laguna y S. Risau-Gusman

Fuera de una cabeza el piojo no puede alimentarse, pero puede sobrevivir sin comer hasta dos días, y resiste más de un día sumergido en agua. Si bien esto hace que, en principio, también podamos contagiarnos en una almohada, en la piletta, o compartiendo gorros o abrigos, estas formas de contagio son muchísimo menos probables que el contagio directo.

La vida del piojo consta de tres etapas: huevo, ninfa y adulto. La etapa de ninfa se divide en tres «mudas», en las que la ninfa va aumentando progresivamente de tamaño (ver Figura 4). Una hembra adulta pone un promedio de 5 huevos por día. Los deposita en el pelo, cerca del cuero cabelludo, adhiriéndolos con un pegamento muy resistente que fabrica ella misma. Los huevos eclosionan en aproximadamente 8 días, dando lugar a una ninfa. Durante esta etapa el piojo sólo se alimenta y crece, pero aún no puede reproducirse. Aproximadamente 20 días después la ninfa se hace adulta y vive cerca de 20 días más. Una vez fecundada, una hembra puede generar decenas de huevos, por lo cual es capaz de generar una infestación masiva al pasar a una cabeza «virgen».

La duración de cada una de las etapas del piojo, así como la cantidad promedio de huevos puestos cada día, está expresada en la Tabla 1, construida a partir de los datos obtenidos en colonias de piojos criados en laboratorio. Estos datos son el punto de partida para diseñar un modelo matemático que nos permita estudiar el comportamiento de una colonia de piojos.



Modelando colonias de piojos

Para estudiar el problema, caracterizamos la población de piojos por la cantidad de individuos en cada estado. El estado está determinado tanto por el estadio en el que se encuentra como también la cantidad de días que ha pasado en esa etapa. Así, la colonia estará caracterizada por un vector (que es un conjunto ordenado de números) cuyas componentes corresponden al número de piojos en cada una de las etapas posibles.

Consideramos cinco estadios: huevo, tres etapas de ninfa, y adulto. Las duraciones máximas son, respectivamente n_h , n_1 , n_2 , n_3 y n_a (sus valores están en la segunda fila de la Tabla 1). Entonces, el vector de la población tendrá $n_h + n_1 + n_2 + n_3 + n_a$ componentes. Una representación gráfica puede verse en la figura 5. La primera componente, por ejemplo, corresponde al número de huevos puestos ese día. La segunda al número de huevos de 1 día de edad, etc. La componente $n_h + 1$ da el número de ninfas que acaban de eclosionar, la $n_h + 2$ las ninfas eclosionadas 1 día antes, etc. En principio, pueden ocurrir transiciones desde cualquier componente de cualquier estadio, a la primera componente del estadio siguiente. Esto es necesario para tener en cuenta que no todos los huevos eclosionan el mismo día, ni todas las ninfas se vuelven adultas luego del mismo período de tiempo. Las probabilidades de transición se calculan a partir de datos publicados sobre colonias de piojos, y se incluyen en lo que se llama matriz de Leslie-Lefkovich. Para obtener el vector correspondiente al día t se multiplica la matriz por el vector correspondiente al día $t-1$.

Figura 6: Representación gráfica de un "piojo computacional". En las simulaciones, cada piojo es representado por un vector cuyos componentes indican los parámetros vitales de ese individuo particular.

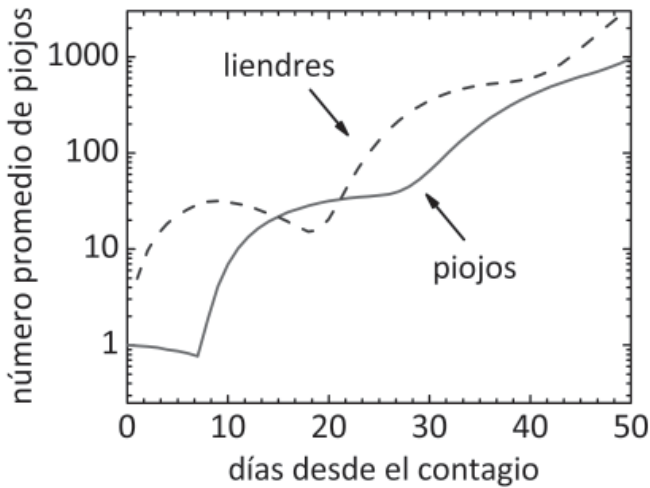


Figura 7: Evolución del número de piojos en una colonia. Cada punto es el promedio de 1.000 simulaciones distintas. En cada una los parámetros vitales de cada piojo se eligieron al azar usando distribuciones obtenidas con piojos reales.

Dado un cierto estado inicial (como por ejemplo uno con una sola hembra adulta), este formalismo nos permite obtener la evolución *promedio* de la colonia. Pero esta evolución puede diferir de lo que le ocurre a una colonia particular que parte de ese estado inicial, sobre todo cuando la colonia tiene pocos individuos. Por ejemplo, si en nuestro modelo el día t hay x_t huevos de 7 días, y su probabilidad de eclosionar es 0,5, en el día $t+1$ habrán eclosionado $x_t/2$ huevos. En una colonia real, si la cantidad de huevos es 1.000, y la probabilidad de eclosión es la misma, al día siguiente habrán eclosionado unos 500 huevos, como predice el modelo. Pero si en vez de 1.000 hay sólo 5, al día siguiente podrán haber eclosionado 2, 3 o incluso ningún huevo. O sea que la cantidad real de huevos *fluctúa* mucho cuando las colonias se componen de pocos individuos.

Para modelar adecuadamente la evolución de colonias individuales con sus fluctuaciones, hicimos simulaciones numéricas. En este caso usamos un vector por cada piojo que tenemos en la colonia, que es ahora simplemente un conjunto de vectores. Y las componentes de cada vector indican los parámetros vitales asignados a ese piojo en particular. Así, la primera componente del vector nos dirá si ese piojo es macho o hembra, la segunda nos dirá cuántos días le llevará eclosionar, la tercera cuánto durará su etapa de ninfa, etc. En la Figura 6 se muestra un ejemplo del vector correspondiente a un piojo hembra que eclosiona a los 4 días, tiene su primera muda 3 días después, la segunda 4 días después, y vive 9 días como adulta. Los últimos dos lugares son números que van cambiando a lo largo de la simulación: el último indica cuántos días hace que "nació", y el anterior indica en cuál cabeza del grupo se encuentra durante ese día. Nuevamente, las reglas de evolución de estos "piojos computacionales" estarán dadas por la evolución que conocemos de los piojos reales.

En nuestras simulaciones, una colonia de piojos comienza con una hembra adulta que podrá poner huevos durante el tiempo que tenga de vida. Los parámetros vitales de cada nuevo individuo se toman

al azar de las distribuciones de probabilidad obtenidas de los datos reales. En un "día computacional" los individuos que componen la colonia nacen, crecen, se reproducen y mueren imitando el comportamiento de los piojos reales. Y a medida que pasa el tiempo, la colonia tiene cada vez más individuos. Para modelar un tratamiento (uso de productos químicos o peine fino) simplemente eliminamos de la colonia un día dado, un número de piojos proporcional a la efectividad del tratamiento que queremos probar. Y para estudiar el contagio, reservamos una componente del vector que nos indica en qué cabeza está el piojo. Entonces podemos modelar varias colonias (o varias cabezas) y permitir que los vectores cambien de cabeza con una probabilidad dada.



Haciendo cuentas

La siguiente pregunta puede responderse fácilmente con lo que leímos hasta acá: Una persona que se contagia hoy un piojo, ¿cuántos tendrá dentro de un mes? Usando la información sobre el ciclo vital del piojo podemos hacer esta cuenta "a mano". Si suponemos, para facilitar el cálculo, que este piojo es una hembra adulta que pone exactamente 5 huevos por día, encontramos que luego de un mes la colonia se compondría de unos cien piojos. Si hacemos el mismo cálculo muchas veces, suponiendo que la hembra pone un número variable de huevos, encontramos el resultado de la Figura 7. Las curvas muestran la evolución de la colonia a lo largo del tiempo: la línea punteada para el número de liendres y la línea llena para el número de piojos (ninfas y adultos). Mirando lo que pasa el día 30, vemos que, efectivamente, deberíamos tener unos cien piojos (y más de doscientas liendres) al mes de habernos contagiado.

Sin embargo, esto no es lo que se observa en la realidad. Los reportes sobre chicos infestados indican que en cada cabeza encuentran unos diez o veinte piojos, como mucho. ¿A dónde se fueron los que faltan?

Hay al menos dos explicaciones distintas de esta discrepancia, y ambas pueden ser analizadas con nuestro modelo. Una de ellas dice que la tasa de creci-

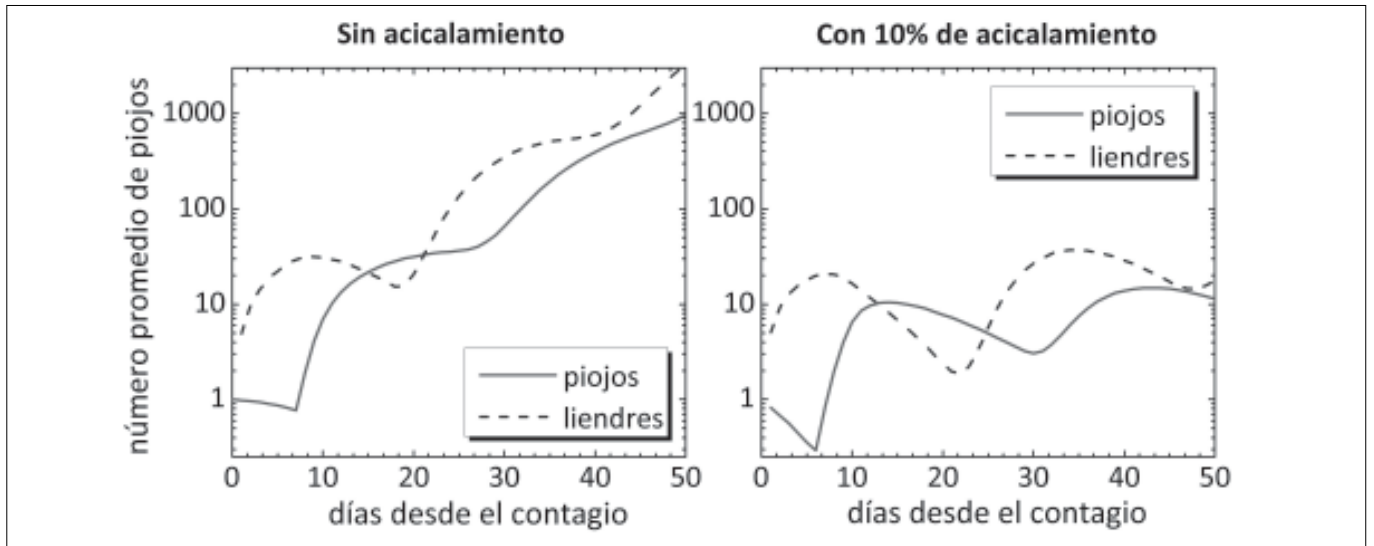


Ilustración: M.F. Laguna y S. Risau-Gusman

Figura 8: Evolución de una colonia de piojos sin acicalamiento (izquierda) y con un acicalamiento del 10%, lo que corresponde a eliminar diariamente un piojo de cada diez (derecha).

miento de la colonia es menor debido a la reacción de nuestro sistema inmune, que podría disminuir la cantidad de sangre absorbida por el piojo o hacerla menos beneficiosa, reduciendo en consecuencia su éxito reproductivo. Con nuestro modelo encontramos que, para obtener los resultados observados en la realidad, cada hembra debería poner sólo un huevo por semana. Este número es mucho menor que el valor “natural” de cinco huevos diarios. Por otro lado, existen estudios llevados a cabo con piojos puestos a alimentarse en conejos que han sido específicamente inmunizados. Esta inmunización debería tener un efecto aún mayor que la respuesta inmune disparada espontáneamente. A pesar de esto, el efecto sobre el piojo hembra es disminuir el número de huevos a uno o dos por día, lo cual está todavía muy lejos del valor crítico de un huevo por semana. Esto sugiere que es poco probable que el control de la población de piojos esté dado por una disminución del éxito reproductivo de la hembra causado por nuestro sistema inmune.

Otra posible explicación del número bajo de piojos es lo que se conoce como auto-acicalamiento del hospedador (en este caso, nosotros). Esto incluye tareas como peinarse, lavarse y cepillarse el cabello, rasarse, etc. Estas actividades, en principio, no se hacen conscientemente para erradicar los piojos. Sin embargo, con estos procedimientos se elimina diariamente un número bajo de piojos (pero no liendres, ya que están pegadas al pelo). La pregunta que podemos hacernos es: ¿cuántos piojos deberíamos eliminar con el acicalamiento para llegar a los valores observados? Con el modelo encontramos que alcanza con eliminar diariamente uno de cada diez piojos. Esto se muestra en la Figura 8, en donde se comparan las evoluciones de las colonias sin acicalamiento y con un acicalamiento del 10%.

Este resultado sugiere que el mecanismo más probable de control de las poblaciones de piojos en humanos es la remoción por medio del acicalamiento, y no la reducción de su capacidad reproductiva como consecuencia de una respuesta inmune.

¿Qué nos dice el modelo sobre los tratamientos?

Supongamos que Juan y Pedro son compañeros de banco en la escuela. A ambos les detectaron piojos y comenzaron un tratamiento el mismo día. El tratamiento de Juan consiste en la aplicación del peine fino una vez por semana. A Pedro le revisan la cabeza todos los días y le pasan el peine sólo cuando observan la presencia de piojos. Supongamos que en ambos casos la efectividad del peine fino es del 100% para eliminar piojos y 10% para eliminar liendres. Esto significa que en cada aplicación, se eliminan todos los piojos (adultos y ninfas) pero sólo una de cada 10 liendres ¿En cuál de los dos se eliminará primero la infestación?

Aunque parezca raro, Juan tiene más probabilidades de eliminarla antes. La primera pasada de peine eliminó todos los piojos de Juan, pero quedaron casi todas las liendres. La segunda pasada elimina todas las ninfas nacidas durante esa semana, antes de que crezcan y puedan poner huevos. La tercera pasada elimina las ninfas que nacieron más tarde. De esta manera, en tres semanas se deshizo de los piojos. Si la efectividad del peine hubiera sido del 80% en lugar del 100%, Juan hubiera necesitado seis pasadas en lugar de tres. El tratamiento de Juan se denomina *sistemático*, ya que se realiza de manera periódica y no depende de la observación de la presencia o no de piojos (salvo para comenzar el tratamiento). Una ventaja fundamental en este tratamiento es que las aplicaciones sucesivas se sincronizan con el ciclo vital del piojo.

Ilustración: M.F. Laguna y S. Risau-Gusman

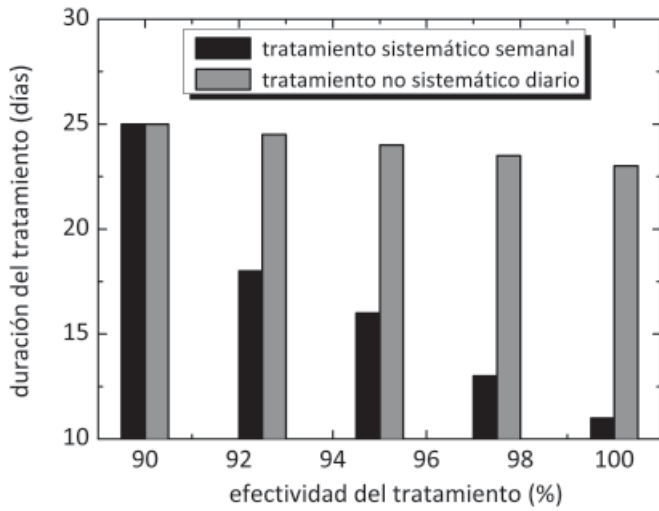


Figura 9: Duración de dos tratamientos diferentes para diferentes efectividades como pediculicidas. En todos los casos se tomó la eficacia ovicida al 10%.



¿Qué nos dice el modelo sobre contagio?

Como todos sabemos, el contagio en escuelas y hogares es muy difícil de controlar, y está básicamente relacionado con los hábitos de juego de los niños en edad escolar. Por ejemplo, se estima que la razón de que las infestaciones sean más frecuentes en las niñas tiene que ver, al menos en parte, con el hecho de que sus patrones de juego son más estáticos y físicamente próximos, lo que aumenta grandemente la probabilidad de que sus cabezas estén en contacto. Entonces, no pudiendo eliminar el contagio, debemos pensar estrategias para eliminar una infestación colectiva (es decir, de todo un grupo). Las encuestas en colegios indican que en algún momento todos los chicos empiezan algún tipo de tratamiento. Esta idea puede implementarse también en las simulaciones, suponiendo que todos los individuos recurren a algún tipo de tratamiento al detectar la presencia de piojos.

Una de las lamentables consecuencias de la estigmatización asociada a las infestaciones de piojos es que muchos padres suelen ser reacios a informar que sus hijos están infestados. Sin embargo, nuestro modelo confirma que, en términos colectivos, los mejores resultados se obtienen si los tratamientos son no sólo sistemáticos sino también sincronizados. En otras

El tratamiento de Pedro se denomina *no sistemático* ya que no se realiza de manera periódica y, más aún, depende de la “buena vista” de quien decide si se hace o no la aplicación. En el proceso de revisar una cabeza, es muy frecuente que algunos piojos escapen a la observación. Cuando eso sucede, la no aplicación del peine puede dar lugar a que el proceso de puesta de huevos se inicie nuevamente. Esto lleva a retrasos importantes en el proceso de eliminación de la infestación. En la Figura 9 comparamos estos dos tipos de tratamiento. De la misma queda claro que los tratamientos sistemáticos son mucho más efectivos que los no sistemáticos. Hay que destacar que en nuestro trabajo no hacemos ninguna distinción entre champú y peine fino, ya que simplemente caracterizamos los tratamientos por su eficiencia cada vez que se aplican. Esta eficiencia es un dato que suele reportarse en la literatura científica.

Nuestro modelo nos permite también analizar la relación entre la duración de un tratamiento y el número de aplicaciones de champú o de pasadas de peine fino. Por ejemplo, es fácil ver que pasando el peine fino todos los días se elimina la infestación en aproximadamente 8 días (si no hay contagios, evidentemente). Pero en general, tanto las pasadas de peine como los lavados con champú generan cierto estrés, y sería recomendable minimizar su número. Con nuestro modelo comprobamos que, como se describe más arriba, se puede eliminar la infestación con sólo tres pasadas de peine (o quizás 4) si se aplican cada siete días. Si bien esto hace que la infestación dure bastante más (tres semanas contra 8 días), el estrés que le causa al niño es bastante menor.

Figura 10: Duración de la infestación en un grupo de 20 chicos. La mejor estrategia es un tratamiento sistemático y sincronizado.

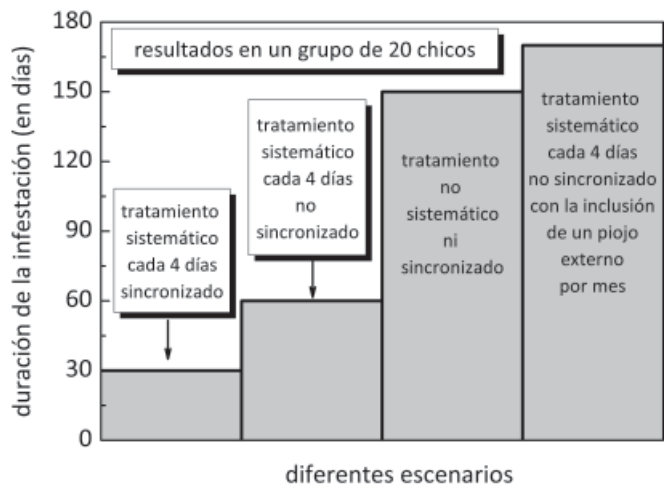


Ilustración: M.F. Laguna y S. Risau-Gusman

palabras: lo mejor es ponerse de acuerdo y tratar a todo el grupo al mismo tiempo. Veamos el siguiente ejemplo:

Supongamos que a un grupo de 20 chicos infestados se les realiza un tratamiento que consiste en aplicaciones (que pueden ser de champú o de peine fino) cada 4 días, y que la efectividad de cada aplicación es del 80%. Si todos comienzan el tratamiento el mismo día, la infestación dura la mitad del tiempo que si empiezan a tratarse en días diferentes. Y si además de no empezar el mismo día cada chico hace un tratamiento no sistemático, la infestación puede durar ¡hasta 10 veces más! En la Figura 10 mostramos la duración de la infestación en un grupo de 20 chicos para diferentes escenarios.

En los casos estudiados hasta ahora, no consideramos el efecto de un posible contagio en el entorno familiar. Si permitimos la inclusión de un “piojo externo” cada cierto número de días, se produce un incremento significativo en la duración de la infestación colectiva. Como ejemplo, supongamos que se introduce una hembra adulta en alguna de las 20 cabezas en las cuales se realiza un tratamiento sistemático cada cuatro días. Si esto ocurre aproximadamente una vez

por mes, la duración de la infestación colectiva pasa de dos meses a casi seis meses. Y si se introduce una hembra cada dos semanas, la infestación puede durar años. Sin embargo, el incremento en la prevalencia (es decir, la fracción de cabezas infestadas) es mucho menos significativo. O sea que si bien hay piojos durante mucho tiempo en grupo, son pocos los chicos que los tienen. En los ejemplos dados se encuentra una prevalencia de entre el 10% y el 20%, valores que se comparan muy bien con los reportados.

En nuestro modelo asumimos que los padres detectan la infestación de sus hijos cuando hay entre 10 y 20 piojos. Pero puede ocurrir que en algunos pocos casos la infestación no sea detectada hasta que la población de piojos sea mucho mayor. Analizando este caso con nuestro modelo, vemos que la presencia de un caso así (al que se suele denominar superdifusor) no sólo multiplica por 4 la duración típica de una infestación colectiva, sino que también aumenta mucho la fracción de chicos infestados (casi en la misma proporción). Es importante señalar que la infestación persiste por bastante tiempo incluso después que el superdifusor se “curó”.

Mitos

- **Los piojos saltan de cabeza a cabeza.** No saltan porque no pueden, ya que sus patas sólo sirven para agarrarse al pelo.
- **Los chicos se contagian piojos en la pileta.** Es extremadamente improbable, ya que incluso si los piojos se soltaran del pelo, estarían demasiado aturdidos como para pasarse a otra cabeza.
- **Los piojos que caen de la cabeza quedan en la alfombra o en las mascotas que tengamos.** En este caso el piojo ya no puede alimentarse, y si bien puede sobrevivir algunas horas, al poco tiempo ya estará muy débil como para volver a una cabeza.
- **Cuando un chico tiene piojos hay que lavar y desinfectar toda su ropa.** Como dijimos antes, fuera de la cabeza los piojos sobreviven muy poco tiempo y es extremadamente improbable que puedan volver a una cabeza. Así que el esfuerzo de lavar y desinfectar todo no vale la pena.
- **El peine fino debe ser lavado en agua muy caliente y desinfectado.** Esto es inútil, porque los piojos no transmiten enfermedades. Basta con sacar los piojos del peine, que se ven fácilmente. Por otra parte, las liendres que son removidas con el peine no pueden volver a fijarse al cabello, y dado que sólo eclosionarán si todo el proceso de incubado transcurre a una temperatura constante (la que tenemos en la cabeza), tampoco resulta necesario eliminarlas del peine con demasiado cuidado.
- **Los piojos prefieren las cabezas sucias.** Este es probablemente el prejuicio más extendido y más antiguo (ya el naturalista romano Plinio el Viejo decía “Los piojos se originan en los cuerpos sucios e impuros”). No hay absolutamente ninguna evidencia de esto, y va incluso en contra de la lógica, ya que los piojos de la cabeza se alimentan de sangre y no de lo que haya sobre la piel (como ocurre, por otro lado, con los piojos de otros animales). Sí hay una relación evidente entre los piojos y el hacinamiento, dadas las mayores posibilidades de tener cabezas en contacto.
- **La presencia de liendres delata una infestación.** No necesariamente. Las ninfas salen de su huevo sin romperlo, así que en general los huevos que se ven están vacíos. Sin embargo, debido a lo resistente de su pegamento quedan mucho tiempo adheridos al pelo, incluso semanas después de que la infestación ha sido completamente eliminada.

En resumen

La mejor estrategia para eliminar una infestación colectiva en un tiempo razonable parece ser la aplicación sincronizada de un mismo tratamiento sistemático. En otras palabras: es fundamental que los tratamientos comiencen el mismo día y todas las aplicaciones sucesivas se realicen el mismo día.

Si las aplicaciones se hacen con cuidado, serían suficientes 3 aplicaciones separadas una semana entre sí para eliminar una infestación en una cabeza aislada.

El contagio no se puede evitar, por lo que resulta poco probable que podamos deshacernos completamente de los piojos. Pero usando las estrategias correctas podemos mantenerlos bajo control, disminuyendo significativamente la gravedad de las infestaciones.

Creemos que la principal fortaleza de este modelo reside en la posibilidad de adecuarlo para analizar las estrategias prácticas sugeridas para erradicar piojos en grupos humanos reales, y en contextos específicos reales.

GLOSARIO

Ectoparásito: Parásito que vive en la superficie de otro organismo parasitado. Son ejemplos las pulgas y los piojos.

Infestación: Es la invasión de un organismo vivo por agentes parásitos externos o internos. La diferencia fundamental con el término *infección* es que este último se aplica exclusivamente a microorganismos.

Sistema complejo: Sistema de muchos componentes cuyo comportamiento colectivo no puede deducirse a partir del comportamiento de sus individuos aislados.

Pediculosis: Infestación por piojos.

Pediculicida: Toda sustancia o procedimiento capaz de eliminar piojos adultos y ninfas.

Ovicida: Toda sustancia o procedimiento capaz de eliminar huevos de piojos (liendres).

Prevalencia: Proporción de personas infestadas en una población dada.

Simulación numérica: Recreación matemática de un proceso natural. Difiere de un modelo matemático en que las simulaciones constituyen una representación en cada instante del proceso a simular mientras que el modelo es una abstracción matemática de las ecuaciones fundamentales necesarias para estudiar dicho fenómeno.



CHOCOLATES PATAGÓNICOS

Mitre 660 - S. C. de Bariloche

www.tantefrida.com

Lecturas sugeridas

Laguna M. F., Risau-Gusman S. (2011). Of Lice and Math: Using Models to Understand and Control Populations of Head Lice. *PLoS ONE*, 6(7).

Una interesante revisión sobre el tema:

Zúñiga Carrasco I. R. y Caro Lozano J. (2010)

Pediculosis: Una ectoparasitosis emergente en México
Revista de Enfermedades Infecciosas en Pediatría Vol. XXIV Núm. 94.

www.enfermedadesinfecciosas.com/files/num94/artrev01_94.pdf

Dos ejemplos de la situación en Argentina:

de Villalobos, C., Ranalletta, M., Sarandón, R. y

González, A. (2003) La pediculosis de ayer y de hoy.

Un estudio epidemiológico sobre la infestación de

Pediculus capitis en niños de La Plata, Buenos Aires, Argentina *Entomol. Vect.* 10 (4): 567-577.

www.bdigital.unal.edu.co/667/1/596892.2007.pdf

Tolosa, A., Vassena, C., Gallardo, A., González-Audino,

P. y Picollo, M.I. (2009) Epidemiology of Pediculosis

capitis in elementary schools of Buenos Aires,

Argentina. *Parasitol Res* (2009) 104:1295–1298 [http://rd.springer.com/article/10.1007/s00436-008-1324-](http://rd.springer.com/article/10.1007/s00436-008-1324-6/fulltext.html)

[6/fulltext.html](http://rd.springer.com/article/10.1007/s00436-008-1324-6/fulltext.html)

Una tesis de maestría sobre el problema social que representan los piojos:

Muñoz Torres, E. (2007) Representaciones sociales sobre pediculosis en las profesoras, señoras de servicios generales, padres de familia y niños del jardín infantil de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Tesis de Maestría. En phthiraptera.info/Publications/46952.pdf