

Y cambiando seguirán...



Los ecosistemas no se encuentran en un equilibrio estático. Presentan cambios constantes que son parte de su dinámica normal. La paleontología juega un papel fundamental para entender los cambios que pueden suceder en el futuro.

Raúl Gío-Argáez y Ma. del Pilar Melgarejo D.

Imaginemos a un grupo de mamuts avanzando en busca de alimento a las orillas de un bosque del Pleistoceno (hace 10 mil años). Más allá, en una lejana sabana, un camello americano equipado con largas piernas y cuello se alimenta del fruto de una espinosa *Opuntia* (nopal); mientras que en una pradera de Norteamérica, caballos nativos buscan refugio de los rayos del sol.

Retrocedamos un poco más en el tiempo. Visualicemos ahora una playa cretácica (hace aproximadamente 70 millones de años): un dinosaurio carnívoro, un *Velociraptor*, acecha cautelosamente a un grupo de iguanodontes (herbívoros de gran talla), mientras un reptil volador surca el azul del cielo.

Si nos remontáramos hasta finales del Precámbrico (600 millones de años atrás), la primera era en el tiempo geológico, veríamos los mares habitados por formas de vida completamente ausentes en los mares actuales, algunos parecidos a medusas, animales con forma de helecho y hasta de pluma.

Después de este somero vistazo hacia atrás en la historia de nuestro planeta, resulta casi increíble el pensar que todos estos

organismos tan variados hayan compartido el mismo escenario: la Tierra. Sin embargo, esto ha sido posible gracias a los cambios que han operado en ella a lo largo de millones de años.

Estos cambios han ocurrido a todos niveles, en la corteza terrestre y en el clima, y en conjunto han suscitado modificaciones en los seres vivos, porque el planeta y sus habitantes han cambiado desde los inicios de los tiempos... y *cambiando seguirán*.

Y es que el planeta Tierra es un sistema complejo donde todos sus componentes interactúan constantemente. Para referirnos al conjunto de dichas interacciones en un área determinada, con una independencia relativa y con una gran afinidad, utilizamos la palabra *ecosistema*. Proviene del griego *oikos* (casa) y *systema*, término que puede ser definido como un conjunto de elementos que guardan una estrecha relación entre ellos.



México, al igual que muchos otros países en Sudamérica y Asia, es considerado *megadiverso*, pues alberga una muy considerable variedad de plantas y animales. Pero, ¿qué es lo que le permite tener esa abundancia de especies? La clave está en su orografía y su amplia diversidad de climas. En otras palabras, el hecho de ser un país tan accidentado, con sus múltiples montañas de distintas altitudes y algunas planicies, influye notablemente en el clima, y ambos en la distribución de los organismos,

permitiendo la existencia de numerosos y distintos ambientes en que se desarrollen.

Pensemos en el desierto. Este ecosistema es caracterizado por cambios muy drásticos de temperatura a lo largo del día. Es fresco en las primeras horas, muy caluroso al mediodía y extremadamente frío por la noche. La cantidad de agua que recibe a través de la lluvia es muy escasa, y a veces pasan años sin que se presente. Sin embargo, esto no ha resultado un impedimento para la presencia de una gran cantidad de flora y fauna.

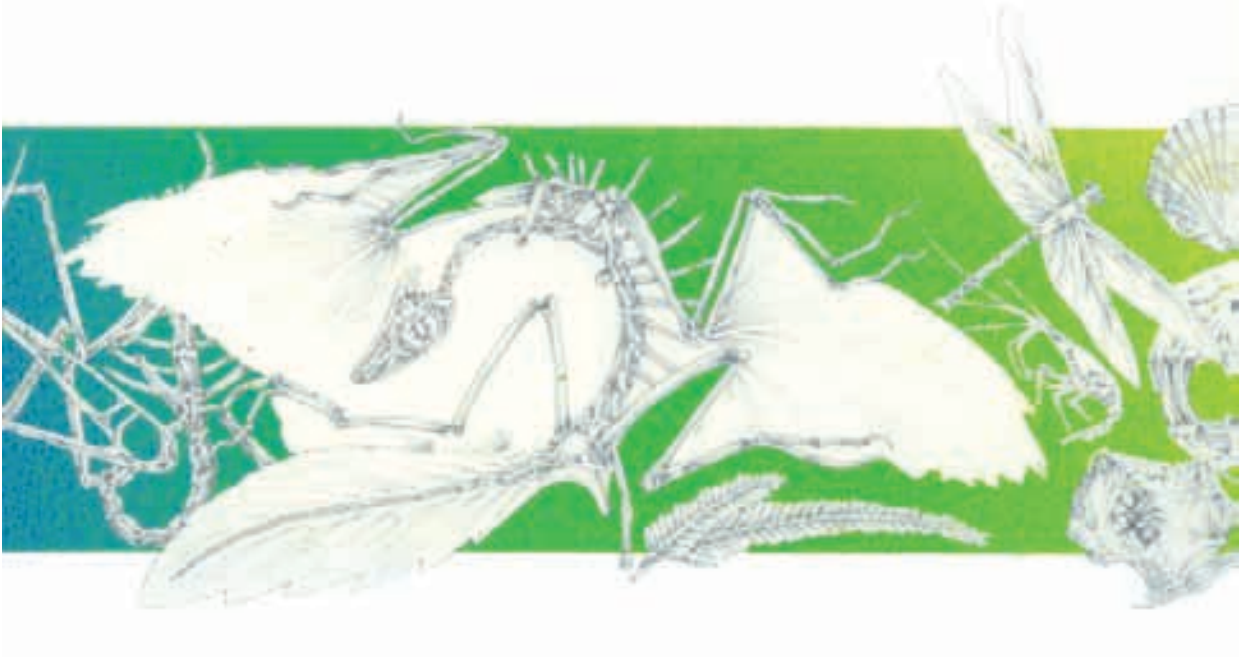
Los cactus y algunos arbustos han encontrado la manera de sobrevivir a los largos periodos de sequía en este ecosistema. Una de sus estrategias es la de cambiar sus hojas por espinas. Con ellas, reducen el gasto innecesario de agua. Los animales, por su parte, también se encuentran preparados para las inconveniencias del desierto. La ardilla antílope del desierto de Mojave, en los Estados Unidos (*Spermophilus mohavensis*), como mencionan Bartholomew y Hudson (1961), es capaz de tolerar altas temperaturas externas e incluso internas. Cuando su temperatura interna se eleva peligrosamente, sólo tiene que volver al frescor de su madriguera (cavada a la sombra de alguna planta) y permanecer inmóvil durante unos pocos minutos hasta que su temperatura desciende. Esta ardilla también posee mecanismos para tolerar la deshidratación, pues sus riñones hacen un uso muy eficiente del agua.

Todo esto es posible debido a que las relaciones bióticas y abióticas (Cuadro 1) permiten que haya un flujo continuo de energía, regulando las interacciones en el ecosistema. Al hablar de re-

CUADRO 1.

Relaciones bióticas y abióticas de un ecosistema

BIÓTICAS	
Poblacionales:	Interpoblacionales:
Natalidad	Mutualismo
Mortandad	Comensalismo
Crecimiento	Coexistencia
Distribución	Depredación y parasitismo
Densidad	Competencia interespecífica
Dispersión	
Competencia intraespecífica	
Distribución por edades	
ABIÓTICAS	
Ciclos físico-químicos	Geodinámica
Geoquímicos	Deriva continental
Bioquímicos	Tectónica de placas
Biogeoquímicos	Procesos hidrológicos
	Procesos climáticos



laciones *bióticas* nos referimos a las interacciones que se dan entre los organismos. Las relaciones *abióticas* son aquellas que involucran fenómenos tales como el movimiento de la corteza de la Tierra y los ciclos climáticos e hidrológicos.

La unidad fundamental de los ecosistemas son las comunidades. Un ejemplo de una *comunidad* puede observarse en los arrecifes coralinos. Las comunidades están compuestas de *poblaciones*: de algas, poliquetos, anémonas, corales, peces, y erizos de mar, entre otros, constituidas a su vez por *individuos* de la misma especie.

Las comunidades, al estar en continua interacción con su entorno abiótico, se ven influenciadas por las condiciones atmosféricas y por la altitud, cantidad de luz, temperatura, humedad, acidez del medio y concentración de nutrientes. Dichos factores determinan la distribución de los organismos, pues regulan, por un lado, el desarrollo de algunas poblaciones, y por otro limitan y frenan el crecimiento de otras.

Sin embargo, los organismos tienen a su vez la posibilidad de modificar a los componentes abióticos. Al consumir los recursos, al excretar y secretar sustancias, cambian físicamente la estructura del ambiente. Es decir, la evolución del organismo y el ambiente son procesos acoplados. Tanto los procesos de los organismos como los ambientales son al mismo tiempo causa y efecto.

Retomando el ejemplo anterior, muchos de los arrecifes coralinos se encuentran en aguas tropicales poco profundas, donde se recibe suficiente cantidad de luz para el crecimiento de las algas asociadas simbióticamente a los pólipos que forman el coral.

Las comunidades, al estar en continua interacción con su entorno abiótico, se ven influenciadas por las condiciones atmosféricas y por la altitud, cantidad de luz, temperatura, humedad, acidez del medio y concentración de nutrientes

Otro ejemplo de esta interacción está en la fotosíntesis, cuya aparición hace miles de millones de años en ciertas bacterias marcó un cambio en la composición química de la atmósfera, que pasó de ser reductora a oxidante. A su vez, esta disponibilidad de oxígeno en el ambiente permitió la evolución de nuevas formas de vida.

El hombre, al constituir parte de la naturaleza, ejerce también influencia en la misma. A diferencia de lo que podría pensarse, las perturbaciones ocasionadas por el hombre no son exclusivas de la sociedad actual, sino que se remontan a tiempos antiguos. Por ejemplo, las prácticas agrícolas de “tumba, roza y quema” de los mayas que habitaban la zona de Colha, cerca del pantano de Cobweb, en Belice (hace aproximadamente 2 mil años), desforestaron la región. Es decir, su presencia tuvo una influencia negativa que cambió drásticamente el ambiente. Probablemente, esto mismo condujo tarde o temprano, a que los mayas abandonaran sus grandes ciudades.

Podemos decir que los ecosistemas no se encuentran en un equilibrio estático, sino que presentan continuamente procesos de cambio que forman parte de su dinámica natural. Esto es debido a que desde siempre los ecosistemas, tanto del pasado como del presente, se han visto afectados por estrés y presiones de distintos orígenes, por ejemplo, los volcanes en erupción.

Entonces, ¿cómo es que han sobrevivido los organismos a lo largo del tiempo, y en medio de tantos cambios? La respuesta está en la evolución.

¿CÓMO SE LLEVA A CABO LA EVOLUCIÓN?

El cambio se basa en diferentes escalas de acción en una secuencia de eventos. Así la evolución de los seres vivos, la llamada *evolución orgánica*, es el resultado de procesos ecológicos que se dan al mismo tiempo que los procesos geológicos. Asimismo, podemos recalcar que la evolución de nuevas variedades y especies (cuyo principal mecanismo es la *selección natural*), es el medio por el cual los ecosistemas han sobrevivido a los cambios climáticos, cambiando la diversidad biológica a lo largo de la historia de nuestro planeta.

$$\frac{\text{proceso ecológico} + \text{selección natural} + \text{geodinámica} + \text{regulación génica}}{\text{tiempo}} = \text{evolución orgánica}$$





Sin embargo, no sólo los organismos cambian: lo mismo ocurre con la distribución de los ambientes y sus relaciones. La “escenografía” de la Tierra se ha modificado constantemente, y lo que ahora es un desierto, pudo haber sido antes una región tropical, así como lo que antes se encontraba en el fondo del mar ahora podría conformarse como una selva.

Pero, ¿cómo es esto posible? Los cambios sufridos en la escenografía se deben en primer lugar a cambios en el clima, en el movimiento de la corteza del planeta y a la propia interacción de sus componentes. Por ejemplo, las corrientes marinas y de los vientos tienen una fuerte influencia en determinar los climas de las regiones, pero se ven a su vez condicionados por la distribución de los continentes y de las montañas en ellos. Así que cuando ocurren movimientos en la corteza terrestre, las consecuencias van desde cambios climáticos, cambios orográficos (tal vez surgen nuevas montañas o desaparecen otras) hasta el origen de nuevas especies al ocurrir una separación geográfica o reproductiva entre las poblaciones.

Podemos mencionar el caso del desierto de Coahuila. En este sitio se encuentran, además de restos de dinosaurios, fósiles de invertebrados tales como caracoles, amonitas y almejas. La presencia de estos animales indica un ambiente muy distinto al actual, con una primera etapa marina que fue posteriormente expuesta al aire, y que con el movimiento de placas, el tiempo y los cambios del clima, se fue transformando en lo que vemos actualmente: un desierto.

La “escenografía”
de la Tierra se ha modificado
constantemente,
y lo que ahora es un desierto,
pudo haber sido antes
una región tropical,
así como lo que antes
se encontraba en el fondo
del mar ahora podría
conformarse como una selva

El estudio de los ecosistemas del pasado está a cargo de la paleoecología, disciplina que se encarga del estudio de organismos que existieron en épocas geológicas pasadas y del ambiente en que vivían, sus relaciones de conducta y el efecto de unos en y con los otros

¿Cómo se llega a estas conclusiones y qué papel juega el registro fósil?

La historia de la vida la estudian la biología y la paleobiología, y la historia de la Tierra la estudia la geología. Éstas nos han permitido observar los cambios de los organismos y los ecosistemas a través del tiempo y realizar paleorreconstrucciones, que nos permiten conocer qué organismos vivían, y tal vez las asociaciones de organismos que interactuaban bajo las condiciones de vida y del ambiente en que se desarrollaban.

El estudio de los ecosistemas del pasado está a cargo de la paleoecología, disciplina que se encarga del estudio de organismos que existieron en épocas geológicas pasadas y del ambiente en que vivían, sus relaciones de conducta y el efecto de unos en y con los otros.

Existen dos enfoques para un estudio paleoecológico: la paleosinecología y la paleoautoecología.

La *paleosinecología* nos proporciona información sobre las relaciones o interacciones dentro de las comunidades y su estructura con respecto al ambiente. Realiza sus estudios a nivel local, por ejemplo respecto a las formas de vida de Ediacara (los extraños organismos de fines del Precámbrico) en varias partes del mundo.

La *paleoautoecología* entra en acción cuando nos referimos a un grupo taxonómico en particular. Estudia la interacción de este grupo con el resto de la flora y fauna en condiciones ambientales locales, además de su abundancia y distribución. Un ejemplo de estudio paleoautoecológico es el que se realizó en la formación Chinle, en Nuevo México, donde, basados en evidencias paleobotánicas, sedimentológicas y de huesos de vertebrados, se determinó el paleoambiente y las posibles causas de

la muerte de un grupo de dinosaurios carnívoros del Triásico, de la especie *Coelophysis bauri*.

Dentro de la paleoautoecología, la *paleoetología* estudia el comportamiento o forma de vida de los organismos; interpreta sus modificaciones adaptativas, dependiendo de si son organismos activos, sedentarios o parásitos y su asociación con otros ejemplares del sitio donde son encontrados, que se conoce como yacimiento fósil.



Además de la evidencia orgánica, la evidencia inorgánica nos da pistas sobre las *escenografías* pasadas: el tipo de material depositado en el sitio, su posición y su origen ayudan a determinar si se trataba de un ambiente marino, continental, o tal vez un lago o río. Más aún, los componentes inorgánicos aportan valiosa información acerca de los eventos que se dieron en la región, como erupciones volcánicas o invasiones del mar al continente. Dos evidencias inorgánicas a mayor escala son el movimiento de las masas continentales a través del tiempo o *deriva continental* y la evidencia de glaciaciones pasadas.

Como cada ambiente imprime características a la fauna o la flora que en él prospera, podemos proceder en orden inverso, deduciendo las condiciones paleoecológicas y climáticas a partir de los caracteres morfológicos y anatómicos de los fósiles encontrados en un determinado sitio, su adaptación al ambiente y sus dependencias y relaciones con otros organismos además del ambiente sedimentario donde son hallados.

Podemos ilustrar lo anterior mencionando el caso de los *estromatolitos*, estructuras de carbonato de calcio construidas por asociaciones de cianobacterias (bacterias que llevan a cabo la fotosíntesis) en cuerpos de agua marinos de poca profundidad, ricos en dióxido de carbono y que se encuentran en zonas intermareales. La presencia de estromatolitos fósiles en un sitio sugiere un ambiente parecido al descrito: un cuerpo de agua poco profundo y rico en dióxido de carbono. La deducción anterior es apoyada por el tipo de material que se encuentre a su alrededor.

Sin embargo, las paleorreconstrucciones no son siempre tan sencillas de realizar. Es preciso tomar en cuenta que existen dos factores importantes en este sentido: la limitación de la evidencia y la limitación de la interpretación.

La limitación de la evidencia es debida a que el registro fósil no es homogéneo a lo largo del tiempo, y pocos ecosistemas, comunidades y poblaciones, e inclusive individuos, tienen probabilidades de fosilizarse. A este respecto, Darwin opinaba que el registro geológico era marcadamente imperfecto: “un libro al que le quedaban pocas páginas, pocas líneas por página y pocas palabras por línea”.

La limitación de la interpretación se refiere a que algunos organismos no tienen representantes actuales con quienes compararlos. Es preciso entonces aplicar con suma cautela los principios de fisiología y anatomía comparadas, correlación orgánica y el actualismo biológico, con el fin de no caer en interpretaciones erróneas.

Extinciones y otros demonios

Ya hemos mencionado que tanto hoy como hace cientos o miles de millones de años, las poblaciones se han visto enfrentadas a cambios y estrés en el ambiente. Algunas especies logran sobrevivir y evolucionar, pero hay otras que no corren con tanta suerte. Algunas veces, los cambios y presiones han sido tan fuertes o drásticos, que han conducido a la completa desaparición de la faz de la Tierra de algunas especies, es decir, a su extinción (cuadro II).

CUADRO 2.

Causas de la extinción

Astronómica

- Efectos de otras galaxias
- Desplazamiento a través del plano galáctico
- Erupciones solares gigantes
- Proximidad de una supernova
- Estrellas de paso cercanas
- Impacto de meteoritos
- Tormentas de meteoritos o cometas

Geodinámica

- Cambio climático:
 - a) Cambios en la temperatura
 - b) Cambios en el nivel del mar
 - c) Glaciaciones
- Vulcanismo y tectónica global
- Presencia o ausencia de barreras geográficas
- Inversiones del campo magnético
- Episodios de escasez de oxígeno en los océanos

Naturales

- Tormentas de meteoritos o cometas
- Irreversibilidad de la evolución
- Especialización
- Aumento de la talla
- Pérdida de la variabilidad y endogamia

Inducidas

- Cambios drásticos en los patrones climáticos globales
- Deforestación
- Contaminación en ríos y mares
- Mal uso de tierras
- Modificación de la zona costera
- Cambios en el paisaje por urbanización

Las extinciones son episodios destructivos que se han dado en repetidas ocasiones a lo largo del tiempo geológico y que pueden manifestarse de las siguientes maneras:



- *Graduales*: se dan por causas terrestres y, como su nombre lo indica, requieren interacciones climáticas, volcánicas o cambios en el nivel del mar. Pueden ser de efecto local o regional. Un ejemplo es el calentamiento global que experimentamos actualmente, que provoca, entre otros efectos, cambios en el clima, y con ellos la desaparición de algunas especies.
- *Cíclicas*: son situaciones ambientales que tienen una cierta periodicidad y que tardan en manifestarse entre uno y seis millones de años. Tal es el caso de las glaciaciones a lo largo de la historia de la Tierra. Recordemos la glaciación del Cuaternario, que terminó con la mayoría de los mamíferos de gran talla.
- *Catastróficas*: son de corta duración: días, meses o pocos años, y están relacionadas con causas extraterrestres: el caso del meteorito que cayó en nuestro planeta a fines de la “era de los dinosaurios” y que pudo haber sido la causa de su desaparición.

Después de una extinción, la estructura del ecosistema inicia su recuperación y las especies sobrevivientes pasan por diferentes etapas:

- *Fase tardía*: aquí, los organismos que logran sobrevivir casi sin sufrir cambios. Las especies que toman ventaja de la desaparición de muchas otras, las oportunistas, soportan el estrés ambiental y se convierten en progenitoras, es decir, de ellas surgirán nuevos y distintos linajes.
- *Intervalo de supervivencia*: hay un predominio de especies oportunistas y llegada de especies provenientes de otros sitios, las inmigrantes, que se incorporan a las que se encontraban desde antes del desastre.
- *Etapas de recuperación*: se da la evolución de nuevas especies a partir de las preexistentes. Hay presencia y proliferación de nuevos linajes.

Citando a Raup (1986):

Un ejemplo clásico es la diversificación de los mamíferos que siguió a la extinción de los dinosaurios. Los mamíferos se habían encontrado presentes en cantidades moderadas gran parte del tiempo en que dominaron los dinosaurios. Pero no fue sino hasta la retirada de los dinosaurios

Las extinciones cíclicas son situaciones ambientales que tienen una cierta periodicidad y que tardan en manifestarse entre uno y seis millones de años

durante la extinción masiva al final del periodo Cretácico (hace aproximadamente 65 millones de años), que los mamíferos se diversificaron realmente. Se dice, aunque es difícil de comprobar completamente, que la diversificación de los mamíferos fue posible debido al espacio ecológico disponible que quedó en los hábitats terrestres.

¿Qué ocurre con las extinciones actuales?

El mismo Raup (1986) indica que la proporción de extinción promedio en la naturaleza es de una especie cada cinco años, pero que aun si ésta incrementara a dos especies por año, la proporción resultaría insignificante comparada con la de las extinciones causadas por la destrucción de ambientes y demás actividades humanas actuales. Incluso, el problema de la ineficiente administración de los recursos naturales, y los recursos en general, es ahora considerado un problema global. Problema que se acentúa en los países más pobres que en la mayoría de los casos son, irónicamente, los más ricos en diversidad de flora y fauna.

El desequilibrio que ha traído al planeta el uso poco racional de las tierras, transformando bosques en potreros, y selvas en sitios para la agricultura; el manejo de sustancias químicas que, al intensificar el efecto invernadero, sobrecalientan el planeta y provocan la desaparición de especies, y la contaminación de suelos y agua, entre una larga lista de etcéteras, han dejado como consecuencia irreversible un cambio acelerado en los patrones climáticos. Éstos se expresan en fuertes y frecuentes tormentas, sequías prolongadas, aumento en los niveles del mar e inundaciones, los cuales, además de otras consecuencias, disminuyen la producción mundial de alimentos. Más aún, el acelerado crecimiento de la población mundial y la emigración hacia áreas vulnerables están incrementando el costo de cada desastre.

En este contexto la paleoecología cobra una gran importancia, pues al aportar información de los eventos ocurridos en el pasado, brinda una idea de las consecuencias de ciertas acciones humanas y, aún más atrás, de los cambios climáticos globales que se dieron naturalmente y que hoy se ven gravemente acelerados por acción de muchas actividades inconscientes, producto del pensamiento antropocéntrico que predomina en las sociedades modernas.

¿Es todavía posible hacer algo?

Muchos países consideran que sí, e incluso la conciencia a este respecto va aumentando a nivel mundial.

El problema de la ineficiente administración de los recursos naturales, y los recursos en general, es ahora considerado un problema global



La tendencia actual es la búsqueda de lo que es conocido como *desarrollo sustentable* o *sostenible*, término popularizado por la Comisión Bruntland en el documento *Nuestro futuro común*, en 1987, el cual cita que el desarrollo sustentable es “aquel en el que se cubren las necesidades de la generación presente sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras; esto es, el uso moderado y planeado de los recursos”.

Entre otras ideas, el llevar a cabo un desarrollo sustentable implicaría tomar una actitud menos arrogante y más equitativa, colocando los intereses grupales por encima de los intereses individuales y la adopción de una planeación más enfocada a la conservación y racionalización de los recursos.

Finalmente, es necesario asumir que, y tal como lo apuntan las evidencias, al terminar la humanidad con los seres vivos y demás recursos, se destruirá a sí misma, pues, aún a pesar de la avanzada tecnología, se encuentra a merced del planeta en que vive y de lo que éste pueda proveerle.

Entonces, y cuando el mundo parezca desolado, las especies sobrevivientes, como después de cualquier extinción, comenzarán a diversificarse y a repoblar el mundo, iniciando un nuevo capítulo en la historia de la Tierra. Porque el planeta y la vida en él, en cualquier manifestación que ésta tenga... *cambiando seguirán*.

Bibliografía

- Agustí, J. (1996), *La Lógica de las Extinciones*, Barcelona, Tusquets (Metanemas), pág. 227.
- Bartholomew, G. A. y J. W. Hudson (1961), “Ardillas terrestres del desierto”, en *Ecología, Evolución, y Biología de Poblaciones* (selección de artículos de *Scientific American*), Barcelona, Omega (1978). pág. 147-154.
- Behrensmeyer, A. K., J. D. Damuth, W. A. Di Michele, R. Potts, H. D. Sues y S. L. Wing (1997), *Terrestrial Ecosystems through Time. Evolutionary Paleocology of Terrestrial Plants and Animals*, Chicago, ETE, pág. 568.
- Crusafont, M., B. Meléndez y E. de Aguirre (1974), *La Evolución*, Madrid, Biblioteca de Autores Cristianos, pág. 1159.
- Dodd, J. R. y R. J. Stanton, Jr. (1990), *Paleoecology. Concepts and Applications*, Nueva York, Wiley, pág. 502.
- Grant, V. (1963), *The Origin of Adaptations*, Nueva York, Columbia University Press, pág. 606.
- Huntley, B.; W. Cramer, A. V. Morgan; H. C. Prentice y J. R. M. Allen (1997), *Past and Future Rapid Environmental Changes: the Spatial and Evolutionary Responses of Terrestrial Biota*, Nueva York, Springer, pág. 523.
- Newton, C. y L. Laporte (1989), *Ancient Environments*, Nueva Jersey, Prentice Hall, pág. 178.
- Raup, D. M. (1986) “Biological extinction in Earth history”, *Science* 231: 1528-1533.

Ma. del Pilar Melgarejo Damián participó en el programa “Jóvenes hacia la Investigación” colaborando en el Instituto de Biología de la UNAM, en el Laboratorio de Ictiología. Actualmente está terminando la licenciatura en Biología en la Facultad de Ciencias y cursa el Taller de Paleontología ofrecido en el Instituto de Geología, ambas dependencias de la UNAM. Es profesora de la Escuela Mexicana Canadiense de Inglés.
pilichys@yahoo.com

Raul Gío-Argáez es doctor en ciencias, especialista en micropaleontología marina. Es investigador en el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología y profesor titular de la materia de Paleobiología en la Facultad de Ciencias, ambas de la UNAM. En 1992 recibió la medalla Alfonso L. Herrera del Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables en el campo de la ecología y la conservación.
raulg@mar.icmyl.unam.mx