

# TEMAS DE BIOLOGÍA Y GEOLOGÍA DEL NOA

ISSN 1853-6700

Revista de Divulgación Científica del Instituto de Bio y Geociencias

ARTÍCULO

El mosquito *Aedes aegypti*  
en Argentina

ARTÍCULO

Paleomagnetismo

ARTÍCULO

Ranas con desarrollo  
directo

CONICET



I B I G E O

# TEMAS DE BIOLOGÍA Y GEOLOGÍA DEL NOA

Revista de Divulgación Científica del Instituto de Bio y Geociencias

Volumen 9, Número 2, Agosto 2019

ISSN 1853-6700

## Comité Editorial

Marissa Fabrezi. IBIGEO, CCT SALTA - JUJUY.

Carolina Montero. IBIGEO, CCT SALTA - JUJUY.

Silvia Quinzio. IBIGEO, CCT SALTA - JUJUY.

## ARTÍCULOS

Pág. 27 - *Aedes aegypti* en argentina y su rol como vector de enfermedades

Gil JF, Castillo P, Mangudo C, Abán Moreyra DN, Escalada A, Copa GN

Pág. 45 - Paleomagnetismo: Lo que las rocas saben (y cuentan) sobre el campo magnético de la Tierra  
Geuna S

Pág. 70 - Quisiera ser grande (sin metamorfosear en el intento)

Goldberg J, Vera Candiotti F

## Imagen de tapa

Catástrofe ambiental 2019 en el Amazonas: bosque devastado por el fuego.

Tomado de <https://www.infobae.com/america/fotos/2019/09/03/incendios-en-el-amazonas-impresionantes-imagenes-de-la-selva-arrasada-por-las-llamas/>

Diseño Julia del Val

I B I G E O

IBIGEO INSTITUTO DE BIO Y GEOCIENCIAS DEL NOA

<https://ibigeo.conicet.gov.ar/>

CCT-Salta-Jujuy  
9 de julio 14  
Rosario de Lerma-4405 (Salta)  
República Argentina

Es una Unidad Ejecutora de doble pertenencia CONICET-Universidad Nacional de Salta.

El IBIGEO tiene entre sus objetivos principales: 1) planificar y ejecutar investigaciones en diversos temas relacionados con los recursos naturales de la región; 2) promover la difusión de los resultados de las investigaciones en el ámbito científico; 3) participar en la formación de recursos humanos universitarios de grado y postgrado; 4) colaborar en la organización de conferencias, reuniones y cursos; 5) asesorar en ámbitos públicos y/o privados para la planificación y/o resolución de problemas; y 6) estimular el interés del público por las ciencias y difundir el conocimiento generado por el estudio de temas específicos de la región.



I B I G E O

# Aedes aegypti en Argentina y su rol como vector de enfermedades

José F. Gil<sup>1,2</sup>, Paola Castillo<sup>1</sup>, Carolina Mangudo<sup>1</sup>, Daira N. Abán Moreyra<sup>1</sup>, Andrés Escalada<sup>2</sup>, Griselda N. Copa<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Investigaciones en Energía no Convencional (INENCO-CONICET).

<sup>2</sup>Instituto de Investigaciones de Enfermedades Tropicales, Universidad Nacional de Salta, Sede Oran.

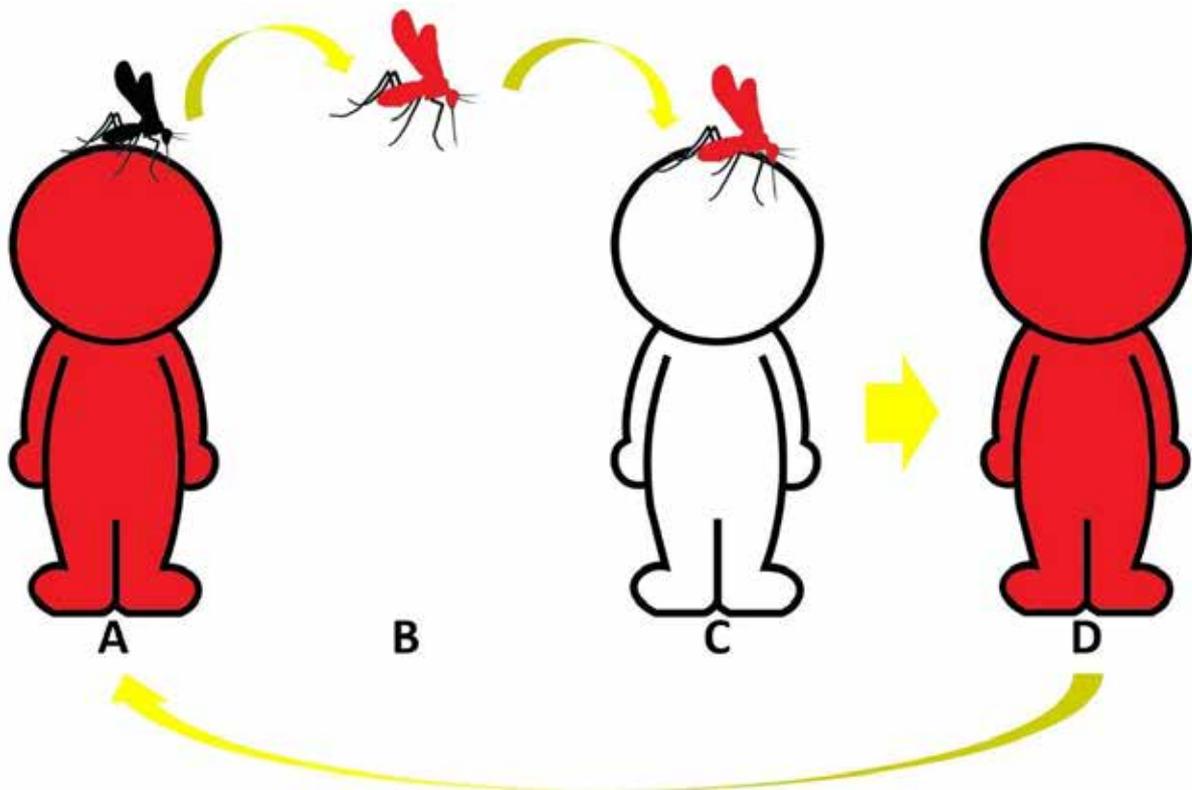
<sup>3</sup>Cátedra de Química Biológica de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Salta

## ¿Por qué es importante conocer sobre *Aedes aegypti*?

Este mosquito transmite varias enfermedades causadas por virus como son el dengue, zika, chikungunya, mayaro y fiebre amarilla (Kantor, 2016). En todas estas enfermedades el humano es reservorio del virus, al menos por un breve periodo de tiempo. En este caso decimos que las personas son reservorios dado que las mismas transportan al virus en la sangre y pueden infectar un nuevo mosquito sano. Los reservorios a partir de los cuales se habría iniciado y se mantiene la transmisión de estos virus, son primates no humanos y algunos otros animales silvestres y domésticos (Stabell et al., 2018).

Por su parte, el mosquito es considerado vector ya que al succionar sangre de una persona infectada ingiere al virus; el virus se replica dentro del mosquito y desde las glándulas salivales es inoculado y transmitido a una nueva persona sana a través de una picadura (Fig. 1).

En el caso de la fiebre amarilla, el virus que la causa se mantiene normalmente en un ciclo silvestre en el que participan como reservorios algunos monos (aulladores y capuchinos) y como vectores están involucradas otras especies de mosquitos distintas a *Ae. aegypti* (de los géneros *Haemagogus* y *Sabethes*). Sin embargo, una vez que una persona se infecta con el virus en la selva, puede llevar el virus en su sangre a un área urbana en la que *Ae. aegypti* actúa como vector y desatar así un brote o una epidemia (Litvoc y Novaes, 2018).



**Figura 1.** Ciclo de transmisión en humanos de los virus mencionados, a través del mosquito *Ae. aegypti*. La figura de la persona en color rojo representa a una persona infectada por alguno de los virus. La figura de la persona en color blanco representa una persona sana susceptible de enfermarse. El mosquito negro es un mosquito sin virus mientras que el mosquito rojo está infectado y puede transmitir el virus. A) Una persona enferma es picada por un mosquito no infectado, B) Luego de un periodo de tiempo el virus se multiplica dentro del mosquito y puede transmitirlo a una nueva persona, C) El mosquito infectado por el virus pica a una persona sana y le inyecta el virus a dicha persona y D) El virus se reproduce dentro de la persona y esta se enferma.

## ¿Primero el huevo o... la larva o la pupa o el mosquito?

Normalmente el ciudadano promedio identifica a los mosquitos solo en sus formas adultas o voladoras. Sin embargo, los mosquitos cuentan con un ciclo de vida complejo con cambios muy marcados en forma, función y hábitat. Estos mosquitos cuentan con cuatro formas o estadios. De huevo pasa a larva, luego a pupa y finalmente a adulto (Fig. 2).

### Adulto

Son voladores y se caracterizan por ser de color negruzco y tener anillos plateados en las patas. En el "lomo" tienen un dibujo en forma de lira, también de color plateado (Fig. 3A). Los machos son más pequeños que las hembras y tienen antenas plumosas, mientras que las hembras tienen antenas desnudas. Tanto los machos como las hembras se alimentan de soluciones azucaradas, generalmente de las plantas. Sin embargo, las hembras adultas,

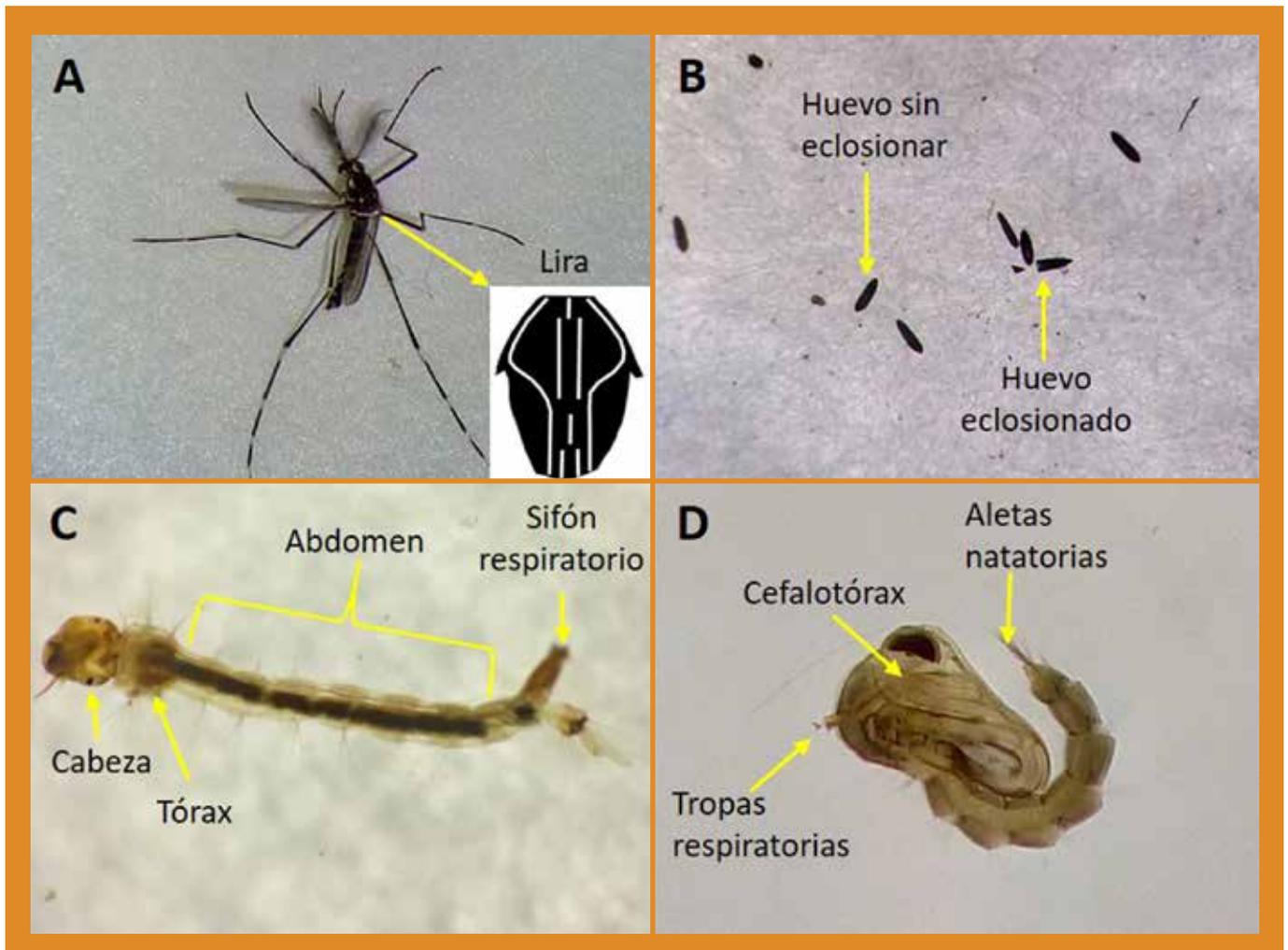


**Figura 2.** Duración de los diferentes estadios de *Ae. aegypti* en su ciclo de vida. Los huevos pueden eclosionar al día de haber sido depositados; así mismo pueden sobrevivir varios meses a bajas temperaturas o hasta que pasa el invierno y las condiciones vuelven a ser favorables. El tiempo de duración estimado para la fase larval y pupal depende de las condiciones ambientales y los recursos. El tiempo de vida de los adultos es desconocido en el campo; la estimación que se indica en la figura, es de supervivencia de adultos en laboratorio. Los 17 días del ciclo total comprende desde el estado de huevo hasta la primera oviposición de los adultos (Quispe-Pretel et al., 2015).

una vez apareadas, se alimentan de sangre para obtener las proteínas necesarias para la maduración de sus huevos. Este mosquito prefiere succionar sangre de los humanos, aunque no es la única fuente de sangre ya que también se alimenta de aves, roedores, canes, felinos y otros primates no humanos.

### Huevos

Una vez maduros, las hembras depositan los huevos en las paredes de recipientes o estructuras con agua, justo por encima del nivel del agua (Fig. 3B). Una pequeña proporción de los huevos son colocados por las hembras directamente en el agua. Los huevos son



**Figura 3.** Estadios de *Ae. aegypti*. A) Adulto hembra. B) Huevos, C) Larva L4 (o del cuarto estadio) y D) Pupa.

pequeños de unos 2 mm de longitud, de color negro (Fig. 3B). Son resistentes a la desecación y a las condiciones adversas por lo cual logran resistir el invierno y eclosionan cuando las condiciones ambientales vuelven a ser favorables. Sin embargo, aunque los huevos sobreviven por largos períodos (hasta 15 meses en condiciones de laboratorio) la viabilidad disminuye con el tiempo. En épocas calurosas y lluviosas los huevos eclosionan rápidamente dando lugar a larvas acuáticas que se alimentan de nutrientes del medio.

### Larvas

Nos pasa comúnmente que, cuando le mostramos a una persona una larva de mosquito esta dice: ¿Qué son esos gusanos? Increíblemente, a pesar de la masiva propaganda que el estado realiza como medida preventiva, solo ha llegado a generar en los ciudadanos una imagen incompleta y a veces distorsionada de los vectores implicados en la transmisión de

algunas enfermedades (Gil et al., 2017). Las larvas de *Ae. aegypti* son acuáticas, nadadoras, de respiración aérea y que pasan por 4 estadios que van desde larva 1 a larva 4 (L1, L2, L3 y L4) (Fig. 3C). Cuando se encuentran en reposo adoptan una posición casi perpendicular con respecto a la superficie del agua y se desplazan en el medio líquido con movimientos serpenteantes.

## Pupas

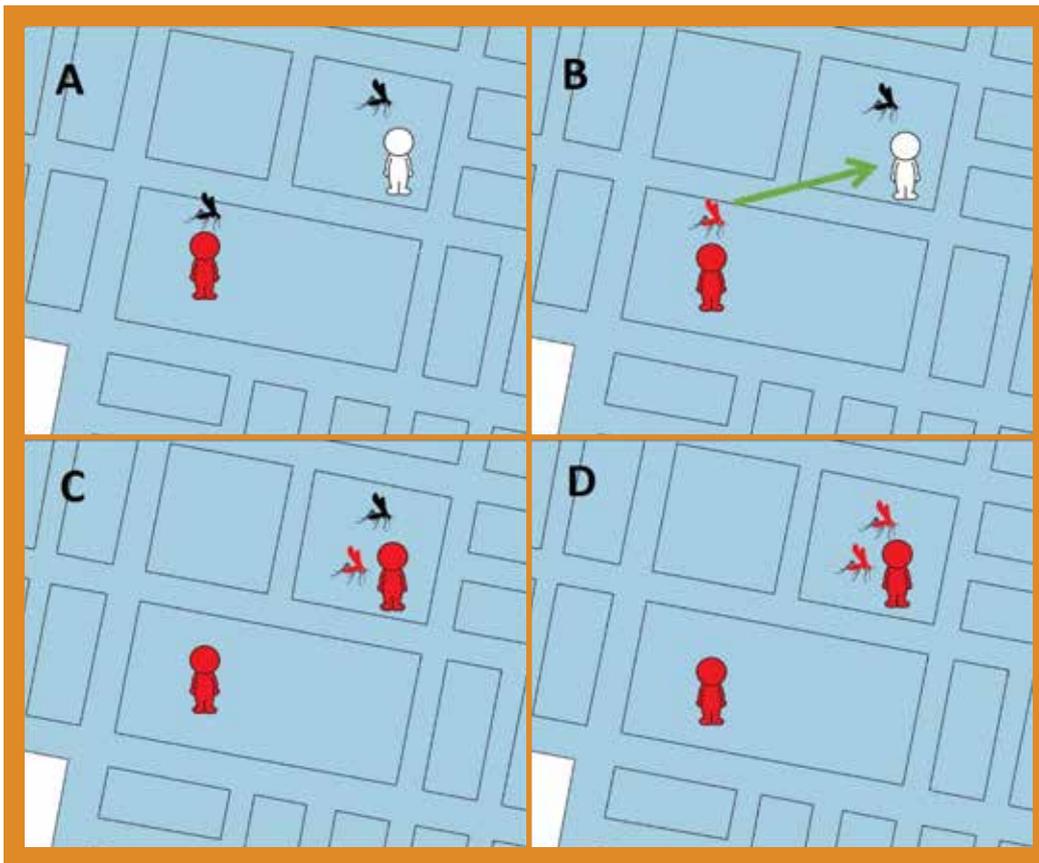
Las pupas representan un estadio de transición entre la larva acuática y el adulto volador. Las pupas no se alimentan y se mantienen casi inmóviles la mayor parte del tiempo flotando en la superficie del agua respirando a través de las trompas respiratorias (Fig. 3D). En su interior ocurren grandes transformaciones que dan lugar al adulto y al cambio del hábitat acuático por el terrestre.

## Dispersión y hábitos de *Ae. aegypti*

Los adultos, si cuentan con alimento, refugio y sitios donde colocar los huevos, normalmente no se dispersan más de 20 metros. Hay estudios que muestran que el máximo rango de dispersión mediante el vuelo es de 160 metros (Muir y Kay, 1998) y muy raramente unos 500 metros (esto último en zonas rurales; Harrington et al., 2005). Sin embargo, de manera pasiva los adultos pueden trasladarse grandes distancias en diferentes medios de transporte, por ejemplo transporte aéreos (aviones) o terrestres (autos, colectivos). Los huevos también se pueden trasladar a través de dispersión pasiva, por ejemplo en recipientes o cubiertas de ruedas, cuando las personas se mudan de una ciudad a otra.

El mosquito *Ae. aegypti* tiene hábitos típicamente domiciliarios ya sea en ámbitos urbanos o periurbanos y menos frecuentemente en ámbitos rurales o silvestres. Cuando no se encuentra alimentándose, apareándose o buscando lugares donde oviponer, reposa en las paredes de lugares oscuros y frescos como ser detrás de los muebles, en cámaras sépticas o debajo de las piletas del lavadero. Además, tienen hábitos crepusculares, lo cual quiere decir que suelen tener mayor actividad al atardecer y al amanecer.

Una cuestión muy importante a resaltar es que en ciudades medianas o pequeñas el mosquito tiende a estar presente en todas o casi todas las manzanas. Este patrón de distribución geográfica del mosquito se logra manifestar, tal vez, con un avance gradual de corta distancia en periodos de tiempo de meses o años (Aban Moreyra et al., 2018; Castillo et al., 2017).



**Figura 4.** A) Un mosquito no infectado "sano" (negro) pica a una persona infectada (roja) recién llegada a la manzana de su casa, B) El mosquito se infecta (rojo) y se desplaza hasta la manzana del frente (flecha verde), C) el mosquito pica a la persona sana (blanca) y la infecta con el virus (en figura C) y D) Un mosquito no infectado (color negro) pica a la nueva persona infectada (color rojo) y se infecta (nuevo mosquito rojo).

## Dispersión de los virus mediante el vector o las personas

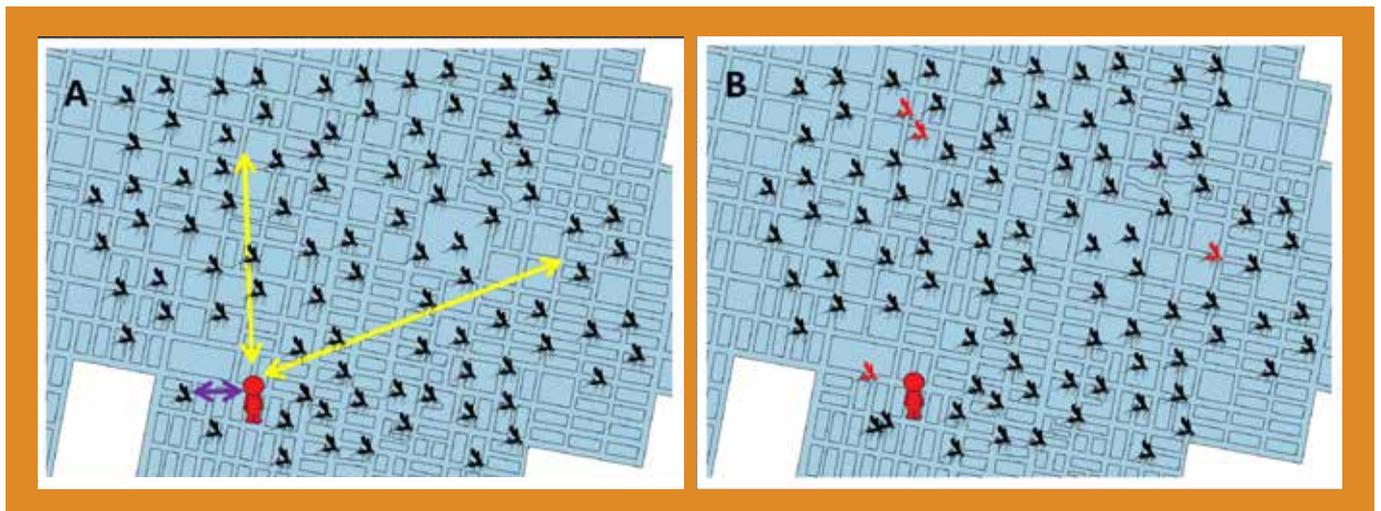
Los virus que causan las diferentes enfermedades previamente mencionadas, se trasladan en el vector o en las personas infectadas. No pueden mantenerse viables fuera de estos. Entonces, la dispersión del virus en una ciudad debido a los mosquitos será de corta distancia, normalmente dentro de la misma manzana (o dentro de los 160 metros) en donde dicho mosquito se infectó a partir de una persona enferma (Fig. 4). Los mosquitos pueden potencialmente trasladar los virus grandes distancias, por ejemplo en avión, sin embargo se esperaría que esto se trate de eventos muy poco frecuentes.

Por otra parte, los reservorios urbanos de los virus son las personas y las mismas se desplazan normalmente mucho más que los mosquitos. En este sentido consideremos la siguiente situación hipotética: una persona que vuelve a Argentina, por ejemplo desde Brasil (área endémica para el dengue) puede traer consigo el virus del dengue y generar un brote o epidemia en una zona donde el mosquito (no infectado previamente) esté presente con una abundancia adecuada (Castillo-Chavez et al., 2012).

Además, una persona infectada puede realizar una dispersión del virus (dentro de una misma ciudad) tanto a larga como a corta distancia (Fig. 5A-B). En este caso larga distancia

sería, por ejemplo, una persona que se infectó en su casa ubicada en un barrio periférico y luego disemina el virus en su lugar de trabajo a varios kilómetros de su casa. Así mismo, la misma persona puede dispersar el virus a corta distancia por ejemplo llevando el virus e infectando a los mosquitos que habitan en el almacén de la esquina de su casa (Gil et al., 2016; Stoddard et al., 2013).

Las personas pueden llegar a ser las principales diseminadoras del virus debido a su amplia movilidad. Por ello es muy importante que cualquier persona que sospeche que se encuentra cursando una fase febril debido a la infección por los virus del dengue, zika o chikungunya, **USE REPELENTE** para evitar que le piquen mosquitos y que estos mosquitos a su vez se infecten y puedan diseminar el virus tanto en su propia familia como al resto de la comunidad.



**Figura 5.** Diseminación de un virus dentro de una ciudad. A) Una persona en la etapa febril, infectada con un virus vuelve de viaje a su casa. Luego se desplaza al trabajo, a la casa de un familiar (larga distancia; **dos flechas amarillas**) y al almacén (corta distancia; **flecha morada**) lugares donde había mosquitos no infectados “sanos” (de color negro). Las líneas tienen flechas en ambos extremos dado que indican que la persona se desplazó hacia los otros lugares y regresó a su casa. B) Algunos de los mosquitos (rojos) resultaron infectados debido a que picaron a la persona enferma durante el desplazamiento de la misma.

Cabe destacar que las personas sirven o actúan como reservorio de los virus del dengue, zika, chikungunya y fiebre amarilla solo por períodos concretos. Por ejemplo en el caso del dengue, actúa como reservorio durante la fase febril que dura aproximadamente 5 días, etapa en la que el virus se encuentra circulando en la sangre y por lo tanto puede ser succionado por un mosquito sano durante su alimentación.

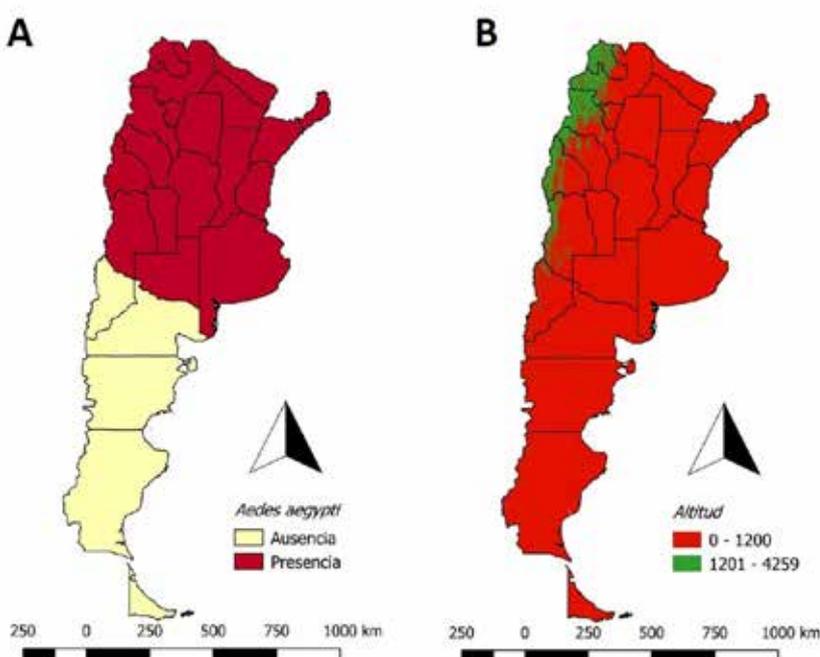
Antes de ser transmitido a un nuevo huésped, el virus se multiplica en el intestino del mosquito. Este periodo de tiempo se denomina período de incubación extrínseco, es dependiente de la temperatura y puede durar entre 8 y 12 días.

Es importante señalar que las hembras de *Ae. aegypti* infectadas por el virus del dengue pueden transmitir el virus de manera congénita a sus huevos (Maia et al., 2019). Si esto ocurre y los adultos que emergen de dichos huevos ya llevan consigo al virus, podría generarse un brote sin la necesidad de que una persona haga ingresar el virus desde otras regiones endémicas.

### Distribución de *Ae. aegypti* en Argentina

Este mosquito se distribuye entre los 35° de latitud norte y 35° de latitud sur, pero puede extenderse hasta los 45° norte y hasta los 40° sur. En Argentina se lo ha reportado en 17 provincias incluyendo, hacia el sur, las provincias de Buenos Aires, La Pampa y Mendoza (Fig. 6A).

Normalmente, se encuentra por debajo de los 1.200 metros de altitud (Fig. 6B), aunque se ha registrado su presencia en alturas de alrededor de los 2.400 metros sobre el nivel del mar. Los factores limitantes para la distribución geográfica de este mosquito son la temperatura y las precipitaciones. En 1955 hubo una campaña contra este mosquito en Argentina, y en 1963 se consideró erradicado. En el año 1987 las provincias de Misiones y Formosa ya habían sido re-infestadas y desde allí se lo fue encontrando nuevamente en otras provincias.



**Figura 6.** A) Provincias con presencia y ausencia de *Ae. aegypti*. El límite de distribución al sur está dado por las bajas temperaturas todo el año. B) Se observa el área de Argentina que se encuentra por debajo de los 1200 metros de altura sobre el nivel del mar. El límite al oeste se encuentra dado por las bajas temperaturas debidas a la altitud.

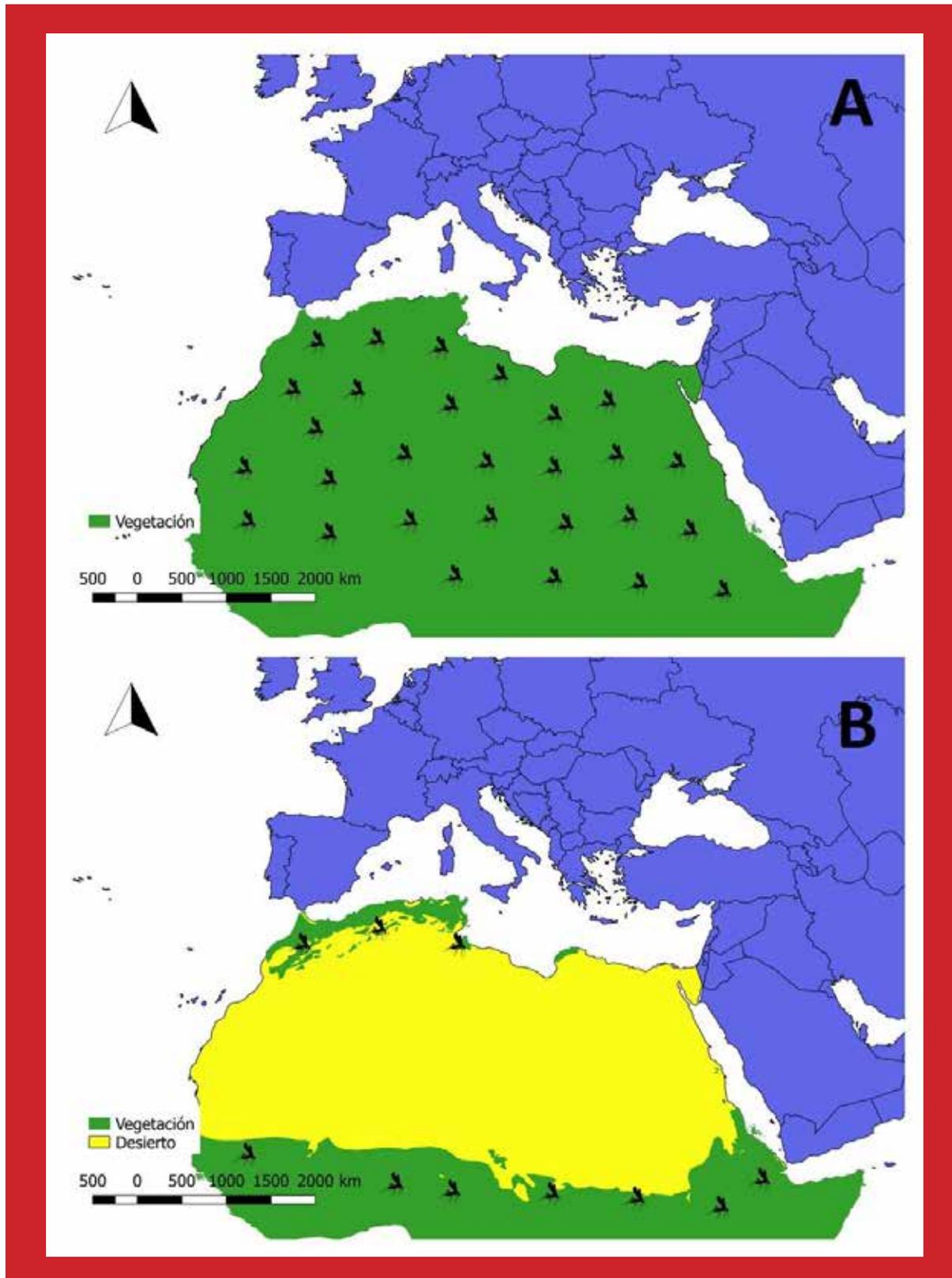
## ¿Cómo llegó *Ae. aegypti* a muchas partes del mundo?

Según Powell y Tabachnick, 2013, la historia natural de *Ae. aegypti* ha estado, desde un determinado momento, íntimamente ligada a la historia humana. Es conocido que el crecimiento poblacional del ser humano ha llevado aparejado una expansión geográfica importante que no solo implicó el incremento de áreas urbanas sino también de áreas para la explotación maderera, agrícola y ganadera. Con esto, la población humana ha sido responsable de una pérdida importante de biodiversidad y de la domesticación de algunas especies que antes eran silvestres.

Una de las especies domesticadas en el proceso de globalización humana fue *Ae. aegypti*. De esta manera el incremento del rango de distribución de los humanos tiene aparejado el incremento en el rango de distribución mundial de este mosquito facilitado por la gran movilidad humana. Así, estos mosquitos tienen poblaciones domésticas en todo el mundo y poblaciones "ancestrales" silvestres en África subsahariana. Inicialmente los huecos de los árboles fueron su hábitat larval y la fuente de sangre fueron otros animales no-humanos.

Muy probablemente *Ae. aegypti* llegó a América en barcos donde las condiciones eran tales que seleccionaban para un tipo doméstico. Sin embargo, no se sabe si la especie ya se había domesticado antes de la propagación mediante el transporte humano o si se domesticó en respuesta al transporte. La especie probablemente tenía una amplia distribución en África, incluyendo el norte boscoso antes de la formación del desierto del Sáhara. La parte norte del continente se secó durante los últimos 4.000-6.000 años formando el Sahara y con esto, las poblaciones a lo largo de la costa norte y alrededor del Mediterráneo se habrían aislado del área selvática ahora ubicadas al sur del Sahara (Fig. 7).

Las poblaciones en el Nuevo Mundo se derivan directamente de las poblaciones africanas, mientras que las poblaciones de Asia-Australia se derivan de las poblaciones americanas. Esto implica que el evento de domesticación ocurrió una vez y todas las poblaciones fuera de África son descendientes de ese único linaje.



**Figura 7.** A) Se cree que las poblaciones de *Aedes* que dieron origen a *Aedes aegypti* domesticado tenían una amplia distribución en África con un ciclo de vida plenamente silvestre. B) La retirada de los bosques hacia el sur de África debido al avance del desierto del Sahara abrió aislado geográficamente a una población de *Ae. aegypti* en convivencia con los asentamientos humanos al norte de África lo que podría haber generado la domesticación de este mosquito (Powel y Tabachnick, 2013).

## Sitios de cria de las formas inmaduras

Como se explicó más arriba, las hembras colocan sus huevos en estructuras que retienen agua y dichas estructuras pueden ser de variada índole y son agrupadas por el sistema de salud pública y la dirección de vectores de la siguiente manera:

Código	Descripción
A1	Tanques elevados
A2	Depósitos de agua al nivel del suelo (Tanque bajos, cisternas o aljibes)
B	Depósitos móviles (macetas, floreros, botellas, bebederos de mascotas, etc.)
C	Depósitos fijos (canaletas de lluvia, piletas no cloradas, resumideros, etc.)
D1	Cubiertas
D2	Basura o elementos en desuso (tapas de botellas, tarros, etc.)
E	Depósitos naturales (huecos de árboles, axilas de hojas de algunas plantas como las bromelias)

Dado que los huevos son colocados por las hembras por encima del nivel del agua, la eclosión de los mismos requiere que sean sumergidos, por ejemplo, por agua de lluvia que rebalsa el recipiente.

Por otra parte se ha planteado que las letrinas y pozos ciegos pueden ser lugares de cría masiva de *Ae. aegypti*. Si bien existen pocas investigaciones en las que se encontró a este mosquito en este tipo de acumulación de agua contaminada, muchos investigadores plantean que *Ae. aegypti* no utiliza estos sitios para cría de formas inmaduras excepto que no les quede más opciones (o sea en muy pocas ocasiones).

### ¿Cómo se sabe dónde y cuándo hay *Ae. aegypti*?

Para poder conocer la situación con respecto a la presencia y abundancia de este mosquito en una determinada localidad, se realizan lo que se denomina monitoreos o vigilancia entomológica. Estos monitoreos se hacen mediante el cálculo de índices de infestación (de formas inmaduras acuáticas ya sean larvas o pupas) de las viviendas o mediante el uso de ovitrampas (Chanampa et al., 2018). Esto les permite a las autoridades municipales o sanitarias locales saber de una manera aproximada sobre la presencia, distribución y abundancia de estos mosquitos y por lo tanto les permite decidir cuando y donde intervenir.

## Intentos de control de *Ae. aegypti*

Dado que solo existe vacuna con muy buena eficacia para el virus que causa la fiebre amarilla y no para el resto de los virus arriba mencionados, se busca disminuir el riesgo de ocurrencia de brotes o epidemias mediante el control de las poblaciones del mosquito. Se habla de control del mosquito haciendo referencia a la disminución de las poblaciones del mismo, a un nivel que deja de significar un problema de salud pública. Control es diferente de erradicación, ya que en este último caso se habría obtenido la eliminación total del mosquito lo cual, al menos hasta ahora, parece imposible.



**Figura 8.** Criaderos de las formas inmaduras de *Ae. aegypti*. A) neumáticos con agua y larvas, B) hueco de árbol con agua de donde se extrajeron larvas (Mangudo et al., 2015), C y D) distintos tipos de tachos con agua y larvas.

## Control focal

El control focal incluye tres intervenciones combinadas: a) el tratamiento mecánico: consiste en volcar el agua de un recipiente o en eliminar dicho recipiente, b) el tratamiento químico o biológico: este se realiza mediante larvicidas (químicos o biológicos) sobre recipientes o estructuras con agua que no pueden ser volcadas o removidas, como resumideros o tanques elevados y c) comunicación del riesgo: la visita a la vivienda debe ser aprovechada por los operarios para realizar educación para la salud (Eiman et al., 2010).

Los tanques elevados suelen ser un verdadero problema ya que rara vez son revisados para constatar la presencia de larvas debido a la dificultad para subir al techo de las viviendas. Por lo cual dichos tanques deben ser cubiertos con tela mosquitera (sostenida mediante una banda elástica) por debajo de la tapa y en el caso de que tenga larvas debe aplicarse un larvicida como puede ser el Bti (*Bacillus thuringiensis var israelensis*).

En cuanto a los depósitos al nivel del suelo se deben mantener tapados adecuadamente y aplicar larvicida si es necesario. Existen zonas en las que las precipitaciones son escasas y en las que las viviendas no cuentan con servicio de agua corriente, por lo cual la gente almacena agua en grandes tanques al nivel del suelo. Cuando estos tanques no tienen tapa se convierten en criaderos de miles de mosquitos.

Los depósitos de agua removibles como macetas vacías y botellas deben ser tratados mecánicamente volcando el agua y colocándolos con la boca o pico hacia abajo para evitar que nuevamente almacenen agua debido a las lluvias.

Los depósitos fijos como canaletas deben ser limpiados. Las piscinas se deben clorar y el dueño de casa asegurarse que si se va a ausentar por varios días, debe contar siempre con algún vecino o familiar que chequee que el desagüe de la piscina no se haya taponado y se esté juntando agua que sirva como criadero.

Los neumáticos suelen ser un problema muy particular ya que son preferidos por los mosquitos para oviponer y no es fácil volcar el agua de su interior. Si bien se les puede realizar varias perforaciones, muchas veces estas perforaciones se tapan con hojas o basura y se vuelven a llenar de agua con las lluvias (Fig. 8A). Por ello se recomienda evitar almacenar neumáticos en las viviendas, o hacerlo bajo techo.

En cuanto a los depósitos naturales, los huecos de árboles (Fig. 8B) pueden ser tapados con arena y cemento para evitar que almacenen agua que permita el desarrollo de mosquitos.

La basura y los elementos en desuso deben ser eliminados mediante el sistema de recolección de residuos del correspondiente municipio, y los propietarios de las viviendas deben asegurarse de no dejar ningún criadero de mosquitos en el patio (Fig. 8C-D).

### Descacharrados y saneamiento ambiental

En algunos municipios se suelen hacer varias veces al año los famosos descacharrados. Hay que señalar respecto a esto que los descacharrados no son efectivos si se les pide a las personas que saquen ellos mismos los cacharros, ya que muchas veces sacan basura de todo tipo, pero dejan algunos criaderos intactos en los patios de sus casas. Por ello un descacharrado bien realizado implicaría que el personal del municipio y/o del sistema de salud local pueda ingresar a la vivienda a verificar y realizar los tratamientos focales correspondientes, de ser necesario. Esto no implica que el personal de salud o del municipio deba limpiar el patio de las viviendas, lo cual es responsabilidad del propietario.

Un problema que hemos detectado para realizar este tipo de intervenciones es el elevado número de viviendas que se encuentran cerradas (por ejemplo no hay nadie en la vivienda) al momento en que los operarios pasan realizando el descacharrado. En algunas ocasiones los dueños de la vivienda no viven allí. Sumado a esto existen también casas denominadas "renuentes" que son aquellas viviendas en las cuales los propietarios no permiten que se ingrese a realizar la inspección.

El saneamiento ambiental es responsabilidad compartida entre el estado y la comunidad. El servicio de recolección de residuos es fundamental y lo tiene que proveer el estado, pero la población debe aprender a no arrojar residuos a las calles (peor aún si puede almacenar agua y ser potencial criadero de mosquitos), a no generar micro basurales y a trabajar mancomunadamente con sus vecinos (Gil, 2016).

**No hay que olvidar que una sola hembra puede poner entre 50 y 150 huevos por lo cual, un solo o unos pocos criaderos que no se eliminan pueden llegar a dar origen a la re-infestación de una ciudad sin importar demasiado todo el esfuerzo que hasta el momento se haya hecho para eliminar al mosquito.**

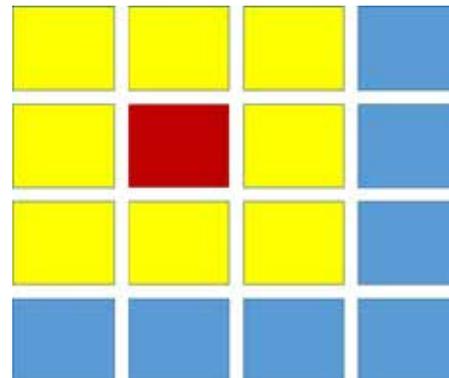
Por otra parte, en varias ocasiones cuando nos encontrábamos realizando actividades de investigación en los barrios, los vecinos nos manifestaron con enojo que el municipio no estaba fumigando. Respecto a este aspecto hay que aclarar que según las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud y según normativas nacionales, las fumigaciones solo deben realizarse cuando se detectan casos de infección por dengue o los otros virus. Esto se debe al menos a tres motivos:

1. Las fumigaciones solo matan una proporción de los mosquitos adultos, no tienen acción residual y no tienen efecto sobre larvas y huevos. Por lo tanto se mueren solo los adultos (y no todos) y luego emergen nuevos adultos desde los criaderos habiendo gastado insecticida innecesariamente.
2. El insecticida no es gratuito por lo cual debe usarse de manera adecuada para no derrochar fondos.
3. El uso indiscriminado de insecticidas puede dar lugar a resistencia de los mosquitos hacia dichos insecticidas. Cuando esto ocurre nos quedamos sin una importante herramienta de control para las situaciones de brote o epidemia.

### Caso sospechado, caso bloqueado

Cuando se detecta un caso sospechoso de dengue, zika o chikungunya, el personal de la Dirección de Vectores, a veces en conjunto con el municipio de la ciudad afectada, realizan lo que se denomina bloqueo. Esto consiste en la aplicación de insecticidas usando equipos especiales que generan unas micro-gotas de insecticida que quedan en suspensión en el aire durante algún tiempo<sup>1</sup>; los mosquitos pasan volando y chocan con las micro-gotas y gracias a esto mueren. El bloqueo se hace (o se debería hacer) en la manzana donde vive el caso (persona) sospechoso (o confirmado) y las ocho manzanas contiguas (Fig. 9; Eiman et al., 2010).

**Figura 9.** Manzana de color rojo corresponde a la que contiene la vivienda del caso sospechoso o confirmado. Las 8 manzanas amarillas corresponden a las manzanas que también deben ser fumigadas.



### El rociado espacial y la cortina de humo

Cuando una epidemia se desata, además de intensificar todas las intervenciones mencionadas anteriormente, se realiza un rociado espacial usando una máquina que es transportada en una camioneta. La misma circula aplicando el producto por todas las calles de la ciudad afectada. Este rociado también genera micro-gotas contra las cuales chocan los mosquitos mientras vuelan (Eiman et al., 2010).

<sup>1</sup>-Este tipo de aplicación del insecticida se denomina nebulización en frío.

**Para las fumigaciones contra los mosquitos en los momentos de brote o epidemia, se utilizan compuestos denominados piretroides. Los piretroides están presentes en el repelente que usamos cotidianamente y en el aerosol que usted usa para matar mosquitos en su casa. Por lo tanto puede deducir que las fumigaciones con piretroides no son peligrosas para las personas. Sin embargo existe contraindicación de uso en presencia de embarazadas y recién nacidos (Vanegas, 2012).**

Aquí vamos a aprovechar para desmitificar la famosa fumigación aérea ya que ésta es solo una cortina de humo. Las fumigaciones aéreas no generan el tamaño de micro-gota que se necesita para matar a *Ae. aegypti*. Además, se podrán imaginar que gran cantidad del producto se lo lleva el viento y no llega al interior de las viviendas donde se esconden estos mosquitos. ¿Esta fumigación es más dañina para las personas que la fumigación terrestre? La respuesta es no; incluso son menos efectivas o quizá nada efectivas contra el mosquito. Aquí debemos ser categóricos y aclarar que la fumigación aérea sobre de una ciudad con herbicidas como el glifosato, sí es un delito.

### **Los problemas de los que no se habla**

Actualmente el paradigma dominante en epidemiología y salud pública reconoce que las casusas de las enfermedades actúan a diferentes escalas y niveles de complejidad. El nivel más amplio y complejo está representado por las condiciones socioeconómicas y ambientales.

Nos parece relevante señalar dos de los aspectos socioeconómicos problemáticos que hemos detectado durante nuestro trabajo en terreno. Los operarios contratados para monitorear y descacharrar cuentan con salarios precarios; una persona mal pagada difícilmente pueda hacer bien su trabajo. Además, se le suele echar la culpa a la gente pobre de ser poco higiénicos y desordenados y por lo tanto de ser culpables de la presencia del mosquito. Sin embargo, las personas entrevistadas declaran estar preocupadas por conseguir el alimento para su familia en el día a día, y por lo tanto el problema del dengue no es para ellos una prioridad. En un sentido más amplio la pobreza estructural es uno de los determinantes más importantes de enfermedades como el dengue, zika y chikungunya.

Finalizando, las medidas de control de *Ae. aegypti* sugeridas por la Organización Mundial de la Salud parecen muy buenas. Sin embargo, las experiencias en todos los países de Latinoamérica no han venido siendo muy efectivas. ¿Será que las recomendaciones no se cumplen exactamente como se recomienda? ¿Será que las recomendaciones son inalcanzables con el presupuesto que los gobiernos locales destinan para este fin? Lo único que podemos decir hasta ahora, es que el control de *Ae. aegypti* sigue siendo solo un intento, que sin presupuesto para salud, ciencia y tecnología va a ser imposible de realizar.

---

## REFERENCIAS

---

- Abán Moreyra D, Escalada A, Castillo P, Copa GN, López W, Laci C, Nasser JR, Gil JF. 2018. Variación en la oviposición de *Aedes aegypti* tras intervenciones anti vectoriales en San Ramón de la Nueva Orán. Jornadas Interdisciplinarias de Investigación. San Ramón de la Nueva Orán. Salta Argentina: 2.
- Castillo P, Chanampa M, Copa N, Mangudo C, Escalada A, Guanuco N, Aparicio J, Gleiser R, Gil J. 2017. Análisis de la variación espacial de *Aedes aegypti* mediante ovitrampas, usando diferentes sustratos, en la localidad de Hipólito Yrigoyen del norte de Salta. XVIII Simposio Internacional sobre Enfermedades Desatendidas. Buenos Aires, Argentina.
- Castillo-Chavez C, Aparicio J, Gil J. 2012. Capítulo: Roles of host and pathogen mobility in epidemic outbreaks: mathematical, modeling and epidemiological challenges. En BIOMAT 2011: International Symposium on Mathematical and Computational Biology. Edited by Rubem P Mondaini: 204-220..
- Chanampa M, Gil J, Aparicio J, Castillo P, Mangudo C, Copa G, Gleisser R. 2018. Field comparison of oviposition substrates used in ovitraps for *Aedes aegypti* surveillance in Salta, Argentina. Journal of Applied Entomology. 1-8.
- Eiman M, Introini MV, Ripoll C. 2010. Directrices para la prevención y control de *Aedes aegypti*. Dirección de Enfermedades Transmisibles por Vectores - Ministerio de Salud de la Nación.
- Gil JF. 2016. Consideraciones para la construcción de un nodo de Infraestructura de datos espaciales en salud pública de la provincia de Salta. Infraestructura de datos espaciales de Argentina. ISBN: 978-987-4101-14-3. Neuquén: 7-20.
- Gil JF, Copa GN, Almazán M, Aramayo L, Guantay E, Fleitas P, Castillo PM, Chanampa M, Escalada A, Kehl S, Zabala B, Aban Moreyra D, Díaz Fernández M, Díaz JP, Marcó R, Nasser JR. 2017. Estudio sobre el conocimiento, de maestros del nivel primario del norte de Salta, sobre dengue, zika, chikungunya y leishmaniasis cutánea. XVIII Simposio Internacional sobre Enfermedades Desatendidas. Buenos Aires, Argentina: 80.
- Gil JF, Palacios M, Krolewiecki AJ, Cortada P, Flores R, Jaime C, Arias L, Villalpando C, Alberti D´Amato AM, Nasser JR, Aparicio JP. 2016. Spatial spread of dengue in a non-endemic tropical city. Acta Tropica. 158:24-31.
- Harrington LC, Scott TW, Lerdthusnee K, Coleman RC, Costero A, Clark GG, JONES JJ, Kitthawee S, Kittayapong

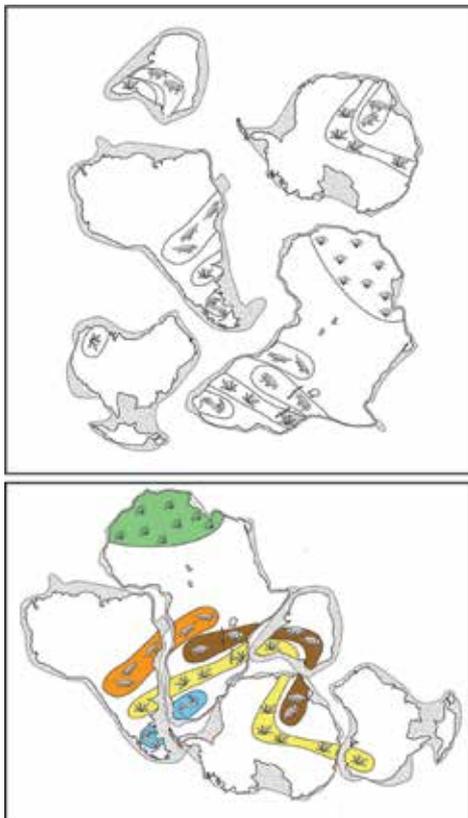
- P, Sithiprasasna R, Edman JD. 2005. Dispersal of the dengue vector *Aedes aegypti* within and between rural communities. *Am J Trop Med Hyg.* 72:209–20.
- Kantor IN. 2016. Dengue, Zika y Chikungunya. *Medicina (B Aires).* 76(2):93-7.
- Maia LMS, Bezerra MCF, Costa MCS, Souza EM, Oliveira MEB, Ribeiro ALM, Miyazaki RD, Shlessarenko RD. 2019. Natural vertical infection by dengue virus serotype 4, Zika virus and Mayaro virus in *Aedes (Stegomyia) aegypti* and *Aedes (Stegomyia) albopictus*. *Med Vet Entomol.* 33(3):437-442.
- Mangudo C, Aparicio JP, Gleiser RM. 2015. Tree holes as larval habitats for *Aedes aegypti* in urban, suburban and forest habitats in a dengue affected area. *Bulletin of Entomological Research.* 1-9.
- Muir LE, Kay BH. 1998. *Aedes aegypti* survival and dispersal estimated by mark-release-recapture in northern Australia. *Am J Trop Med Hyg.* 58:277–82.
- Powell JR, Tabachnick WJ. 2013. History of domestication and spread of *Aedes aegypti* - A Review. *Mem Inst Oswaldo Cruz.* Vol. 108 (Suppl. I): 11-17.
- Quispe-Pretel E, Carbajal-Villaverde A, Gozzer-Fernández J, Moreno-Rodríguez B. 2015. Ciclo biológico y Tabla de Vida de *Aedes aegypti*, en laboratorio: Trujillo (Perú), 2014. *REBIOLEST* 2015; 1(3): e47.
- Stabell AC, Meyerson NR, Gullberg RC, Gilchrist AR, Webb KJ, Old WM, Perera R, Sawyer SL. 2018. Dengue viruses cleave STING in humans but not in nonhuman primates, their presumed natural reservoir. *Elife.* 20;7. pii: e31919
- Stoddard ST, Forshey BM, Morrison AC, Paz-Soldan VA, Vazquez-Prokopec GM, Astete H, Reiner RC, Vilcarromero S, Elder JP, Halsey ES, Kochel TJ, Kitron U, Scott TW. 2013. House-to-house human movement drives dengue virus transmission. *Proc Natl Acad Sci USA.* 110:994–9.
- Vanegas RJJ. 2012. Efecto de los plaguicidas en la reproducción humana. *Facultad Nacional de Salud Pública.* 14 (1).

# Paleomagnetismo: Lo que las rocas saben (y cuentan) sobre el campo magnético de la Tierra

Silvana Geuna <sup>1</sup>

<sup>1</sup>IGEBA (Universidad de Buenos Aires), visitante en IBIGEO.

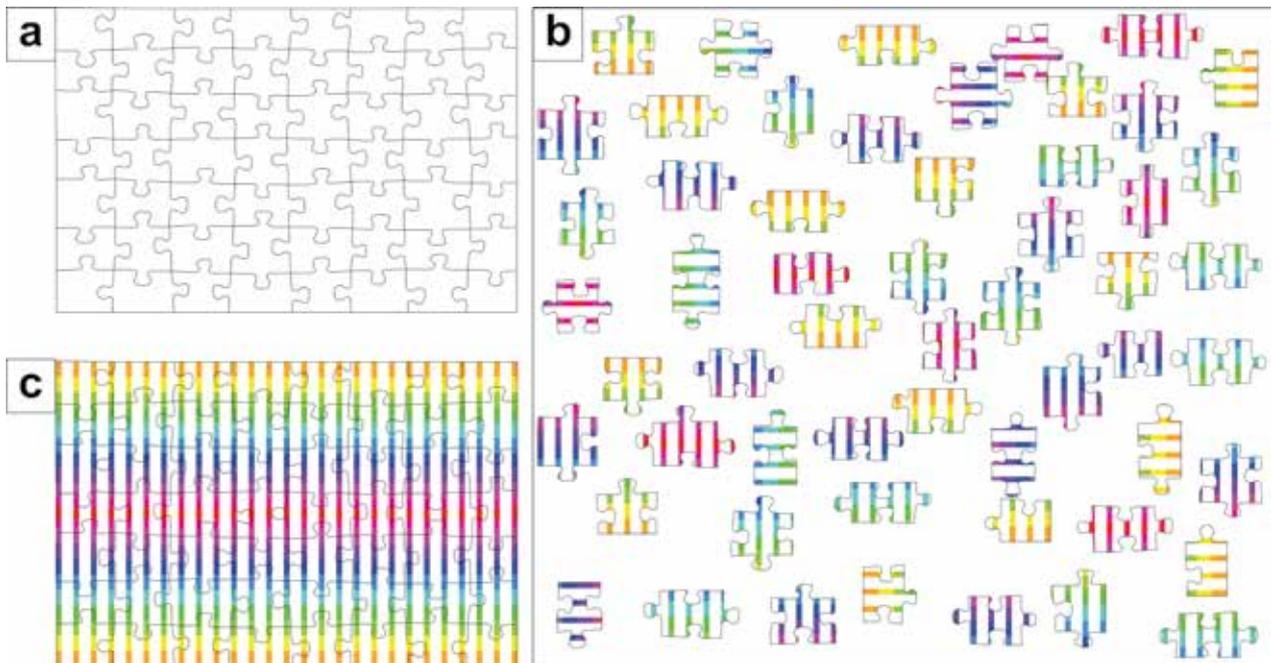
Desde que los mapas del mundo fueron completándose gracias al conocimiento que el hombre iba adquiriendo de él, en sus largos recorridos por mar y tierra, comenzó a llamar la atención de los más observadores, el hecho de que algunos continentes parecían tener formas complementarias con las de sus vecinos, tal como si fueran piezas desperdigadas de un rompecabezas sin armar. El primero en traducir esta noción a una teoría científica con cierto fundamento fue el meteorólogo alemán Alfred Wegener, en 1912. La teoría de la deriva continental de Wegener considera que los continentes actuales habían estado unidos en el pasado, en una única gran masa continental que denominó "Pangea", y que entre esa Pangea y la actual configuración del planeta, había mediado el desplazamiento de los continentes como si fueran balsas flotando sobre el fondo de los océanos (Fig. 1).



**Figura 1:** El "rompecabezas" de Wegener. La forma de las masas continentales ajusta por sus bordes como si fueran piezas que alguna vez estuvieron unidas. Las evidencias fósiles de animales y plantas que vivieron en los distintos continentes en épocas pasadas, también indican una antigua conexión. En el panel inferior, el antiguo continente Gondwana, parte de Pangea. Dibujos de USGS, "Wegener puzzling's evidence".

La forma en que “ajustan” los contornos de las piezas del rompecabezas continental no fue la única prueba utilizada por Wegener para su teoría, pero era la más fuerte y evidente hasta para el ojo más desconfiado. El ajuste entre las grandes piezas es muy bueno. Ahora bien, ¿qué ocurre con las piezas pequeñas? ¿y con las que tienen formas demasiado regulares, que ajustarían casi en cualquier lugar?

El problema de las muchas piezas de pequeños tamaños y formas parecidas, es el desafío que afronta un geólogo al intentar reconstruir las posiciones de las masas continentales muy antiguas, aquellas de los tiempos en que los continentes no tenían las mismas formas que vemos hoy. Del mismo modo que con los rompecabezas, es necesario (y más fácil y seguro) buscar pistas en el dibujo del rompecabezas, más que en la forma exterior de las piezas (Fig. 2).



**Figura 2:** La forma exterior de las piezas no siempre es una pista suficiente para armar el rompecabezas, como en (a), especialmente porque las piezas (continentes) pueden haber cambiado de forma con el tiempo. Contar con un dibujo como el de (b) y (c) ayuda para establecer la dirección arriba/debajo de cada pieza, y a qué fila corresponde cada una. El vector MRN impreso en las rocas cumple la función de este dibujo: la declinación del vector indica cuál era la dirección norte/sur de cada pieza, y la inclinación del vector, a qué latitud se encontraba (en qué “fila”).

En las placas tectónicas, el “dibujo” pueden ser rasgos geológicos visibles en las rocas, en las escalas más diversas; por ejemplo, cadenas montañosas o elementos lineales como sistemas de fallas, que continúan en varias “piezas” o placas, o ciertos tipos de roca o fósiles característicos que están presentes sólo en determinadas placas. De hecho, Wegener usó esta clase de evidencias también para sostener su teoría en 1912.

Hay otro “dibujo” que no es visible en las rocas, pero que puede detectarse realizando un estudio sistemático sobre ellas, que incluye mediciones de sus propiedades magnéticas en el laboratorio. Se trata de la magnetización remanente, que, como veremos a continuación, representa el registro que conserva la roca de cómo era el vector “campo magnético terrestre” (CMT) en el momento en que se formó. Algo así como si pudiéramos leer la orientación de la aguja de una brújula, grabada en la roca misma.

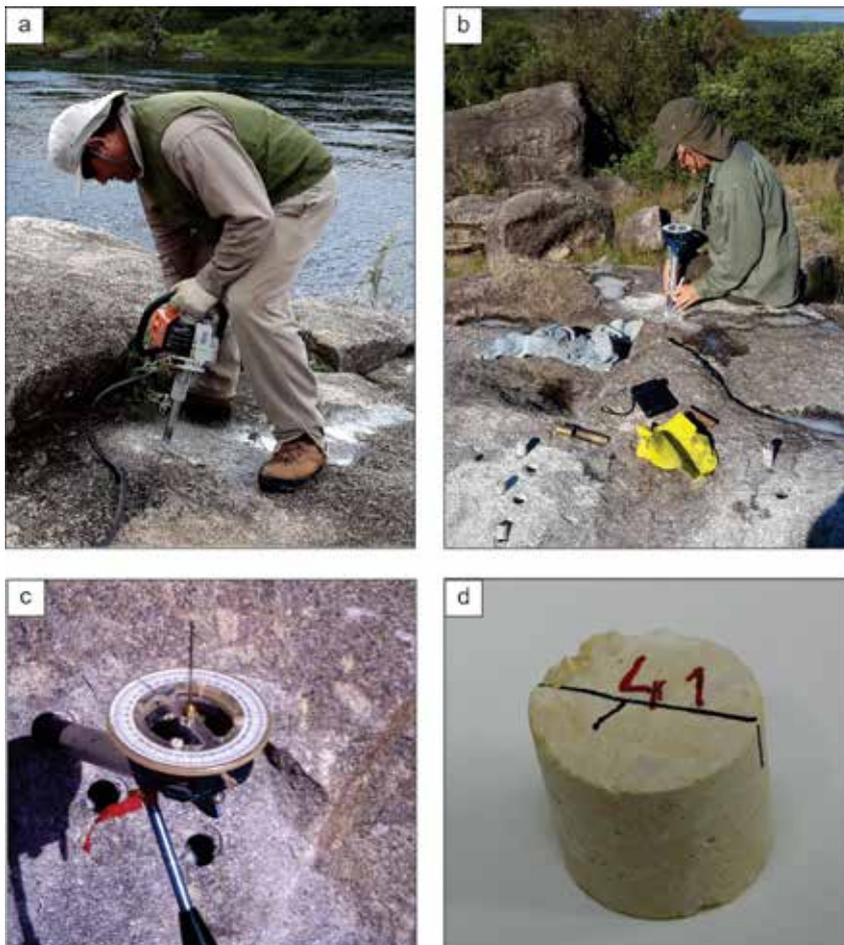
Esto es así porque algunos minerales presentes en las rocas, contienen partículas con momento magnético generado por el movimiento de sus electrones desapareados (que podríamos asimilar a imanes, pero a escala subatómica), y estos momentos magnéticos tienen la capacidad, bajo ciertas circunstancias, de alinearse en la dirección del campo magnético de la Tierra (ver El ferromagnetismo).

**El ferromagnetismo.** Sólo algunos elementos contienen electrones desapareados en su estructura atómica; estos son los metales de transición como hierro (Fe), níquel (Ni) y cobalto (Co). De todos ellos, el hierro es el más abundante y que forma compuestos de ocurrencia común en la naturaleza. En su movimiento, los electrones desapareados generan un momento magnético. Los numerosos momentos magnéticos presentes en los minerales con hierro se disponen aleatoriamente, salvo que la estructura cristalina del mineral que contiene al hierro tenga cierto apretamiento y geometría particular. Los minerales que tienen esta estructura cristalina peculiar son “ferromagnéticos”; los más comunes en las rocas son:

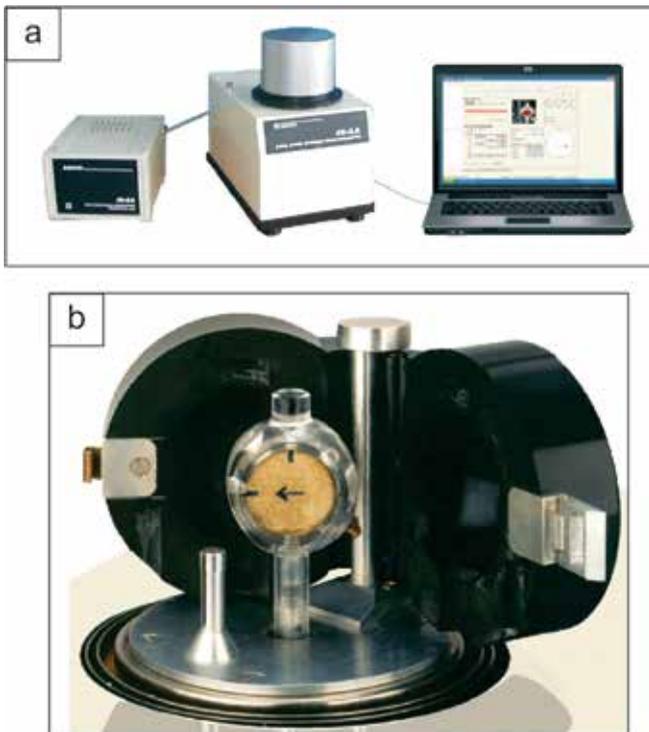
- o Magnetita,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (óxido de hierro en estado  $\text{Fe}^{2+}$  y  $\text{Fe}^{3+}$ ), y su variedad con Ti (titanio), titanomagnetita
- o Maghemita,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (óxido de hierro en estado  $\text{Fe}^{3+}$ , con estructura cúbica), y su variedad con Ti, titanomaghemita
- o Hematita,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (óxido de hierro en estado  $\text{Fe}^{3+}$ , con estructura hexagonal), y su variedad con Ti, titanohematita o hemoilmenita
- o Goethita,  $\text{FeO}(\text{OH})$  (hidróxido de hierro en estado  $\text{Fe}^{3+}$ )
- o Pirrotina,  $\text{Fe}_7\text{O}_8$  (sulfuro de hierro en estado  $\text{Fe}^{2+}$ , es ferromagnética solo su variedad monoclinica)

Por ser fuertemente magnéticos, los minerales ferromagnéticos se subdividen en sectores o “dominios magnéticos” cuyas direcciones de magnetización son distintas y tienden a cancelarse mutuamente. El estado “multidominio” es otra característica de los materiales ferromagnéticos, y atenta contra la posibilidad de que exista una magnetización del mineral, que sea paralela a la del campo magnético terrestre. Sólo podrán magnetizarse en la dirección del campo magnético terrestre aquellas partículas ferromagnéticas que sean muy pequeñas, lo suficientemente pequeñas como para no dividirse en dominios magnéticos. Para la magnetita, esto implica tamaños inferiores a la décima de micrón. Es decir, sólo una pequeña parte de los minerales ferromagnéticos podrá magnetizarse en la dirección del campo magnético terrestre; por otra parte, apenas una pequeñísima proporción de estos minerales dentro de las rocas es suficiente como para que actúen como “grabador” de esa dirección. Sólo es necesario contar con un instrumento suficientemente sensible como para medir la señal magnética generada por esos pocos minerales presentes.

Antes de ser los objetos sólidos y fríos que vemos hoy en la superficie terrestre, las rocas pasaron por un proceso de formación que involucró diversos estados. O dicho de otro modo, las rocas no siempre fueron rocas. Las rocas sedimentarias (pelitas, areniscas, conglomerados, calizas) fueron sedimentos sueltos que luego sufrieron consolidación (“diagénesis”), o bien sustancias químicas que alguna vez precipitaron a partir de una solución fluida; las rocas ígneas, por otra parte (basaltos, riolitas, granitos, gabros), fueron alguna vez magma fundido en proceso de cristalización y enfriamiento. A lo largo de todos esos procesos de formación de rocas, los momentos magnéticos de las partículas (es decir, sus “imanes microscópicos”, ver El ferromagnetismo), fueron perdiendo movilidad y/o capacidad de adaptarse y reproducir la dirección del campo magnético terrestre. Partículas cuyos momentos podían ser paralelos al campo magnético terrestre en la roca caliente o inconsolidada, perdieron movilidad a medida que la roca continuaba con su proceso de formación. En cierto momento crítico, la dirección en la que se encontraban alineados los momentos magnéticos se “fossilizó”. Esto significa que las rocas, una vez formadas, son capaces de recordar cuál era la dirección del campo magnético terrestre en el momento en el que se formaron, en que se convirtieron en roca.



**Figura 3:** Se obtienen fragmentos de los afloramientos rocosos, ya sea mediante una perforadora portátil, como en (a) o con maza y cortafierro. La orientación en que se encontraba el fragmento se registra con una brújula y un inclinómetro (b, c). Finalmente, se obtienen testigos de roca como el que se observa en (d), de forma cilíndrica y tamaño de una pulgada.



**Figura 4:** Magnetómetro rotativo JR6. En (b) se observa un detalle del receptáculo en el que se colocan los testigos de roca. Este está aislado del campo magnético externo, por lo que se mide exclusivamente la magnetización remanente del espécimen de roca.

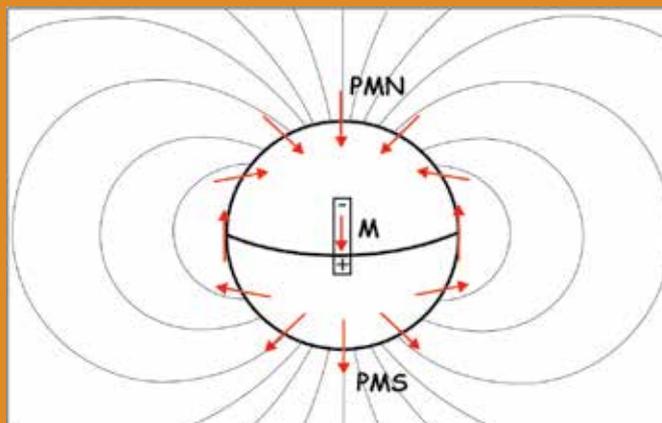
Con posterioridad, a lo largo del tiempo geológico, la roca consolidada experimentará repetidamente movimientos de ascenso, descenso, rotación y traslación, debido a las fuerzas tectónicas que operan sobre la corteza terrestre y la deforman a diversas escalas. Incluso los continentes se desplazan a lo largo de la superficie del globo, tal como postulara Wegener. El vector magnético “fossilizado” dentro de la roca acompañará todos esos movimientos, y actuará como un marcador que permite reconstruir la posición original de la roca, antes de ser deformada y/o desplazada. Como en la superficie terrestre existen rocas de muy diversas edades, desde tan antiguas como el Arqueano (4000 millones de años) hasta tan recientes como las formadas por volcanes activos en tiempos históricos, esto significa que nuestro conocimiento del registro del campo magnético en las rocas abarca todo ese gran espacio temporal.

El estudio de la memoria magnética (o “remanencia magnética”, o “magnetismo remanente”) de las rocas se conoce como Paleomagnetismo. Para hacer un estudio paleomagnético es necesario tomar muestras de los afloramientos rocosos, anotando cuidadosamente la posición que tenía cada muestra en el propio afloramiento (Fig. 3). Las muestras se remueven y transportan hasta el laboratorio, donde un magnetómetro especialmente diseñado es capaz de medir las propiedades del vector “remanencia magnética” de cada muestra, es decir, su orientación y módulo (Fig. 4). Llamaremos a este vector “magnetismo remanente natural” o MRN.

Si el vector MRN permaneció inalterado desde la formación de la roca, entonces será aproximadamente paralelo a la dirección del paleomeridiano, y tendrá una inclinación acorde con la paleolatitud. Es decir, el vector será vertical si fue “grabado” cuando la roca en ciernes se encontraba en el polo, o será horizontal si estaba en el ecuador (ver el CMT). A la latitud de Salta, por ejemplo, el campo magnético terrestre promedio es un vector que apunta hacia el norte (paralelo al meridiano), con una inclinación de unos 43 grados, hacia arriba.

**El CMT:** El campo magnético terrestre se comporta como si fuera producto de un gigantesco imán situado en el centro de la Tierra, y cuyos polos están alineados con la dirección del eje de rotación terrestre (Fig. B). Por eso los polos magnéticos coinciden aproximadamente con los polos geográficos, y las líneas de fuerza del campo magnético siguen una trayectoria desde el sur hacia el norte, groseramente paralelas a los meridianos. Las líneas de fuerza cortan a la superficie del globo con distintos ángulos, dependiendo de la latitud: son verticales en los polos, horizontales en el ecuador, y oblicuas en latitudes intermedias. El vector “campo magnético terrestre (CMT)” es tangente a las líneas de fuerza del campo en cada lugar; su orientación en el espacio es definida con el ángulo de declinación (el ángulo que forma la proyección del vector en la horizontal, con el norte geográfico) y el de inclinación (el ángulo que se forma con el plano horizontal). Ahora bien, el “imán” responsable del CMT (que en realidad es el metal líquido en movimiento en el núcleo externo terrestre) no es fijo ni estacionario, sino que cambia con el tiempo. En consecuencia, el polo magnético cambia lentamente su posición en una especie de bamboleo, que se denomina “variación secular” porque ocurre a lo largo de los años y siglos. Sin embargo, si consideramos el camino experimentado por el polo a lo largo de un tiempo suficientemente largo, vemos que la trayectoria discurre alrededor del polo geográfico, y que éste último coincide con la dirección del polo magnético promediado en el tiempo.

Dicho de otro modo, si analizamos el registro del campo magnético terrestre en una película de varios miles de años de duración, y no en una fotografía instantánea, veremos que los polos, ecuador y meridianos magnéticos coinciden con los geográficos, es decir, con el sistema de referencia que usamos en nuestros mapas. Por ese motivo, los estudios paleomagnéticos se basan en el estudio de una sucesión de rocas suficientemente extensa, como para que su formación abarque varios miles de años. Para ver la película en lugar de la foto, el estudio paleomagnético se basa en muchas, muchas muestras de roca.



**Figura B:** El campo magnético de la Tierra en una vista ecuatorial, en su estado de polaridad “normal” (el que tiene actualmente). Las flechas rojas representan la dirección del vector campo magnético. Esta dirección es tangente a las líneas de fuerza del campo, se dirige siempre hacia el norte, y es la dirección que adoptaría la aguja de una brújula con completa libertad de movimiento. PMN y PMS son los polos magnéticos norte y sur, respectivamente. “M” es el momento del imán imaginario situado en el centro de la Tierra, capaz de generar un campo magnético tal como el que se dibuja. En realidad no es un imán lo que existe en el núcleo terrestre, sino metal líquido en movimiento. En los períodos de polaridad opuesta a la actual o “reversa”, PMN y PMS invierten su posición, y por lo tanto los vectores cambian de sentido. Figura adaptada de Cox y Hart (1986).

Pero ¿qué pasa si las rocas se formaron hace mucho tiempo? Lo más probable es que hayan sido movidas de su posición original. El movimiento puede incluir desplazamiento de miles de kilómetros, si el tiempo transcurrido fue suficiente para que la “deriva” continental haya sido grande.

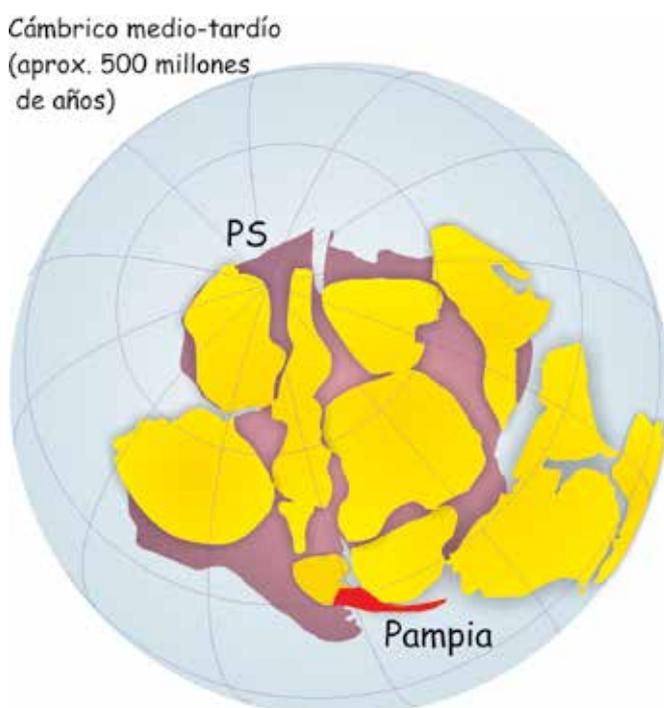
Por otra parte, existen evidencias de que el polo magnético (promedio) siempre estuvo aproximadamente en el mismo sitio, salvando las variaciones seculares y las inversiones de su polaridad. Entonces, si el polo está en el mismo sitio, pero la dirección del vector MRN de la roca no coincidiera con el vector promedio del campo magnético terrestre actual del lugar, entonces la diferencia en declinación e inclinación entre ambos vectores puede usarse como medida del desplazamiento experimentado por la roca (ver el CMT).

**Figura 5.** Mapa de las provincias geológicas del noroeste argentino. Se indica la distribución actual de los afloramientos del Grupo Mesón, de edad cámbrica, que aparecen especialmente en la Cordillera Oriental. Simplificado a partir de Barrientos Ginés et al. (2018). Las estrellas marcan la ubicación en que se obtuvieron muestras para estudios paleomagnéticos en la Formación Campanario, que integra el Grupo Mesón: (1) Santa Victoria Oeste (Franceschinis et al. 2016); (2) Matancillas, río Iruya (Spagnuolo et al. 2008); (3) Parada El Cóndor (Spagnuolo et al. 2012).



**Los cambios de polaridad del CMT:** Además de la variación secular, el campo magnético terrestre experimenta otra clase de cambios más sorprendentes, y de los cuales sólo conocemos a partir de las evidencias que han dejado en las rocas: se trata de las inversiones de polaridad. El registro magnético fósil de las rocas indica que han existido períodos, más largos o más cortos, en los que los polos del campo magnético terrestre estaban invertidos con respecto a la posición que tienen actualmente. La frecuencia de las inversiones ha variado a lo largo del tiempo, con períodos de 5-7 reversiones en un millón de años, y períodos de varios millones de años sin ninguna reversión. La última inversión ocurrió hace 780.000 años, y se estima que fue un proceso rápido, que se completó en unos pocos miles de años (quizás en el orden de 10.000 años). El estudio del registro de las inversiones de polaridad en una secuencia de rocas de edad desconocida, permite su correlación y el establecimiento de edades relativas (Magnetoestratigrafía).

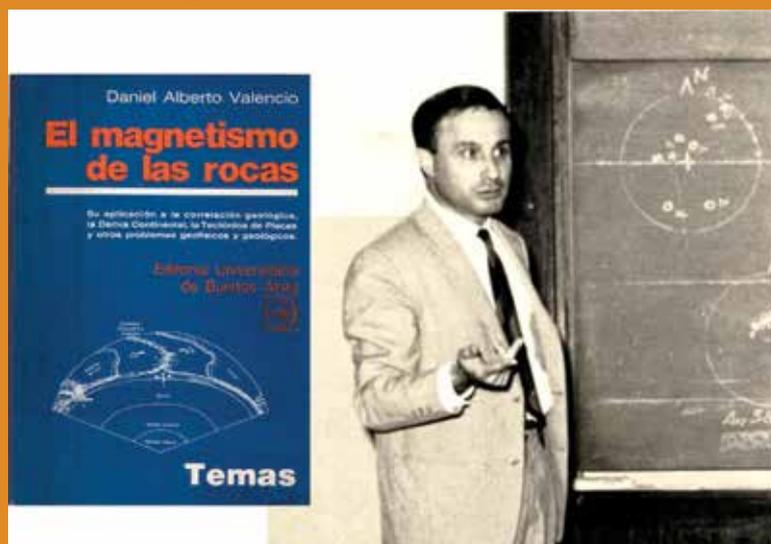
El procesamiento de las muestras en el laboratorio demostró que el vector MRN, una vez limpio de magnetizaciones más modernas que se pudieran haber superpuesto a la original, apuntaba con buena consistencia en una dirección aproximada hacia el E-NE, con una inclinación de unos 20-40° hacia abajo, en todas las localidades estudiadas. Esta dirección es muy diferente a la del campo magnético terrestre actual en la zona, y da la pauta de que toda el área experimentó una importante rotación en algún momento de los 500 millones de años que median entre la formación de las rocas y el presente. La información geológica disponible indica que la Cordillera Oriental habría formado parte de un bloque cortical mayor conocido como "Pampia" durante el Cámbrico. Pero no sólo Pampia experimentó movimientos; también sufrieron complejas traslaciones todas las demás masas continentales, de manera que la reconstrucción paleogeográfica es una tarea similar a la del rompecabezas de páginas anteriores. Se trata de situar cada pieza con su dirección "norte-sur" paralela a los meridianos actuales, en la latitud correcta (es decir, en la fila correspondiente), y luego, jugar con el resto de las piezas para obtener el mejor ajuste. La figura 6 muestra un posible resultado de este procedimiento, en el que el mejor ajuste de todos los datos disponibles se obtiene cuando Pampia se coloca adosada al extremo sur de África. Por lo tanto, para llegar a su posición actual, Pampia debería haberse desplazado varios miles de kilómetros deslizándose a lo largo del borde del continente Gondwana, una de las partes del viejo supercontinente Pangea. De acuerdo con los datos geológicos disponibles hasta la fecha, ese desplazamiento podría haber ocurrido hace más de 350 millones de años, durante la Era Paleozoica.



**Figura 6.** Reconstrucción paleomagnética para el Cámbrico medio-tardío (aproximadamente 500 millones de años atrás). PS es la posición del polo sur; en amarillo, las masas continentales tal como se supone que eran en el Cámbrico; en castaño, el contorno actual de África y América del Sur (sin Patagonia) como referencia. En rojo, la posición interpretada para Pampia (que incluye la Cordillera Oriental y parte de las Sierras Pampeanas), adosada al extremo sur de África. Modificado de Franceschinis et al. (2016).

Sin dudas, la posibilidad de hipotetizar sobre la situación geográfica de nuestra región en tiempos remotos resulta, como mínimo, estimulante y curiosa. Pero el camino del conocimiento científico no se detiene en la simple curiosidad, sino que abre la puerta a su característica más poderosa: la predicción. Conocer la trayectoria que siguieron las placas geológicas en el tiempo, y la manera en que interactuaron entre ellas, permite predecir, por ejemplo, en qué lugares ocurrieron cierta clase de colisiones o separaciones, y en qué momentos. Es decir, el geólogo puede predecir qué rocas pueden haberse formado en cierto borde de placa, dónde, y qué edad tendrían. Y además, qué clase de yacimientos de interés económico pueden haberse formado en relación con esos procesos. Apenas un ejemplo del modo en que el conocimiento científico puede, a la larga, ser aplicado en actividades redituables para la sociedad.

**Daniel Valencio, el primer paleomagnetista de la Argentina:** El uso de las propiedades magnéticas de las rocas en paleogeografía fue sugerido por primera vez alrededor de 1950, por el grupo de investigación de la Universidad de Cambridge liderado por el físico británico Keith Runcorn, como modo de verificar la deriva de los continentes propuesta por Wegener. La técnica paleomagnética se fue perfeccionando rápidamente y su aplicación se difundió en numerosos laboratorios distribuidos mundialmente. Los primeros estudios paleomagnéticos en la Argentina fueron realizados por uno de los discípulos de Runcorn, Keneth Creer, en 1958. Poco después, en 1962, tomó la posta el Ing. Daniel Alberto Valencio, el primer investigador argentino en Paleomagnetismo, quien, luego de un período de formación en Cambridge, se instaló en el Departamento de Ciencias Geológicas de la Universidad de Buenos Aires y fundó el Laboratorio de Paleomagnetismo que hoy lleva su nombre. Sus instalaciones forman parte del actual IGEBA (UBA-CONICET). Con sus estudios sobre el paleomagnetismo el Ing. Daniel Valencio, junto a su joven discípulo Juan Vilas, fueron los introductores de los conceptos de la Tectónica de Placas en la comunidad geocientífica de la Argentina en la década de los sesenta.



El Ing. Daniel Valencio mientras dictaba clases en la Universidad de Buenos Aires. En el recuadro, su libro "El magnetismo de las rocas", publicado en 1980 por la Editorial Universitaria de Buenos Aires (EUDEBA).

---

## REFERENCIAS

---

- Barrientos Ginés, A.V., Aparicio González, P., Bercheñi, V.A., y Moya, M.C. 2018. Estratigrafía y sedimentología de las unidades ordovícicas del tramo central de la sierra de Mojotoro, Cordillera Oriental, Noroeste Argentino. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 74: 609-625.
- Cox, A. y Hart, R.B. 1986. *Plate tectonics, how it works*. Blackwell Sci. Pubs., 392 pp. Oxford, Reino Unido.
- Franceschinis, P.R., Rapalini, A.E., Escayola, M.P., y Luppo, T. 2016. Paleomagnetic studies on the late Ediacaran–Early Cambrian Puncoviscana and the late Cambrian Campanario formations, NW Argentina: New paleogeographic constraints for the Pampia terrane. *Journal of South American Earth Sciences*, 70: 145-161.
- Spagnuolo, C.M., Rapalini, A.E., y Astini, R.A. 2008a. Paleogeographic and tectonic implications of the first paleomagnetic results from the Middle–Late Cambrian Mesón Group: NW Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 25: 86-99.
- Spagnuolo, C. M., Rapalini, A. E., y Astini, R. A. 2012. Assembly of Pampia to the SW Gondwana margin: A case of strike-slip docking? *Gondwana Research*, 21: 406-421.
- Turner, J. C.M., 1960. Estratigrafía de la Sierra de Santa Victoria y adyacencias. *Boletín de la Academia Nacional de Ciencias de Córdoba*, 4: 163-196.
- USGS, Teaching companion exercise, “Wegener’s puzzling evidence”, [https://volcanoes.usgs.gov/vsc/file\\_mgr/file-139/This\\_Dynamic\\_Planet-Teaching\\_Companion\\_Packet.pdf](https://volcanoes.usgs.gov/vsc/file_mgr/file-139/This_Dynamic_Planet-Teaching_Companion_Packet.pdf). Consultado 31 julio 2019.
- Valencio, D.A. 1980. *El magnetismo de las rocas: su aplicación geológica, la deriva continental, la tectónica de placas y otros problemas geofísicos y geológicos*. EUDEBA, 351 pp., Buenos Aires.

# Quisiera ser grande (sin metamorfosear en el intento)

Javier Goldberg<sup>1</sup> y Florencia Vera Candiotti<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Bio y Geociencias del NOA (IBIGEO, CONICET). jgoldberg@conicet.gov.ar

<sup>2</sup>Unidad Ejecutora Lillo (UEL, CONICET - FML). florivc@gmail.com

---

¿Quién no recuerda películas como "Quisiera ser grande" (1988) o "Si tuviera 30" (2004), entre las más populares, que han retratado la fantasía de niños y adolescentes de saltarse varias etapas de su vida hacia una adultez idealizada y más libre? (<https://www.youtube.com/watch?v=xjetFgtdnTo>). ¿Quién no ha tenido alguna vez cuando niño la fantasía de ser mayor? ¿Es posible saltarse algunas etapas de la vida durante el desarrollo y crecimiento?

Ahora, olvidémonos de los seres humanos y el complejo mundo de la niñez y la adolescencia (aunque no sea tan fácil...) para centrarnos en una visión más biológica del asunto: todos los animales, a lo largo de su vida (es decir su ontogenia, desde que son una célula fecundada hasta su muerte) atraviesan una serie de cambios y procesos que involucran desarrollo y crecimiento y que pueden temporalmente estandarizarse en tres etapas: embrionaria, juvenil y adulta. Todos nos entendemos cuando hablamos de un embrión (que crece y se desarrolla dentro del huevo o en el útero de la hembra), de un juvenil (de vida libre que crece y se desarrolla pero aún no es capaz de reproducirse) o de un adulto (capaz de reproducirse) y, aun cuando estas tres etapas pueden variar mucho en su duración entre especies o incluso entre organismos de una misma especie, no hay ninguna especie animal conocida que no atraviese alguna de ellas. Este tipo de desarrollo en el que un animal eclosiona o nace en una versión más pequeña, juvenil, de su forma adulta y no hay una transición importante en la forma del animal desde juvenil al adulto se denomina desarrollo directo.

Hasta aquí estamos de acuerdo, ¿no? Por más Hollywood e imaginación que haya estamos seguros de que ningún organismo nacería adulto para pasar a ser juvenil (por más curioso caso de Benjamin Button -2008- que sea) o pasaría de un huevo a ser un adulto que pueda reproducirse sin siquiera atravesar el periodo de juvenil, aun cuando este puede durar horas, días o años dependiendo de la especie (hasta el ejército de Clones de la Guerra de las Galaxias Episodio II -2002- pasa por un periodo juvenil de crecimiento y de desarrollo).



**Figura 1.** Esquema comparativo de los tipos de desarrollo (A) indirecto, el más común en anfibios anuros, y (B) directo, presente en alrededor de 1600 especies que nunca desarrollan renacuajos. Las diferencias morfológicas y fisiológicas se concentran en las etapas anteriores a la juvenil.

Pero... ¿puede ser aún más complejo? ¿Qué pasa en la mayoría de los crustáceos, insectos, anfibios e incluso muchos peces? En estos organismos, la ontogenia se complejiza con la suma de una nueva etapa, la larval, que comprende desde la eclosión hasta el final de la metamorfosis. Sí, la metamorfosis, esa serie de cambios de forma, comportamiento y fisiología irreversibles que llevan a una larva a convertirse en un juvenil (aquí la comparación con la metamorfosis de Kafka o la película *La Mosca* -1986- queda fuera de contexto en una ontogenia, aunque mucho nos permitiría ilustrar sobre desarrollo y genes compartidos entre humanos e insectos).

En los anfibios anuros, la etapa larval es extremadamente conocida y comprende a los archiconocidos renacuajos. Más allá de algunos serios (o graciosos) casos de confusión entre renacuajos y peces, es sabido que ranas y sapos pasan por un periodo de renacuajo, de vida libre y acuática, que posee cola y que debe atravesar una serie de cambios, la famosa metamorfosis, para pasar a la etapa juvenil y luego, cuando sean capaces de reproducirse, a la adulta (ver Cruz, 2018: *TBGNoa*, Vol. 8: 13-17). Así muchos de estos organismos atraviesan cuatro etapas durante su ontogenia: embrión-larva-juvenil-adulto. Este tipo de desarrollo es el que comúnmente se llama desarrollo indirecto (Fig. 1).

A la actualidad hay más de 7120 especies de anuros conocidos en todo el mundo! A muchos de ellos aún no se les conoce el renacuajo, aunque eso está cambiando y día a día nuevas descripciones van surgiendo en la literatura científica. Mientras más descripciones surgen, la diversidad que se descubre es cada vez mayor, con formas, tamaños o estructuras muy llamativas o únicas en una sola especie. Además, numerosas especies muestran desviaciones a la generalidad de poner sus huevos en el agua y desarrollar renacuajos de vida libre que luego pasan por la metamorfosis a los periodos juvenil y adulto (Fig. 2). Por ejemplo, en el sapo de Surinam (*Pipa pipa*) el desarrollo ocurre completamente dentro de cámaras de incubación individuales en la piel dorsal de la hembra, de donde luego de alrededor de 3 meses surgen los juveniles. En las ranas punta de flecha de la familia Dendrobatidae los renacuajos recién incubados se ubican sobre el dorso del macho, quien busca una charca o alguna hoja con agua donde depositarlos. O los embriones de la ranita de Darwin (*Rhinoderma darwinii*), que se terminan de desarrollar en el saco vocal del macho que los mantiene por alrededor de 50 días hasta que completan la metamorfosis. Sin embargo, aun cuando todos los renacuajos se convierten en sapos o ranas, no todos los sapos y ranas comienzan como renacuajo... (imaginemos una película de Pixar donde en un mundo de fantasía un embrión de rana un día pidió el deseo de ser grande... y no pasó por la etapa de renacuajo; Fig. 1).



**Figura 2.** Ranas con diferentes tipos de desarrollo, de izquierda a derecha: *Pipa pipa*, con embriones que se desarrollan en bolsas incubatrices en la piel dorsal de la hembra, *Ameerega trivittata*, con renacuajos que pasan un tiempo en el dorso del macho y *Rhinoderma darwinii*, cuyos embriones metamorfosean dentro del saco vocal del macho. Las fotos de *Pipa* y *Rhinoderma* fueron tomadas de un video disponible en Youtube (y ya que estamos cinéfilos los invitamos a ver este video que, aun estando en francés, tiene imágenes que hablan por sí solas <https://youtu.be/oHtVy59m1TU>). Foto *Ameerega trivittata*: Darío José Alarcón Naforo.

Así es, aun cuando es poco conocido muchas especies de anuros presentan desarrollo directo. Alrededor de la quinta parte de las especies de ranas eclosionan como pequeños adultos y nunca atraviesan una etapa larval. El desarrollo directo en los anuros es derivado, esto significa que el ancestro de todas las ranas y sapos fue un renacuajo en algún momento de su ontogenia, pero esa etapa fue eliminada durante la evolución de algunas especies. Este cambio en el desarrollo evolucionó independientemente (es decir en especies o grupos lejanamente emparentados) en al menos nueve grupos de anuros. Así, estas especies son capaces de reproducirse en la tierra ya que perdieron toda la relación con el ambiente acuático, ambiente sin el cual un renacuajo no podría sobrevivir.

...Entonces ¿los anuros de desarrollo directo pueden vivir en los desiertos y como Aladino pidieron el deseo de parecer adultos rápidamente y vivir felices por siempre? No, no solo el periodo embrionario puede ser de duración variable, desde 17 días en algunas especies hasta 65 días en otras, sino que además estas especies viven en zonas tropicales, donde la hojarasca del suelo se mantiene húmeda todo el año. La humedad del suelo es fundamental para mantener hidratadas las cápsulas del huevo donde los embriones se desarrollan. Y no fue magia, los estudios científicos sugieren que en realidad lo que ha sucedido es que la glándula tiroidea, una de las principales glándulas que dirige el desarrollo a través de la hormona tiroidea, se diferencia y comienza a funcionar precozmente durante el desarrollo embrionario (ésto sumado a la presencia temprana de hormona de origen materno en el embrión), mucho más temprano que en los anuros con desarrollo indirecto.



**Figura 3.** Desarrollo embrionario en dos especies de ranas con desarrollo directo. *Oreobates berdemenos* es una especie recién descrita en las Yungas de Jujuy, mientras que a *Ischnocnema henselii* la podemos encontrar en Misiones y sur de Brasil. Las fotos muestran un detalle de la puesta terrestre y embriones de *Oreobates* vivos en diferentes estadios (arriba), y una serie de embriones de *Ischnocnema* preservados y removidos del huevo (escala = 1 mm). La gran cantidad de vitelo de los embriones proporciona energía para el desarrollo, y estos embriones alcanzan una forma juvenil dentro del huevo (*Oreobates* con la ñata contra el huevo) sin alimentarse de fuentes externas. Fotos: Ma. José Salica y Pedro Taucce.

Pero veamos entonces cómo se desarrollan (Fig. 3) ...

Los embriones se desarrollan dentro del huevo, cubiertos por varias "cápsulas de gelatina", en la tierra, donde generalmente son cuidados por sus progenitores. Los huevos tienen mucha yema, para compensar la falta de alimentación como un renacuajo libre, que permanece unida al intestino para su uso hasta los primeros días después de la eclosión (imaginemos algo similar a los pollos).

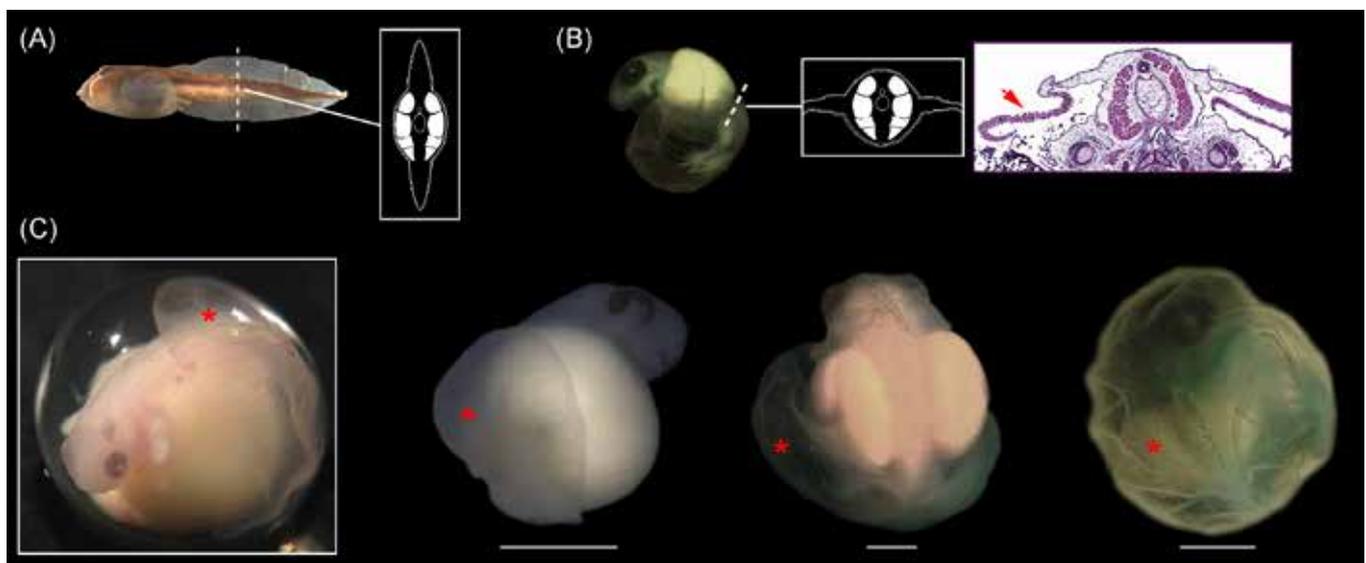
La eliminación del renacuajo de la ontogenia implicó muchos cambios morfológicos. Estos cambios se pueden clasificar en cuatro grupos: 1) pérdida de estructuras específicas del renacuajo o de embriones que eclosionan en renacuajos, 2) aceleración en la formación de estructuras adultas, lo que usualmente ocurre en la etapa larval y aquí ocurre en el embrión, 3) modificación de estructuras presentes en el renacuajo pero utilizadas con otra función, y 4) desarrollo de nuevas estructuras.

Con respecto al primer grupo, los anuros con desarrollo directo no desarrollan glándulas adhesivas, espiráculo, órganos sensoriales como los de la línea lateral, intestino enrollado como el que permite a los renacuajos digerir el material vegetal, algunos cartílagos craneales, ni los dientes labiales y vainas raspadoras que utilizan los renacuajos para comer (Fig. 4). En el segundo grupo podemos mencionar el desarrollo de las extremidades y algunos músculos y estructuras craneales.



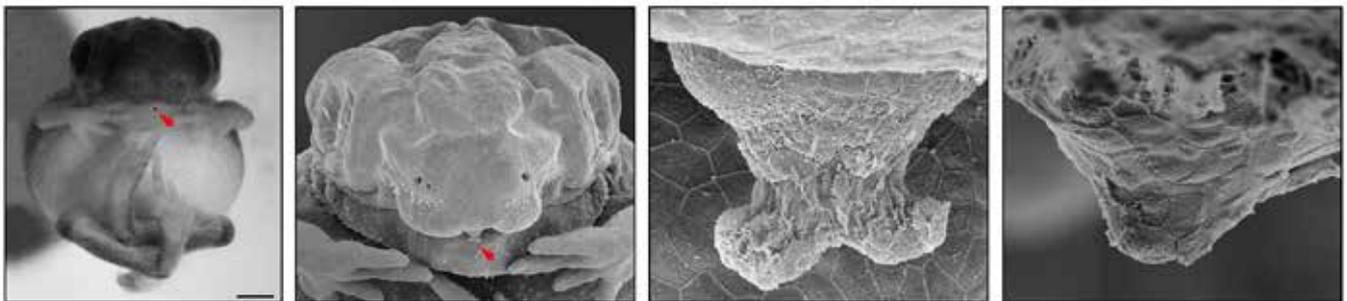
**Figura 4.** Características típicas de las larvas de anuros, que no se desarrollan o están muy reducidas en embriones con desarrollo directo. Las flechas muestran, de izquierda a derecha: las líneas laterales (un sistema sensorial mecánico), branquias externas (intercambio gaseoso), glándulas adhesivas (adhesión a superficies), vainas y dientes labiales (alimentación), espiráculo (salida de agua) e intestino espiralado (digestión). Foto líneas laterales: Silvia Quinzio.

El tercer tipo de cambios se ejemplifica principalmente con la cola (Fig. 5). En los anuros con desarrollo larval, la cola comienza a diferenciarse en el embrión y adquiere su máximo desarrollo en el renacuajo, conformándose como el principal órgano locomotor. En el renacuajo la cola está formada por el músculo caudal y las aletas dorsal y ventral. La cola en los anuros con desarrollo directo en cambio exhibe una gran variación en forma y tamaño. Dependiendo de la especie, la cola puede ser tipo-renacuajo como en las ranas coqui del género *Eleutherodactylus*, o puede envolver todo el embrión como en la rana de la hojarasca del Baritú (*Oreobates barituensis*). A su vez las aletas pueden ser dorsal y ventral tipo-renacuajo, como en las ranas coqui o las ranas miniatura del género *Brachycephalus*, o pueden ser laterales como en las ranas cutín del género *Pristimantis* o las ranas ladradoras del género *Craugastor*. Esto es un ejemplo de lo que en biología evolutiva denominamos una remodelación del desarrollo, que refiere a estructuras que en el ancestro se desarrollan de una forma y que en las especies más derivadas lo hacen de manera diferente. Además, en las ranas con desarrollo directo la cola adquiere una nueva función (esto es lo que en biología evolutiva llamamos exaptación) y cambia de ser un órgano locomotor a un órgano relacionado con el intercambio gaseoso, es decir, respirador... ¿Y cómo sucede esto? Las aletas están formadas por un epitelio muy plegado y vascularizado (lleno de vasos sanguíneos), y con esto proporcionan una mayor superficie para el intercambio gaseoso.



**Figura 5.** Comparación de la estructura de la cola en (A) renacuajos, y (B) embriones de algunas especies con desarrollo directo. En los renacuajos, las aletas se disponen dorsal y ventral, como en la cola de los peces. En cambio, en algunas especies con desarrollo directo las aletas se diferencian lateralmente al eje muscular. El corte histológico de la cola de *Haddadus binotatus* muestra además que el epitelio de las aletas está muy plegado y vascularizado (flecha), con una clara función respiratoria. Las fotos en (C) muestran diferentes colas (asteriscos) de este grupo de ranas, de izquierda a derecha: *Oreobates berdemenos* con cola que envuelve la mitad caudal del embrión, *Ischnocnema henselii* con cola tipo-renacuajo, *Haddadus binotatus* con cola envolviendo la mitad caudal del embrión, y *Oreobates barituensis* con la cola envolviendo completamente al embrión (escalas = 1 mm). Foto *Oreobates berdemenos*: Ma. José Salica.

Por último, el desarrollo de nuevas estructuras, esto es estructuras que no están en los ancestros con desarrollo indirecto, entre las que podemos mencionar el diente del huevo (Fig. 6). La presencia de un diente del huevo, que rompe las membranas y permite la eclosión, parece estar restringida sólo a un gran grupo de ranas con desarrollo directo que habitan desde Estados Unidos a Argentina; otras especies con desarrollo directo en otras familias de anuros carecen de esta estructura. El diente del huevo puede tener una de dos morfologías posibles: una estructura única, mediana, puntiaguda a redondeada como en la rana de la hojarasca misionera *Ischnocnema henselii* o una estructura claramente bifurcada como en la rana de la hojarasca del Baritú. Este diente, luego de la eclosión se cae y no es reemplazado por otra estructura (claramente el ratón Pérez no visita a las ranitas con desarrollo directo...). Curiosamente, otros vertebrados también poseen una estructura similar a un diente queratinizado (con una capa externa de células planas que le dan rigidez) que se forma a partir del engrosamiento de la piel en la punta del hocico o pico y que desaparece en algún momento después de la eclosión. Esta estructura se llama carúncula y se desarrolla como un engrosamiento de la punta del hocico de los tuataras, las tortugas, cocodrilos y los embriones de aves.



**Figura 6.** Diente del huevo en un embrión de *Oreobates barituensis*, mostrando su ubicación en la mandíbula superior (flechas) y un detalle de su estructura bicúspide y sus células queratinizadas (escala = 1 mm). La última imagen muestra, por comparación, un diente del huevo unicúspide de *Ischnocnema henselii*.

¿Y cómo sabemos todo esto?

El estudio del desarrollo implica la obtención de series de desarrollo completas para cada especie. Una serie de desarrollo es un conjunto ordenado de morfologías (como si fueran fotos) según una secuencia temporal a partir de la cual podemos describir cómo los procesos de diferenciación y crecimiento conforman un organismo. Dadas las características de estas especies, que ponen sus huevos en la hojarasca en ambientes tropicales, es muy difícil obtener puestas que permitan un seguimiento para la obtención de diferentes estadios del desarrollo. Sin embargo, para algunas especies esto se ha conseguido (aunque poco más de 20 de las más de 1600 especies), y esto nos permite describir variaciones interesantes entre las especies y la aparición de nuevas estructuras y funciones. Resulta curioso además que estas diferencias con respecto a los anuros con desarrollo indirecto sólo están relacionadas con las etapas embrionarias y larval, ya que una vez que se alcanzan las etapas de juvenil y adulto no existen grandes diferencias entre las especies con desarrollo directo o indirecto que puedan preverse por sus modos de desarrollo. El príncipe sapo, el sapo Pepe o la ranita Demetán pudieron haber sido renacuajos o haber eclosionado directamente desde el huevo como juveniles...pero eso nunca lo sabremos.



**En Argentina** existen cuatro especies de ranas con desarrollo directo: *Oreobates discoidalis*, *Oreobates berdemenos*, *Oreobates barituensis* e *Ischnocnema henselii*.

Las ranas del género *Oreobates* se distribuyen en la ecoregión de las Selvas de las Yungas: *O. discoidalis* está restringida a Tucumán, *O. barituensis* a las Selvas de Tucumán, Salta y Jujuy, y *O. berdemenos* sólo ha sido observada en Salta y Jujuy.

Las tres especies están categorizadas como Vulnerables, debido a que sus hábitats se ven modificados por obras civiles de gran envergadura, explotación forestal, cultivos y ganadería.

*Ischnocnema henselii* está descrita solamente para unas pocas localidades del centroeste y norte de la provincia de Misiones. Debido a la falta de conocimiento de su biología, rango de distribución y estado de conservación, se la considerada especie Insuficientemente Conocida.

Fotos: Mauricio Akmentins (1,2) y Diego Baldo (3,4)



**Agradecimientos:** a M. Akmentins, D. Baldo, S. Quinzio y Ma. José Salica (Argentina), D. Alarcón Naforo (Colombia) y P. Taucce (Brasil) por prestarnos desinteresadamente su material biológico y fotografías. A los laboratorios de microscopía electrónica (LASEM - Salta y CISME – Tucumán), y a ANPCyT, CONICET, IBIGEO, UNT y FML por financiamiento y lugar de trabajo.



### PARA CONOCER MAS...



Cruz JC. 2018. Metamorfosis: cambio de forma durante el desarrollo, [Temas de Biología y Geología, 8: 13-17.](#)

Elinson R. 2001. Direct development: an alternative way to make a frog. Genesis 29: 91–95 (descarga gratuita en: <http://nsmn1.uh.edu/frankino/assets/docs/EcoDevo/elinson.pdf>)

Goldberg J, Vera Candiotti F. 2015. A tale of a tail: variation during the early ontogeny of *Haddadus binotatus* (Brachycephaloidea: Craugastoridae) as compared with other direct developers. Journal of Herpetology 49: 479–484.

Goldberg J, Vera Candiotti F, Akmentins MS. 2012. Direct developing frogs: ontogeny of *Oreobates barituensis* (Anura: Terrarana) and the development of a novel trait. Amphibia-Reptilia 33: 239–250.

<https://www.conicet.gov.ar/descubren-una-nueva-especie-de-rana-endemica-en-jujuy/>