

La huella del cambio climático en la vida

The imprint of climate change on life

Rafael Ojeda-Flores y Guillermo Murray-Tortarolo

Resumen

¿Qué pasaría si un meteorito fuera a estrellarse contra la Tierra en estos momentos? Este ha sido un tema recurrente en distintas películas a través de los años (*Armagedón*, *Impacto profundo* y la reciente producción de Netflix, *No mires hacia arriba*), y de nuestra imaginación desde que supimos cómo llegaron a su fin los dinosaurios. Pero, ¿y si no se tratara de un meteorito literal, sino uno metafórico, uno que también pone en riesgo nuestra existencia, pero de manera más gradual? ¿Qué tal la crisis climática, las enfermedades pandémicas o la pérdida masiva de biodiversidad?

Haciendo un símil, la emergencia climática puede ser considerada como el asteroide de la actualidad. Uno que está cambiando el mundo, y, como tal, la profundidad de su impacto ya es medible en de todos los niveles de organización de la vida: desde la genética, la fisiología y la historia de vida de los organismos, pasando por las distribuciones y dinámicas a nivel poblacional y la estructura de las comunidades animales y vegetales, hasta el funcionamiento de prácticamente todos los ecosistemas de la Tierra. En una revisión de literatura científica encabezada por el Dr. Brett Scheffers de la Universidad de Florida y publicada recientemente en la revista *Science*, se expone la relación entre el cambio climático y la alteración de más de 30 procesos ecológicos propios de ecosistemas terrestres y acuáticos a distintas escalas organizacionales, es decir, desde cambios en los individuos a nivel genético hasta la modificación de biomas completos. De estos hallazgos es de lo que te venimos a platicar hoy: cómo el cambio climático está alterando la vida desde los genes hasta los biomas.

Palabras clave: cambio climático, adaptación, cambio de distribución, cambio ecosistémico.

CÓMO CITAR ESTE TEXTO

Ojeda-Flores, Rafael, y Murray-Tortarolo, Guillermo. (2023, marzo-abril). La huella del cambio climático en la vida. *Revista Digital Universitaria* (RDU), 24(2). <http://doi.org/10.22201/cuaieed.16076079e.2023.24.2.7>

Abstract

What would happen if a meteor were to hit the Earth right now? This has been a recurring theme in different films over the years (*Armageddon*, *Deep Impact* and the recent Netflix production, *Don't Look Up*), and in our imaginations since we learned about the dinosaurs' extinction. But what if we were talking not about a literal meteorite, but a metaphorical one, one that also puts our existence at risk, in a more gradual way? How about the climate crisis, pandemic diseases or the massive loss of biodiversity?

The climatic emergency can be considered as the asteroid of today. One that is changing the world, and as such, the depth of its impact is already measurable through all levels of organization of life: from genetics, physiology, and the life history of organisms, through distributions and dynamics at the population level and the structure of animal and plant communities, to the functioning of practically all ecosystems on Earth. In a review of scientific literature led by Dr. Brett Scheffers of the University of Florida and recently published in *Science*, the relationship between climate change and the alteration of more than 30 ecological processes typical of terrestrial and aquatic ecosystems is exposed. It is precisely of these findings that we will talk about today: how climate change is altering life from genes to biomes.

Keywords: climate change, adaptation, distribution change, ecosystem change.



Rafael Ojeda-Flores

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

Médico Veterinario Zootecnista, Maestro en Ciencias y Doctor en Ecología de Enfermedades por la UNAM. Actualmente es Profesor Titular de tiempo completo en la FMVZ-UNAM donde imparte cursos de distintas asignaturas y asesora varios tesis de licenciatura, maestría y doctorado. Pertenece al Laboratorio de Ecología de Enfermedades y Una Salud, al Sistema Nacional de Investigadores y a la Academia Veterinaria Mexicana. Su interés científico se centra en la biodiversidad, los sistemas de producción sostenibles, los servicios ecosistémicos y principalmente, la emergencia de agentes infecciosos que amenazan la salud de los animales domésticos, la conservación de la fauna silvestre y la salud pública. Tiene un particular interés por la comunicación pública de la ciencia.

 ojedar@unam.mx

 orcid.org/0000-0002-7122-2968

 www.eefmvz.net

Guillermo Murray-Tortarolo

Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

Es investigador en el Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, donde estudia los diferentes motores e impactos del cambio climático en México y el mundo. Es fanático de la enseñanza y la divulgación de la ciencia a todos los niveles.

 gmurray@iies.unam.mx

 orcid.org/0000-0002-5620-6070

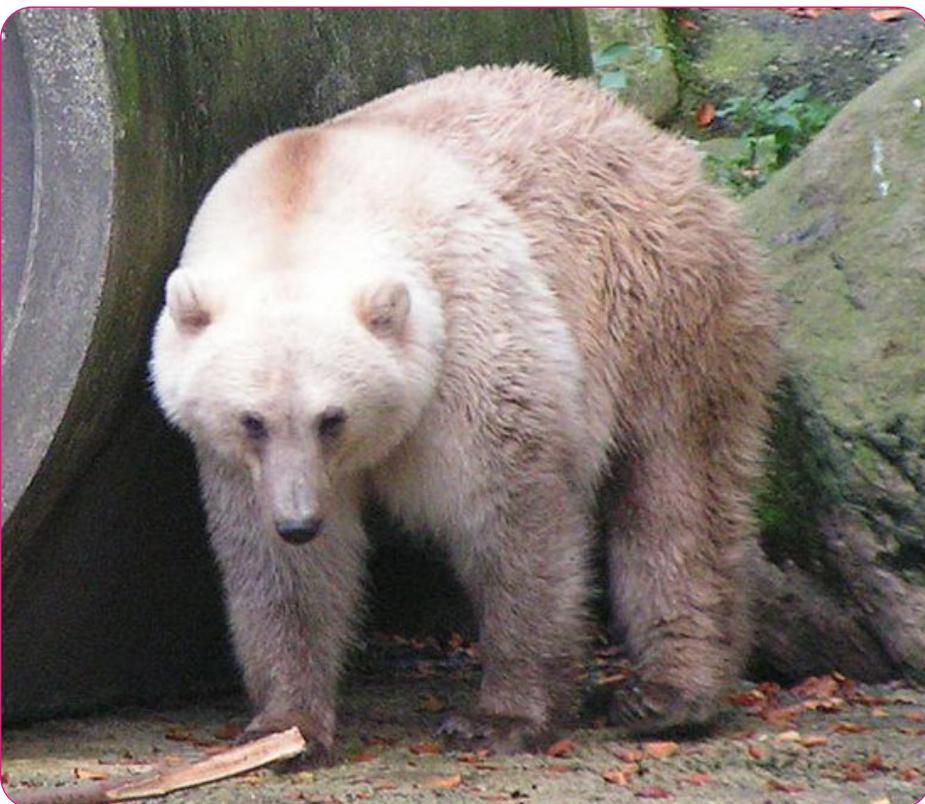
Calentando la evolución

Los organismos cambian todo el tiempo. Pero hoy sabemos que muchas especies están evolucionando, es decir, están cambiando a nivel genético como respuesta a la presión impuesta por el cambio climático, en particular debido al incremento de temperatura de los ambientes donde se desarrollan. Así, algunos insectos han aumentado su tolerancia a temperaturas elevadas, algunos peces han evolucionado mediante la modificación de su comportamiento migratorio, y muchas otras especies han cambiado sus áreas de distribución expandiéndose o contrayéndose altitudinal y latitudinalmente. En consecuencia, se han generado

zonas de hibridación, es decir, zonas en donde están reproduciéndose individuos de especies distintas, aunque relacionadas, que se habían mantenido separadas durante cientos o miles de años, y que hoy están coincidiendo y generando una descendencia mezclada (Hoffmann y Sgrò 2011).

Esa es la situación de un par de especies de ardillas voladoras norteamericanas del género *Glaucomys* y de un par de truchas del género *Oncorhynchus*, por mencionar algunos ejemplos. Pero tal vez el caso más interesante es el de los denominados osos grolares, resultado de la mezcla de osos polares (*Ursus maritimus*) y osos pardos (*Ursus arctos*) o grises o grizzli (*Ursus arctos horribilis*). Se han documentado individuos híbridos de estas especies en Canadá y Estados Unidos (ver figura 1). En este caso es muy notorio que el cambio climático está detrás del surgimiento de estos animales híbridos, pues ante la escasez de alimento y la reducción de la capa de hielo del círculo polar, los osos polares migran hacia el sur donde se encuentran con osos pardos, que a su vez expanden su área de distribución hacia el norte durante los inviernos cada vez menos fríos (Elmhagen et al., 2015).

Figura 1. Oso grolar. Animal híbrido entre oso pardo o gris y oso polar. Crédito: Corradox, 2006.



Cambiar de forma y comportamiento

Además de las adaptaciones genéticas, las especies pueden hacer frente a los cambios ambientales cuando a través de los años se favorecen diferencias en su aspecto, forma, funciones y comportamiento. Un ejemplo interesante es la coloración, que se vincula con el camuflaje, la

termorregulación y la protección frente a la radiación UV. Debido al cambio climático, en años recientes varias especies de insectos, entre las que destacan mariposas y libélulas, así como distintos grupos de aves, han tenido un cambio en su coloración.

Dado que la amenaza climática se asocia con un aumento de temperatura y de radiación UV, y que las coloraciones oscuras juegan un papel en la protección contra estos rayos, los individuos que las expresan pueden verse menos afectados por el calentamiento global. Esto es porque se ha descrito que los genes involucrados en la producción de pigmentos de melanina confieren resistencia ante una serie de factores estresantes, como las temperaturas elevadas (Roulin, 2014). Así, para varias especies de estos insectos, se ha registrado un aumento en la proporción poblacional de los individuos oscuros (Roulin, 2014).

Acercado a la forma, probablemente el cambio más significativo a nivel individual ligado al cambio climático es la modificación del tamaño de los organismos. En particular, el tamaño de algunas especies se está reduciendo ante el incremento de la temperatura planetaria (Hoffmann y Sgrò, 2011). Por ejemplo, se ha registrado una reducción de hasta 8% del tamaño corporal en varias especies de salamandras del género *Plethodon* en las últimas décadas (Caruso et al., 2014). De igual forma se ha detectado una disminución de tamaño en algunas especies de aves paseriformes¹ y se está estudiando cómo la disminución del tamaño en sus crías se relaciona con una mayor tasa de supervivencia (McCoy 2012).

Asimismo, se han registrado variaciones en la forma de algunos animales. Un grupo de investigación de la Universidad de California encontró evidencia de cómo el cambio climático ha modificado el comportamiento alimenticio de ardillas norteamericanas del género *Tamias*, que se distribuyen en el parque nacional Yosemite (Walsh et al., 2016). Con el paso de varias generaciones, esto ha propiciado cambios en la estructura de su cráneo (Walsh et al., 2016). De esta manera, el cambio climático, al modificar la vegetación y la abundancia de las distintas especies de plantas que constituyen la dieta de las ardillas, también está afectando la forma de sus cráneos, como parte de una respuesta adaptativa.

Más de unos, menos de otros

La mayoría de las funciones naturales que realizamos los organismos vivos ocurren dentro de ciertos rangos de temperatura. Este rango, también conocido como *temperatura óptima*, varía entre las diferentes especies, pues es resultado de la historia evolutiva de cada una. A pesar de estas diferencias, una aparente constante es que el incremento de temperatura ambiental a nivel global está forzando la adaptación evolutiva hacia temperaturas extremas, es decir, está impulsando distintos ajustes fisiológicos en muchas especies, como cambios en la proporción de sexos o la modificación de los niveles de tolerancia térmica (Ospina-Alvarez y Piferrer, 2008). En particular, los organismos denominados *ectotermos*, es decir, aquellos que no son

¹ Son el orden que abarca más de la mitad de las especies de aves del mundo. Conocidos comúnmente como pájaros, aves cantoras o pájaros cantores.

capaces de regular su temperatura interna de manera autónoma, están experimentando este tipo de alteraciones (Gao et al., 2016).

Por ejemplo, en varias regiones del mundo se han detectado cambios en las proporciones de machos y hembras en animales acuáticos como peces y tortugas marinas. Esto se debe a que la determinación del sexo de sus crías depende de la temperatura de incubación, por lo que el aumento de la temperatura ambiental puede modificar la proporción de hembras o machos que nacen en cada camada. Un ejemplo son las lagartijas del género *Bassiana* (ver figura 2), que ahora adelantan el tiempo de anidación o eligen tipos de suelo o zonas más frescas para colocar sus huevos. Sin embargo, mediante estudios de campo se ha detectado que estos ajustes para enfrentar el calentamiento ya resultan insuficientes para mantener la proporción natural de sexos entre sus crías (Telemeco et al., 2009).

Figura 2. *Bassiana duperreyi* o *Acritoscincus duperreyi*, comúnmente conocida como eslizón oriental de tres líneas.



A volar (y a nadar, y a correr) a otro lado

Tal como buscamos comodidad al cambiar de posición bajo una sombrilla en un buen día de playa, las especies se desplazan debido al estrés generado por el cambio climático. Se estima que, en promedio, a nivel global, se modifica el límite de su rango de distribución 20 km por década: 6 km para las especies terrestres y 72 km en las marinas, dado que en los sistemas acuáticos existe mayor conectividad y menor número de barreras por sortear (Comte y Grenouillet, 2013). En este orden de ideas, un estudio de 50 años en el sureste de Australia describió desplazamientos importantes de distintos invertebrados que son compatibles con el cambio climático registrado en el mismo período (Pitt et al., 2010). También un grupo de investigación japonés detectó cómo en 80 años se han desplazado muchas especies de peces tropicales y distintos tipos de corales que constituyen especies clave en los ecosistemas oceánicos (Yamano et al., 2011).

Así, se han descrito patrones de desplazamiento. Por una parte, está el efecto de *tropicalización*, es decir, la expansión del área de distribución de especies de climas cálidos hacia regiones que solían ser identificadas como templadas. Un ejemplo son los peces tropicales que ahora se encuentran alterando el ecosistema del mar mediterráneo y están afectando redes alimenticias en la región del canal de Suez (Comte y Grenouillet, 2013). Por otra parte, la *borealización* se refiere al desplazamiento hacia el Norte de especies adaptadas a climas templados. Ésta ocurre en

particular en distintas especies de peces, pues han cambiado su distribución en regiones árticas, aunque también se han descrito alteraciones en la distribución de aves y mamíferos carnívoros y ungulados² en Escandinavia (Elmhagen, 2015).

Además de los cambios de distribución Sur-Norte, otra expansión importante es el *desplazamiento altitudinal*, es decir, el cambio de localización de poblaciones hacia sitios de mayor altura. Ésta ha sido bien documentada en distintas especies de plantas, aves e insectos. Se han registrado desplazamientos de entre 50 y 100 m en los últimos 50 años (Chen, 2009). En algunos artrópodos, como mosquitos o garrapatas, que suelen ser vectores de ciertas enfermedades, la alteración de sus rangos de distribución modifica la dinámica de muchas enfermedades infecciosas, como los brotes de zika y chikungunya de las últimas décadas (Pecl, 2017; ver figura 3).

² Grupo de mamíferos muy diverso, mayoritariamente herbívoros, que se distribuye en prácticamente todo el mundo. Se caracterizan por caminar sobre la punta de sus cuatro extremidades sin apoyarlas completamente sobre el suelo, sino mediante pezuñas o cascos.

Figura 3. *Aedes aegypti*, mosquito portador de los virus que causan zika y chikungunya.



A nivel población: ciclos inusuales

Hay una serie de expresiones de la naturaleza que desde pequeños solemos asociar con la llegada de la primavera y que celebramos en los colegios del mundo entero: la floración de las plantas, el nacimiento de las crías de muchas especies animales y el despertar del letargo invernal de otras. Estos eventos están variando notablemente como consecuencia del cambio climático.

La floración de las plantas, la eclosión y emplumamiento de las aves, así como la migración, la hibernación y muchos otros procesos cíclicos característicos del reino animal, y de los seres vivos en general, están estrechamente relacionados con la variación estacional e interanual del clima. Debido a la modificación de los ciclos climáticos estacionales, el inicio de estos procesos se está desplazando a un ritmo de entre dos y hasta poco más de cinco días por década (Hurlbert y Liang, 2012).

Entre los hallazgos vinculados con la alteración de estos procesos podemos destacar el crecimiento y cambio de los árboles. La duración de su temporada de crecimiento y los tiempos en los que suelen perder las hojas en invierno o el retoñar a la primavera del año siguiente han cambiado en más de la mitad de las especies que componen el total de la cobertura vegetal terrestre (Pecl et al., 2017).

Asimismo, muchas aves insectívoras exhiben alteraciones reproductivas y alimenticias debido a la modificación del comportamiento de

los insectos que comen, como orugas y polillas. En cuanto a los ecosistemas marinos, una respuesta ante el incremento de temperatura del agua y la modificación del comportamiento de los hielos polares es adelantar las floraciones anuales de fitoplancton, cuya importancia es enorme dado que constituye la base de las redes alimenticias en los océanos y, por lo tanto, repercute en una gran cantidad de ciclos biológicos marinos, incluyendo muchas especies de crustáceos y peces asociados con pesquerías.

En los animales terrestres destaca la alteración de los eventos migratorios de muchas especies de anfibios, reptiles, aves y mamíferos, cuyo arribo a los sitios de migración en primavera tiende a adelantarse, y sus tiempos de retirada en otoño, a retrasarse. Puesto que la migración en la mayoría de los casos se relaciona con los ciclos reproductivos, también se han documentado cambios importantes en este ámbito en varias especies animales. A nivel planetario, se ha estimado que más de 80% de las especies terrestres y más de 40% de las marinas exhiben actualmente modificaciones en sus ciclos biológicos debido a la alteración climática antropogénica (Chambers et al., 2013).

En la totalidad del ecosistema

Los efectos que el cambio climático imprime sobre los distintos niveles de organización biológica que hemos descrito hasta ahora resultan acumulativos y exponenciales. Esto es porque la modificación de poblaciones, y de las interacciones entre especies,

y entre comunidades y ambiente repercuten considerablemente sobre los procesos ecosistémicos.

Los ecosistemas son sumamente complejos y dinámicos, dado que su composición, es decir, la riqueza y diversidad de sus elementos bióticos y abióticos, así como sus interacciones y funciones, se reflejan a través de múltiples procesos que, de igual manera, son dinámicos y complejos. La estabilidad planetaria y nuestra propia supervivencia depende del funcionamiento de los sistemas naturales a través de los [servicios ecosistémicos](#) que proveen. Estos, junto con el funcionamiento y la estabilidad de la gran mayoría de los ecosistemas terrestres y marinos, muestran signos graves de alteración debido al cambio climático.

El mayor problema surge cuando la resiliencia de los ecosistemas es insuficiente para mantener sus procesos, lo que puede favorecer lo que se conoce como *un cambio de estado*. Para ejemplificarlo, podemos referirnos a la muerte masiva de corales, que cambia por completo el ecosistema de arrecifes coralinos a tal grado que son incapaces de regresar al estado anterior, es decir, el estado funcional.

Otro ejemplo documentado son las alteraciones propiciadas por el cambio climático en Alaska, donde se han acumulado suficientes transiciones ecosistémicas para considerarse conjuntamente como alteraciones a nivel bioma³, pues las condiciones anteriormente de tundra están cambiando a condiciones propias de bioma boreal⁴ (ver figura 4). Otro ecosistema altamente

³ Los biomas son regiones definidas por condiciones climáticas y geográficas. A diferencia de las ecozonas o regiones biogeográficas, los biomas no están definidos por similitud histórica o taxonómica

⁴ La taiga o bosque boreal es un bioma caracterizado por sus formaciones boscosas de coníferas que representan casi un tercio de la superficie forestal total del planeta. Los bosques boreales se encuentran formando un cinturón verde homogéneo en la región circumpolar de la Tierra.

impactado por el cambio climático ha sido el desierto en el norte de México y el sur de Estados Unidos, que ha sufrido una sequía por más de 20 años, la peor registrada en al menos 800 años. Sus consecuencias van desde la pérdida de poblaciones de varias especies, hasta la reducción del tamaño de la vegetación.



Figura 4. Paisaje de bosque boreal en Quebec, Canadá.

De cuando el impacto es en mi jardín...

Hemos repasado una lista no menor de efectos, esencialmente negativos, que el cambio climático tiene sobre los distintos niveles de organización de la vida. ¿Pero cómo es que lo anterior se vincula con nuestra vida cotidiana?

Dado que el cambio climático está comprometiendo la funcionalidad de los sistemas naturales, los beneficios que obtenemos de estos, es decir, las aportaciones de la naturaleza o servicios ecosistémicos, se están empobreciendo a una velocidad nunca vista. Entre algunos

de los más destacables y urgentes de atender podemos mencionar a los relacionados con la alimentación.

En años recientes se ha registrado una notable disminución de la productividad agrícola relacionada con la pérdida de diversidad genética de los cultivos más importantes a nivel mundial: maíz, arroz, trigo, café, entre otros. Además de esta disminución de variabilidad genética, que conlleva una menor resistencia a plagas y otras afectaciones, la variación en los patrones de lluvia con las consecuentes inundaciones, heladas y sequías han afectado negativamente los sistemas de producción agropecuarios, lo que compromete la seguridad alimentaria a nivel mundial. Aunque, por otro lado, vastas regiones boreales que eran inviables para la agricultura hasta hace pocas décadas, ahora se han vuelto cultivables.

La crisis climática también altera los patrones de floración y junto con la crisis de los polinizadores (vinculada, obviamente con el cambio climático, pero también con la pérdida de hábitat, contaminación y uso indiscriminado de agroquímicos) se han perturbado los procesos de polinización y, por consiguiente, de reproducción de muchas plantas que son parte primordial de las redes alimenticias a nivel global. Respecto a los sistemas marinos, hemos mencionado que el cambio climático está induciendo una reducción en el tamaño de los peces y, por ende, en la productividad de las pesquerías que suministran cerca de 20% del consumo humano de proteína a nivel mundial.

Con relación a la salud humana, animal y ecosistémica, sabemos que la inestabilidad climática se vincula fuertemente con cambios en el tamaño poblacional y el rango de distribución de muchas especies de insectos, algunas de las cuales actúan como vectores de enfermedades y plagas para cultivos forestales, agrícolas y pecuarios. La alteración de las dinámicas de distribución y transmisión de enfermedades infecciosas ha marcado las últimas dos décadas y las enfermedades transmitidas por artrópodos son particularmente sensibles al cambio climático, debido a que su comportamiento se modifica rápidamente cuando aumenta la temperatura. Entonces, enfermedades relacionadas con parásitos, bacterias o virus, como los virus del Zika, chikungunya o dengue, entre muchas otras, suelen expandirse y adaptarse a nuevos entornos. Además de afectar la salud humana, la modificación de los patrones de comportamiento y distribución de artrópodos también altera la salud de los cultivos agrícolas y la producción de madera.

Además, la afectación de los ecosistemas por la crisis climática induce la reducción o extinción de grandes áreas boscosas, lo cual disminuye el suministro de muchas materias primas como madera, y servicios como el secuestro de carbono⁵. Además, propicia cambios en la calidad del agua y el volumen de las cuencas hidrológicas. Esto tiene tremendos impactos sobre la calidad de vida de las personas, puesto que somos enteramente dependientes de sistemas ecológicamente funcionales, capaces de proveer bienes y servicios ecosistémicos.

⁵ Se puede entender como el almacenamiento a largo plazo de carbono en plantas, suelos, formaciones geológicas y el océano. Es un fenómeno natural, las plantas, por ejemplo, necesitan dióxido de carbono para vivir.

De nuestros propios niveles de organización (y compromiso)

Comencemos con la premisa más importante de todas: estamos obligados a minimizar los impactos del cambio climático. De la misma manera que la huella climática se registra a múltiples escalas, la atención a esta crisis debe trascender nuestro propio entorno local. Se requiere de compromisos y acciones que se extiendan de lo individual a lo colectivo, de lo privado a lo público, de lo local a lo global, de lo nacional a lo internacional; abarcando los niveles de organización gubernamental y no gubernamental, y las esferas científicas, académicas, pero, sobre todo, las industriales, empresariales y políticas.

Dejar de negar y atender de frente a la amenaza climática debe ser una prioridad política fundamental para todas las personas y todas las naciones, pues la biodiversidad y nuestra sobrevivencia dependen de ello. Citando a Neil deGrasse Tyson: “Los dinosaurios nunca vieron venir ese asteroide. ¿Cuál es nuestra excusa?”

Referencias

- ❖ Caruso, N. M., Sears, M. W., Adams, D. C., y Lips, K. R. (2014). Widespread rapid reductions in body size of adult salamanders in response to climate change. *Global Change Biology*, 20(6), 1751-1759. <https://doi.org/10.1111/gcb.12550>
- ❖ Comte, L., y Grenouillet, G. (2013). Dostreamfishtrackclimatechange? Assessing distribution shifts in recent decades. *Ecography*, 36(11),

- 1236-1246. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.00282.x>
- ❖ Corradox. (2006, 21 de octubre). *Grolar* [Fotografía]. Wikimedia Commons. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Grolar.JPG>
 - ❖ Chambers, L. E., Altwegg, R., Barbraud, C., Barnard, P., Beaumont, L. J., Crawford, R. J. M., Durant, J. M., Hughes, L., Keatley, M. R., Low, M., Morellato, P. C., Poloczanska, E. S., Ruoppolo, V., Vanstreels, R. E. T., Woehler, E. J., y Wolfaardt, A. C. (2013). Phenological Changes in the Southern Hemisphere. *PLoS ONE*, 8(10), e75514. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0075514>
 - ❖ Chen, I. C., Shiu, H. J., Benedick, S., Holloway, J. D., Chey, V. K., Barlow, H. S., Hill, J. K., y Thomas, C. D. (2009). Elevation increases in moth assemblages over 42 years on a tropical mountain. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(5), 1479-1483. <https://doi.org/10.1073/pnas.0809320106>
 - ❖ Elmhagen, B., Kindberg, J., Hellström, P., y Angerbjörn, A. (2015). A boreal invasion in response to climate change? Range shifts and community effects in the borderland between forest and tundra. *Ambio*, 44(1), 39-50. <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0606-8>
 - ❖ Gao, J., Barzel, B., y Barabási, A. L. (2016). Universal resilience patterns in complex networks. *Nature*, 530(7590), 307-312. <https://doi.org/10.1038/nature16948>
 - ❖ Hoffmann, A. A. y Sgrò, C. M. (2011). Climate change and evolutionary adaptation. *Nature*, 470(7335), 479-485. <https://doi.org/10.1038/nature09670>
 - ❖ Hurlbert, A. H., y Liang, Z. (2012). Spatiotemporal variation in avian migration phenology: citizen science reveals effects of climate change. *PLoS one*, 7(2), e31662. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0031662>
 - ❖ Laidre, K. L., Stern, H., Kovacs, K. M., Lowry, L., Moore, S. E., Regehr, E. V., Ferguson, S. H., Wiig, Ø., Boveng, P., Angliss, R. P., Born, E. W., Litovka, D., Quakenbush, L., Lydersen, C., Vongraven, D., y Ugarte, F. (2015). Arctic marine mammal population status, sea ice habitat loss, and conservation recommendations for the 21st century. *Conservation Biology*, 29(3), 724-737. <https://doi.org/10.1111/cobi.12474>
 - ❖ McCoy, D. E. (2012). Connecticut Birds and Climate Change: Bergmann's Rule in the Fourth Dimension. *Northeastern Naturalist*, 19(2), 323-334. <https://doi.org/10.1656/045.019.0213>
 - ❖ Ospina-Alvarez, N., y Piferrer, F. (2008). Temperature-dependent sex determination in fish revisited: prevalence, a single sex ratio response pattern, and possible effects of climate change. *PLoS one*, 3(7), e2837. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0002837>
 - ❖ Pecl, G. T., Araújo, M. B., Bell, J. D., Blanchard, J., Bonebrake, T. C., Chen, I. C., Clark, T. D., Colwell, R. K., Danielsen, F., Evenngard, B., Falconi, L., Ferrier, S., Frusher, S., Garcia, R. A., Griffis, R. B., Hobday, A. J., Janion-Scheepers, C., Jarzyna, M. A., Jennings, S., ... Williams, S. E. (2017). Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being. *Science*, 355(6332), eaai9214. <https://doi.org/10.1126/science.aai9214>

- ❖ Pitt, N. R., Poloczanska, E. S., y Hobday, A. J. (2010). Climate-driven range changes in Tasmanian intertidal fauna. *Marine and Freshwater Research*, 61(9), 963. <https://doi.org/10.1071/mf09225>
- ❖ Roulin, A. (2014). Melanin-based colour polymorphism responding to climate change. *Global Change Biology*, 20(11), 3344-3350. <https://doi.org/10.1111/gcb.12594>
- ❖ Telemeco, R. S., Elphick, M. J., & Shine, R. (2009). Nesting Lizards (*Bassiana duperreyi*) Compensate Partly, but Not Completely, for Climate Change. *Ecology*, 90(1), 17-22. <http://www.jstor.org/stable/27650943>
- ❖ Walsh, R. E., Aprigio Assis, A. P., Patton, J. L., Marroig, G., Dawson, T. E., y Lacey, E. A. (2016). Morphological and dietary responses of chipmunks to a century of climate change. *Global change biology*, 22(9), 3233-3252. <https://doi.org/10.1111/gcb.13216>
- ❖ Yamano, H., Sugihara, K., y Nomura, K. (2011). Rapid poleward range expansion of tropical reef corals in response to rising sea surface temperatures. *Geophysical Research Letters*, 38(4), n/a-n/a. <https://doi.org/10.1029/2010gl046474>

Sitios de interés

- ❖ ¿Cómo se producen los híbridos de animales?