

Revisión de los efectos del cambio climático sobre la biodiversidad de los trópicos

Marco D. Barquero

Sede Regional del Caribe, Universidad de Costa Rica, Limón, Costa Rica
marcobarq@gmail.com

Recibido 15 octubre 2015 Corregido 24 febrero 2016 Aceptado 14 marzo 2016

Abstract

Environmental temperature and rainfall patterns have suffered significant changes in the last decades. These changes have modified the biological characteristics of organisms. Even though the majority of these changes have been documented for species in temperate zones; both flora and fauna in tropical areas are also vulnerable. In this article, a review of the literature regarding the topic has been made in order to show changes in phenology, distribution, abundance and survival rates of tropical species. Some recommendations are given with the objective to minimize future ecological.

Keywords

Ecological assessment, natural capital, nature services

Resumen

La temperatura ambiental y los patrones de precipitación han sufrido cambios significativos durante las últimas décadas. Estos cambios globales del clima han generado alteraciones en las características biológicas de los organismos. Aunque la mayoría de estas modificaciones se han documentado para especies que habitan en zonas templadas, la flora y fauna de los trópicos también es vulnerable al cambio climático. En este trabajo se revisa la literatura con el fin de resaltar los cambios en los patrones fenológicos, el ámbito de distribución, la abundancia y la supervivencia de especies de zonas tropicales en respuesta al cambio climático, con especial énfasis en estudios realizados en el Neotrópico. Se incluyen algunas recomendaciones sobre la dirección a seguir con el fin de evitar desequilibrios ecológicos futuros que tengan efectos directos e indirectos sobre el ser humano.

Palabras Clave

Medición ecológica, capital natural, servicios naturales.

El clima, el patrón a largo plazo de las condiciones meteorológicas que definen el estado de la atmósfera en cada región del planeta, se encuentra en constante variación. Las variables meteorológicas pueden presentar ciclos u oscilaciones, los cuales tienen un impacto geográfico diferencial. Se ha sugerido que estos ciclos, los cuales ocurren de forma natural, pueden ser afectados por la acción del ser humano. Ya sea como un proceso natural o como una consecuencia del *modus vivendi* del ser humano, el clima planetario ha sufrido un incremento significativo de la temperatura y una variación en los patrones de precipitación que se ha hecho más evidente en las últimas 5 décadas [1-2].

Las variaciones temporales y espaciales del clima constituyen una de las principales causas que determinan la supervivencia, crecimiento y reproducción de los organismos que habitan el planeta. Por lo tanto, el llamado calentamiento global tiene repercusiones importantes en diversos ámbitos biológicos de todas las especies de la Tierra. Por ejemplo, puede provocar modificaciones en las características fisiológicas, distribución geográfica, abundancia, eventos periódicos, padecimiento de enfermedades y tasas de supervivencia y mortalidad de un organismo [3-5].

El ser humano no está exento de tales efectos directos. No obstante, la afectación provocada por el cambio del clima sobre otros organismos puede igualmente generar efectos sobre el ser humano. Debido a variaciones en los patrones climáticos, especies de importancia alimenticia, médica e industrial pueden disminuir su variabilidad genética, reducir el número de individuos a lo largo de su distribución o llegar incluso a extinguirse. De esta manera, se pierden recursos y materias primas fundamentales para la supervivencia del *Homo sapiens*. Asimismo, impactos negativos sobre especies silvestres crean un desbalance ecológico que atenta con la permanencia de ecosistemas, lo cual a su vez afecta a la especie humana al ser ésta un elemento más de su entorno [6].

En este trabajo se examinarán los efectos sobre la flora y fauna de regiones tropicales que se han reportado a causa del cambio climático, haciendo

mención de estudios llevados a cabo en el Neotrópico y en especial en Costa Rica. Se hará un análisis de la literatura publicada más recientemente, enfocándose en 3 aspectos biológicos: Fenología, Distribución y abundancia, y Supervivencia. Se incluirán ejemplos tanto de ambientes terrestres como acuáticos y de diversos grupos taxonómicos para los cuales hay información publicada en la corriente principal.

Aspectos biológicos afectados por el cambio climático

Una gran variedad de rasgos biológicos que definen una especie pueden sufrir alteraciones debido a cambios en los patrones de las variables meteorológicas. Desde características morfológicas y fisiológicas hasta preferencias ecológicas, así como patrones conductuales y de historia de vida, pueden resultar susceptibles a alteraciones según las variaciones del entorno climático en el que se desenvuelve una especie. No obstante, no todas las características de un organismo son necesariamente alteradas como respuesta al cambio climático. A continuación se detallan ejemplos de alteraciones ocurridas en algunos aspectos biológicos.

Fenología

La fenología se refiere al estudio de eventos cíclicos o periódicos que ocurren durante la historia de vida de un organismo, como por ejemplo reproducción en cierta época del año, hibernación, floración, etc. La mayoría de investigaciones que han analizado el impacto del cambio climático sobre estos eventos se han realizado en especies de zonas templadas (Norteamérica y Europa) y en la gran mayoría se ha descrito un adelanto en la ocurrencia de tales eventos [5-6]. Por ejemplo, al comparar la reproducción y puesta de huevos en aves y anfibios mediante datos obtenidos a largo plazo se ha determinado que en muchas especies esto ocurre de forma adelantada en años recientes [3-4]. Debido a que en zonas templadas se dan 4 estaciones, los cambios en la temperatura influyen significativamente para activar diversos eventos fenológicos. Por lo tanto, un adelantamiento de estos eventos en

época reciente se ha relacionado con el aumento de la temperatura ambiental.

Los patrones fenológicos en zonas tropicales presentan una mayor diversidad, aunque son más desconocidos, que los de zonas templadas. Se ha sugerido que los eventos cíclicos de especies en zonas tropicales, al no tener estas áreas cambios drásticos de estación, deberían ser menos susceptibles a variaciones climáticas. No obstante, la sincronización de la época reproductiva en individuos de algunas especies de plantas en bosques tropicales, fundamental para lograr la polinización y fecundación, se puede ver afectada. Algunos estudios a largo plazo han detectado que el aumento de la temperatura y la alteración de los patrones de lluvias influyen negativamente en esta sincronización e incluso pueden impedir que ciertas especies se reproduzcan al crear condiciones negativas para la producción de flores y frutos [7-9].

Las especies animales de los trópicos también pueden verse afectadas por el cambio en el clima. Se ha demostrado que varias especies de aves migratorias han adelantado el inicio de su viaje hacia zonas templadas desde los trópicos en respuesta al cambio climático [10]. Además, se ha reportado que la modificación de los patrones de precipitación puede provocar la aparición temprana y alterar la composición de especies de insectos [11]. En Costa Rica, los conocidos abejones de mayo (*Phyllophaga spp.*), cuya estación reproductiva está determinada por las primeras lluvias, parecen haber adelantado su metamorfosis debido a trastornos en los regímenes pluviales. También se ha especulado que un aumento de la temperatura ambiental, de la estación seca y de la variabilidad inter-anual de las precipitaciones podrían alterar los ciclos reproductivos de anuros Neotropicales [12].

Distribución espacial y abundancia de los organismos

Uno de los primeros efectos ecológicos en ser detectados debido a la influencia del cambio en el clima fue la expansión del ámbito de distribución de especies hacia latitudes y elevaciones mayores [5, 13-14]. Además, se han reportado contracciones en los ámbitos de distribución de especies de flora y

fauna [6] Las modificaciones en los ámbitos de distribución se han documentado en una gran variedad de grupos taxonómicos, tales como plantas [15], aves [16], reptiles [17], mamíferos [18] e invertebrados como hormigas [15] y palomillas [19].

En los trópicos, se ha predicho que, ante el aumento de la temperatura, la principal respuesta de especies que habitan zonas bajas e intermedias será incrementar su ámbito de distribución hacia zonas de mayor elevación. Un ejemplo reciente se observó en el volcán Chimborazo de Ecuador. En este sitio se documentó la expansión del límite superior de distribución de 44 especies de plantas y la contracción del límite inferior de distribución de 7 especies de plantas [20]. No obstante, también se han reportado casos de cambios en la distribución latitudinal de especies tropicales. Por ejemplo, se han observado colonizaciones en zonas templadas de colibríes, mariposas y libélulas que habitan áreas tropicales [6]. En Costa Rica también se ha informado sobre posibles cambios en los ámbitos de distribución de especies de plantas. Al menos 26 especies de árboles podrían sufrir contracciones en su distribución en el Pacífico Norte y Sur del país [21]. Además, Enquist [22] creó modelos por computadora mediante los cuales varió la precipitación y temperatura promedio según los patrones esperados de cambio climático en Costa Rica, con el fin de predecir las distribuciones de zonas de vida según Holdridge. Él encontró que al menos 4 zonas de vida, asociadas con elevaciones intermedias y altas, podrían verse afectadas en su distribución en el país. Otros grupos de organismos, tales como aves [23], invertebrados [15] y anfibios [24], también han experimentado modificaciones en su ámbito de distribución en el país.

Los cambios en los organismos debido a la alteración de patrones climáticos pueden involucrar no solo modificaciones en su distribución geográfica, sino también en el número de individuos presentes en cada región. Estos cambios en la abundancia ecológica de una especie pueden darse como un efecto directo o indirecto del cambio climático. Por ejemplo, se ha predicho que un efecto indirecto puede ocurrir al modificarse el valor nutricional de las plantas consumidas por diversos organismos, lo cual disminuiría la abundancia de

especies folívoras (aquellas que se alimentan de hojas). El valor nutricional de las hojas se reduciría debido a un aumento de los niveles de CO₂, con lo cual muchas especies de insectos resultarían afectadas negativamente [25]. Los efectos directos se han notado en la reducción del tamaño poblacional de varios grupos taxonómicos, tales como aves [25], corales [26] y anfibios [27], en respuesta a la variación inter-anual de los patrones de precipitación y aumento de la temperatura ambiental, así como sinergismos con otros factores como la fragmentación, degradación y contaminación de los hábitats. En Costa Rica se han reportado disminuciones en la densidad poblacional de especies de anfibios y reptiles en sitios icónicos como la estación biológica La Selva debido a alteraciones del clima [28].

Supervivencia y extinción

El cambio en los patrones climáticos ha puesto en riesgo la supervivencia de muchas especies. Esto se debe a que los organismos son incapaces de evolucionar y adaptarse a los acelerados cambios del clima que se han producido en las últimas décadas. Un caso notable es el de los osos polares (*Ursus maritimus*), el cual se cree en peligro debido al derretimiento de la capa de hielo ártico [29]. En los trópicos ya se han documentado los efectos sobre organismos de ecosistemas tanto terrestres como acuáticos. Por ejemplo, aproximadamente un tercio de las especies de corales del Mundo, las cuales se ubican en aguas tropicales y subtropicales, se encuentran en riesgo de extinguirse debido al aumento en la temperatura del agua. Un aumento de 1 °C en la temperatura produce una disrupción de la simbiosis que los corales tienen con algas, las cuales proveen moléculas orgánicas vitales para su desarrollo y crecimiento. Esto genera un fenómeno conocido como blanqueamiento del coral, lo cual puede conducir a la muerte del organismo [26, 30].

Los organismos terrestres también parecen estar sufriendo los impactos causados por el calentamiento global. Organismos ectodermos, aquellos que

dependen de la radiación solar para activar su metabolismo y que incluyen a invertebrados, peces, anfibios y reptiles, son los que más se han visto afectados en términos de reducción en el número de sus poblaciones. Por ejemplo, Sinervo et al. [31] determinaron que 12 % de las poblaciones de 48 especies de lagartijas mexicanas se han extinguido en los últimos 35 años. Ellos extrapolaron sus datos para predecir el riesgo de extinción a nivel global de este grupo de reptiles y encontraron que cerca del 20 % del total de especies de lagartijas (6,145) podría extinguirse para el año 2080. Otro caso ampliamente documentado es el de la disminución y extinción de poblaciones y especies de anfibios a nivel global, las cuales se cree que se encuentran más amenazadas que aves y mamíferos [32]. Aunque varios factores podrían influir en la desaparición de los anfibios, el calentamiento global parece jugar un papel preponderante. Por ejemplo, Pounds et al. [33] analizaron la presunta extinción del 67 % de las especies de ranas del género *Atelopus*. Ellos concluyeron que el cambio climático ha incrementado la incidencia de enfermedades y pandemias en estos anfibios, aumentando significativamente las tasas de mortalidad.

En Costa Rica se han registrado extinciones de dos especies de anfibios que se volvieron mundialmente famosas. Pounds Crump [34] reportaron la desaparición del sapo dorado (*Incilius periglenes*), el cual habitaba exclusivamente en el bosque nuboso de Monteverde y cuya desaparición se produjo desde 1988. Los autores también reportaron la desaparición de la rana harlequín (*Atelopus varius*) en Monteverde, la cual ocurrió al mismo tiempo que la del sapo dorado. Ambos casos se relacionaron con condiciones ambientales drásticas de sequía y temperaturas elevadas.

Recomendaciones y estrategias

Los impactos que produce el cambio climático sobre las especies que habitan el planeta ha sido ampliamente documentado. No obstante, la mayor parte de estudios científicos que han cuantificado la respuesta de las especies a este cambio se han llevado a cabo en zonas templadas. Existe una carencia,

por lo tanto, de información disponible para los trópicos, los cuales podrían ser igualmente vulnerables. Las zonas tropicales albergan los ecosistemas más diversos del planeta, incluyendo los bosques lluviosos y los arrecifes coralinos, por lo que determinar el impacto que el calentamiento global pueda tener sobre las características biológicas de las especies que habitan estos sitios resulta de vital importancia. La investigación pura debe ser, de esta manera, un eje primordial en los estatutos de instituciones educativas y centros especializados de países tropicales, con suficientes insumos y facilidades de espacio, materiales y equipo de trabajo.

Además, el paso del conocimiento desde un ámbito académico hacia el resto de la población debe ser una prioridad. Información con base científica y actualizada debe ser transmitida al público no sólo a través de medios de comunicación masiva, sino también mediante talleres, foros y otros espacios de divulgación y discusión. Se busca con esto concienciar a la población de países tropicales acerca de los efectos que el cambio climático produce sobre los organismos que coexisten en el planeta con nuestra especie y no sólo los efectos directos del calentamiento global sobre las poblaciones de **Homo sapiens**.

Finalmente, la implementación a nivel gubernamental de medidas de mitigación de los impactos negativos del cambio climático resulta imprescindible. Los gobiernos deben generar estrategias, con objetivos y metas claros y factibles, mediante las cuales se logre reducir las emisiones de gases invernadero y se dé una adecuada protección a ecosistemas y especies de flora y fauna que puedan ser vulnerables. Costa Rica hace bien en este sentido al fomentar la carbono neutralidad y promulgar leyes de protección a la biodiversidad, pero se debe lograr una mayor aplicación en la práctica de lo que se propone en la teoría.

Conclusiones

El ser humano es solamente una especie más que habita en el planeta. No

obstante, parece ser el responsable de una modificación a nivel global de los patrones climáticos. Estos cambios han afectado sustancialmente el ciclo de vida y características ecológicas de un gran número de especies, aunque se desconocen los efectos sobre la mayoría de organismos. Debido a ello, está en la obligación de tomar acciones para mitigar los efectos futuros del cambio climático y salvaguardar la supervivencia de la flora y la fauna. Estas acciones no se limitan a las decisiones tomadas por organismos internacionales o gobiernos locales, sino que deben incluir cambios en los hábitos de todas las poblaciones humanas. Para lograr su ejecución, se requiere educar al público, proporcionando conocimientos con bases científicas sólidas. De no realizarse cambios sustanciales en los hábitos del ser humano, se puede generar una catástrofe ecológica que puede desembocar en lo que ya se ha llamado la sexta extinción masiva de organismos [35].

Literatura citada

1. Ponce Cruz YY, Cantú Martínez PC. Cambio climático: bases científicas y escepticismo. CULCyT 2012;46(9):5–12.
2. Stocker TF, Qin D, Plattner GK, Tignor M, Allen SK, Boschung J, et al, editors. Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press; 2013.
3. Hughes L. Biological consequences of global warming: is the signal already. Trends Ecol Evol. Feb 2000;15(2):56–61.
4. Hughes L. Climate change and Australia: trends, projections and impacts. Austral Ecol. Ago 2003;28(4):423–443.
5. Walther GR, Post E, Convey P, Menzel A, Parmesan C, Beebee TJC, et al. Ecological responses to recent climate change. Nature. Mar 2002;416(6879):389–395.

6. Parmesan C. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annu Rev Ecol Evol Syst.* Dic 2006;37:637–669.
7. Reich PB. Phenology of tropical forests: patterns, causes, and consequences. *Can J Bot.* 1995;73(2):164–174.
8. Corlett RT, Lafrankie JV Jr. Potential impacts of climate change on tropical asian forests through an influence on phenology. *Clim Change.* Jul 1998;39(2):439–453.
9. Chapman CA, Chapman LJ, Struhsaker TT, Zanne AE, Clark CJ, Poulsen JR. A long-term evaluation of fruiting phenology: importance of climate change. *J Trop Ecol.* Ene 2005;21(1):31–45.
10. Cotton PA. Avian migration phenology and global climate change. *Proc Natl Acad Sci USA.* Oct 2003;100(21):12219–12222.
11. Valtonen A, Molleman F, Chapman CA, Carey JR, Ayres MP, Roininen H. Tropical phenology: bi-annual rhythms and interannual variation in an Afrotropical butterfly assemblage. *Ecosphere.* Mar 2013;4(3):1–28.
12. Donnelly MA, Crump ML. Potential effects of climate change on two Neotropical amphibian assemblages. *Clim Change.* Jul 1998;39(2):541–561.
13. Parmesan C. Climate and species' range. *Nature.* Ago 1996;382:765–766.
14. Chen IC, Hill JK, Ohlemüller R, Roy DB, Thomas CD. Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming. *Science.* Ago 2011;333(6045):1024–1026.
15. Colwell RK, Brehm G, Cardelús CL, Gilman AC, Longino JT. Global warming, elevational range shifts, and lowland biotic attrition in the wet tropics. *Science.* Oct 2008;322(5899):258–261.

16. Peh KSH. Potential effects of climate change on elevational distributions of tropical birds in Southeast Asia. *Condor*. 2007;109(2):437–441.

17. Moreno-Rueda G, Pleguezuelos JM, Pizarro M, Montori A. Northward shifts of the distributions of Spanish reptiles in association with climate change. *Conserv Biol*. Abr 2011;26(2):278–283.

18. Levinsky I, Skov F, Svenning JC, Rahbek C. Potential impacts of climate change on the distributions and diversity patterns of European mammals. *Biodivers Conserv*. Dic 2007;16(13):3803–3816.

19. Chen IC, Shiu HJ, Benedick S, Holloway JD, Chey VK, Barlow HS, et al. Elevation increases in moth assemblages over 42 years on a tropical mountain. *Proc Natl Acad Sci USA*. Feb 2009;106(5):1479–1483. 20. Morueta-Holme N, Engemann K, Sandoval-Acuña P, Jonas JD, Segnitz RM, Svenning JC. Strong upslope shifts in Chimborazo's vegetation over two centuries since Humboldt. *Proc Natl Acad Sci USA*. Oct 2015;112(41):12741–12745.

21. Proyecto Biodiversidad Marino Costera en Costa Rica, Desarrollo de Capacidades y Adaptación al Cambio Climático. Estimación de los posibles cambios en la distribución de especies de flora arbórea en el Pacífico Norte y Sur de Costa Rica en respuesta a los efectos del cambio climático. San José: BIOMARCC-SINAC-GIZ; 2013. Serie Técnica: 05.

22. Enquist CAF. Predicted regional impacts of climate change on the geographical distribution and diversity of tropical forests in Costa Rica. *J Biogeogr*. Abr 2002;29(4):519–534.

23. Pounds JA, Fogden MPL, Campbell JH. Biological response to climate change on a tropical mountain. *Nature*. Abr 1999;398:611–615.

24. Ugalde Gómez JA, Herrera Villalobos A, Obando Acuña V, Chacón Chavarría O, Vargas Del Valle M, Matamoros Delgado A, García Víquez R. Biodiversidad y Cambio Climático en Costa Rica: Informe Final. INBio-MINAET-IMN-GEF-PNUD; 2009.

25. Williams SE, Bolitho EE, Fox S. Climate change in Australian tropical rainforests: an impending environmental catastrophe. *Proc Biol Sci. Ser* 2003;270(1527):1887–1892.

26. Hughes TP, Baird AH, Bellwood DR, Card M, Connolly SR, Folke C, et al. Climate change, human impacts, and the resilience of coral reefs. *Science. Ago* 2003;301(5635):929–933.

27. Lips KR. Decline of a tropical montane amphibian fauna. *Conserv Biol. Feb* 1998;12(1):106–117.

28. Whitfield SM, Bell KE, Philippi T, Sasa M, Bolaños F, Chaves G, et al. Amphibian and reptile declines over 35 years at La Selva, Costa Rica. *Proc Natl Acad Sci USA. May* 2007;104(20):8352–8356.

29. Derocher AE, Lunn NJ, Stirling I. Polar bears in a warming climate. *Integr Comp Biol. Abr* 2004;44(2):163–176.

30. Carpenter KE, Abrar M, Aeby G, Aronson RB, Banks S, Bruckner A, et al. One-third of reef-building corals face elevated extinction risk from climate change and local impacts. *Science. Jul* 2008;321(5888):560–563.

31. Sinervo B, Méndez-de-la-Cruz F, Miles DB, Heulin B, Bastiaans E, Villagrán-Santa Cruz M, et al. Erosion of lizard diversity by climate change and altered thermal niches. *Science. May* 2010;328(5980):894–899.

32. Stuart SN, Chanson JS, Cox NA, Young BE, Rodrigues ASL, Fischman DL, Waller RW. Status and trends of amphibian declines and extinctions

worldwide. *Science*. Dic 2004;306(5702):1783–1786.

33. Pounds JA, Bustamante MR, Coloma LA, Consuegra JA, Fogden MPL, Foster PN, et al. Widespread amphibian extinctions from epidemic disease driven by global warming. *Nature*. Ene 2006;439(7073):161–167.

34. Pounds JA, Crump ML. Amphibian declines and climate disturbance: the case of the golden toad and harlequin frog. *Conserv Biol*. Mar 1994;8(1):72–85.

35. Barnosky AD, Matzke N, Tomiya S, Wogan GOU, Swartz B, Quental TB, et al. Has the Earth's sixth mass extinction already arrived? *Nature*. Mar 2011;471(7336):51–57.



ESTA OBRA ESTÁ BAJO UNA LICENCIA DE CREATIVE
COMMONS. ATRIBUCIÓN.