

Efectos del Cambio Climático Global sobre la Biodiversidad

Pedro Joaquín Gutiérrez Yurrita

Catedrático de ecofisiología y bioenergética, Universidad Autónoma de Querétaro. México.

Correo-e: yurrita@uaq.mx

Resumen

Se hace un repaso general del origen y evolución geológica de la tierra, para encuadrar el origen de la vida y su posterior diversificación, como resultado de las interacciones de los seres vivos con otros seres vivos y son el medio fisicoquímico natural que nos rodea. Se mencionan los principales cambios que experimentará nuestro planeta como consecuencia de un efecto natural, pero acelerado por las actividades humanas, culminando en los probables efectos sobre la biodiversidad conocida. Finalmente, se hace un resumen de cómo podría verse afectada la biodiversidad en México por efecto del cambio climático actual.

1. Introducción

El cinco de junio fue el día mundial del medio ambiente, y la directora de la Unión Mundial para la Naturaleza (UICN), Julia Marton-Lefèvre mencionó en su discurso conmemorativo: '*El día mundial del medio ambiente del 2007 nos brinda la oportunidad de reflexionar sobre algunos de los aspectos que influenciarán el futuro de nuestro planeta...*'; posteriormente, en su reflexión menciona que sin duda alguna el mayor problema que enfrenta nuestra sociedad es el Cambio Climático. Finaliza su discurso señalando cuatro líneas de acción –ideas, dijo ella-, para detener el peligro de la inercia al que estamos expuestos con el modelo de desarrollo actual¹.

No nos debe resultar extraño que sólo comenzar el discurso de esta importante organización mundial en defensa de la naturaleza se haga referencia a la mayor amenaza para la supervivencia de nuestra especie como *Homo sapiens*, el cambio climático. A partir del informe del panel intergubernamental de expertos, presentado en París este mismo año², multitud de noticias se han sucedido en la prensa internacional debido al grado de alarmismo que se ha apoderado de nuestra sociedad –al menos de la sociedad que tiene un buen nivel de vida con renta anual superior a 150 mil pesos-. Por ejemplo, reza el titular de un periódico español: '*Primeros cambios en la biología antártica*'³; otro titular del mismo diario -para dar seguimiento a estas noticias y ver que no hay una línea definida de los editores en este tema⁴- poco después de la noticia anterior dice algo parecido a esto: '*El deshielo de los glaciares de Groenlandia permite el descubrimiento de nuevas especies*'; así podría seguir sumando titulares de este y otros diarios en el mundo, pero con esto me basta para señalar lo que me interesa: la misma noticia se analiza e interpreta desde dos perspectivas diametralmente opuestas. Por un lado, parece que el cambio climático es y será enteramente negativo para las especies biológicas. Y por otro lado, que el cambio en las condiciones ambientales actuales permite que se exploren lugares antes inaccesibles y por tanto, incrementar nuestro conocimiento sobre la vida misma de la tierra.

La supuesta doble visión del mismo tema, planteada anteriormente, también puede interpretarse bajo dos puntos de vista opuestos: 1) se perderán algunas especies

¹ El discurso completo puede leerse en español: http://www.iucn.org/en/news/archive/2007/06/05_inhabitable_planets_es.htm a partir del 5 de junio del 2007. La idea 1 se refiere al problema del cambio climático; la idea 2 se encamina hacia la sustentabilidad; la tercera idea hace alusión a que nos debemos dejar guiar por la ciencia, sin el conocimiento científico no podremos enfrentar los problemas ambientales; y la última idea enfatiza la necesidad de que la humanidad tenga un cambio de actitud frente a la vida, un cambio cultural que conlleve nuevos valores bioéticos.

² Informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC). 02 de Febrero de 2007. Naciones Unidas y Organización Meteorológica Internacional. París, Francia.

³ El País, lunes 26 de febrero de 2007. Pág. 35.

⁴ El País, viernes 18 de mayo, 2007. Pág. 52.

biológicas catalogadas como vulnerables o en peligro, o cualquier otra; asimismo, se pueden perder especies biológicas recién descubiertas por el hombre –y más biodiversidad que no hemos descubierto-, ya que si han sobrevivido a condiciones muy extremas de su ambiente, cambios pequeños, aunque graduales, pueden hacer que desaparezcan las que no tengan capacidad genética para responder favorablemente al cambio; y 2) hay más riqueza específica conocida por el hombre en la tierra –y por tanto, mayor biodiversidad-. En todo caso, lo que hay detrás de estas conjeturas es el poder económico mundial que subyace en la biodiversidad, entendida ésta como potencial fuente de fármacos o alimentos⁵, a tal grado que la primera reunión internacional convocada, después de conocer el último informe del IPCC fue sobre economía⁶, donde se invitaron a varios premios Nobel de esta especialidad para reflexionar y discutir sobre los efectos del cambio climático en la naturaleza y sus repercusiones en la economía local y mundial (La foto 1 muestra un ejemplo de nueva fauna para el hombre).



Foto 1. Ejemplar de un crustáceo del grupo de los isópodos (todas sus patas son iguales, como las cochinillas de la humedad) encontrado en el fondo de la antártica. Esta puede ser una nueva especie para la ciencia (Foto de Wiebke Brökeland tomada de los archivos de Nacional Geographic, 2007).

En términos mundanos, estas paradojas son el centro de atención del multitudinario y prolífico debate de las **consecuencias del Cambio climático sobre la Biodiversidad**. Pero antes de entrar de lleno en el tema, es conveniente repasar algunos conceptos de geología, biología, ecología y geoquímica. Con esto tendremos más elementos científicos – y por tanto, teóricamente objetivos y razonados -, para entender cómo puede afectar el cambio climático la biodiversidad de nuestro planeta, ya sea éste de origen natural, inducido o mixto.

2. La tierra, este ser que habitamos

2.1. El origen de nuestro planeta

Desde la perspectiva cosmogónica todavía hay controversia acerca del origen del universo y de la tierra; pero desde el punto de vista geológico, puede decirse que la edad del planeta tierra gira entre los 4,500 y los 5,000 millones de años⁷. Le llamamos planeta tierra desde que se han consolidado los gases que deambulaban alrededor de un núcleo⁸, localizado en la nebulosa que formó al sistema solar⁹. La dinámica seguida

⁵ UNEP. 2007. *Migratory Species and Climate Change: Impacts of a Changing Environment on Wild Animals*. United Nations Environmental Programme Publications. New York. 62pp.

⁶ Foro Internacional de Estrategias Globales para el Clima. Madrid 12 y 13 de abril de 2007.

⁷ Aunque la edad del universo se estima en casi 4 veces más que la edad de nuestro sistema solar, la estimación de la edad de la tierra se ha realizado datando con radioisótopos rocas provenientes de la luna y de meteoritos, porque se cree que todo el sistema solar se originó al mismo tiempo, aproximadamente hace 4,600 millones de años; la vida se originó hace 3,800 millones de años siendo el RNA la molécula que le dio identidad como sistema autopoyético autorregulable (Orgel, L.E. 2001 The origin of biological information. *Proceedings of the 11th Annual CSEOL Symposium*, April 7, 2000, Publication XXX).

⁸ Hace aproximadamente 10,000 millones de años la tierra era más grande en dimensiones y se denominaba protoplaneta (Aula 2000. *Ciencias de la naturaleza y el medio ambiente: Astronomía*, capítulo 1. Ed. Cultural S.A. España).

⁹ Para entender procesos geoquímicos posteriores haré una pausa en este punto: el protoplaneta tierra era una masa gaseosa muy grande que paulatinamente fue contrayéndose, con lo cual se incrementó la temperatura superficial hasta los 3,000°C. Esta altísima temperatura permitió que los componentes de la primitiva atmósfera, principalmente hidrógeno y helio, escapasen del campo gravitatorio; otros, por el contrario, permanecieron en esa atmósfera y

por esta masa gaseosa que culminó en el planeta que habitamos ha sido tan intensa y variable que por eso se dice que “*la tierra tiene vida propia*”, y no únicamente por nosotros, los seres vivos que posteriormente la poblamos, sino por todos los procesos físicos y geoquímicos que la hacen ser tan peculiar y cambiante¹⁰.

Una de las peculiaridades del planeta tierra es la presencia de atmósfera. Muy ligada a la atmósfera, está la presencia de agua líquida y en forma de vapor¹¹, mediante el famoso ciclo hidrológico, otra peculiaridad de este planeta. Y en estrecha relación con la cubierta superficial de agua en la tierra, se encuentra el origen de la vida, una tercera peculiaridad de nuestro planeta¹². Por tanto, gracias a la atmósfera terrestre primitiva, se ha podido llevar a cabo el todavía inexplicable proceso del origen de la vida, y sobretodo, su posterior desarrollo y diversificación¹³. La cuarta peculiaridad de la tierra, respecto al resto de los planetas es su campo magnético; el cual también ha tenido una influencia decisiva en el desarrollo de la vida terrestre.

2.2. La atmósfera terrestre

La composición de la atmósfera terrestres actual es relativamente sencilla, ya que hasta los 80 km de altura, se compone por Nitrógeno (78%), Oxígeno (21%), Argón (0.93%), Dióxido de carbono (0.035%) y trazas de otros gases, como vapor de agua, por ejemplo. Aproximadamente a los 25 km de altura atmosférica termina la capa denominada troposfera¹⁴, pasando esta capa se encuentra la estratosfera. Es importante la zona de transición entre estas dos capas, ya que es ahí donde está una película delgada de un gas poco común, el ozono (O₃). La importancia de la

posteriormente se combinaron con trazas de los gases más volátiles; por ejemplo el oxígeno se combinó con el hidrógeno que no escapó, formándose así vapor de agua. En una ulterior fase de formación de la tierra, la contracción disminuyó y el comienzo del descenso de la temperatura superficial –en la parte que después sería la atmósfera-, permitió que al permanecer mayor temperatura interna –en la parte que posteriormente sería el núcleo terrestre-, ésta se incrementase por efecto de reacciones nucleares y se expulsaran gases hacia la incipiente atmósfera. Finalmente, producto de la misma fuerza de gravedad, se condensaron los elementos más pesados en el núcleo terrestre y quedó fijada a este núcleo consolidado una capa gaseosa llamada atmósfera –aunque actualmente se escribe atmósfera, correctamente debería ser sin tilde, como estenosfera, biosfera, troposfera etc.- Es importante decir que sólo pocos planetas conocidos presentan atmósfera (*Columbia Electronic Encyclopedia*. 2007. Columbia University Press, U.S.A.).

¹⁰ Por ejemplo, la tierra es un planeta altamente inconsistente en términos geológicos y atmosféricos, a diferencia de otros muchos planetas que no presentan dinámica geofísica. Un ejemplo, aunque la temperatura de la superficie terrestre se debe principalmente a la radiación proveniente del sol –cerca de 330 calorías por metro cuadrado cada segundo-, y el reflejo de la tierra es aproximadamente del 39% de la energía recibida –el denominado efecto *albedo*-, hay un calor de origen interno que se desprende y no se sabe todavía, a ciencia cierta, de dónde proviene o cuál es su origen debido a lo irregular de la emisión del calor terrestre –el denominado *flujo térmico*, la producción media anual es de 1.5×10^{26} HFU-; así, hay zonas de muy baja emisión térmica y otras de muy alto flujo térmico (*Aula* 2000. *Op. cit.*).

¹¹ Durante más de 50 años se creyó que el origen del agua líquida en la tierra fue por la desgasificación del vapor de agua de la atmósfera (Brown H. 1952. *The Atmospheres of the Earth and Planets*. Kuiper G.(Ed.), pp.: 258–266. University of Chicago, USA; Mumma, M. J., N. Dello Russo, M. A. DiSanti, K. Magee-Sauer, R. E. Novak, S. Brittain, T. Rettig, I. S. McLean, D. C. Reuter, L. Xu. 2001. Organic Composition of C/1999 S4 (LINEAR): A Comet Formed Near Jupiter?. *Science*, 292: 1334-1339); sin embargo, evidencia de agua en algunos cometas, hacen pensar que tal vez esto no es del todo cierto y que el agua llegó por el intenso bombardeo de cometas de antaño (Bockelée-Morvan, D., N. Biver, R. Moreno, P. Colom, J. Crovisier, É. Gérard, F. Henry, D. C. Lis, H. Matthews, H. A. Weaver, M. Womack y M. C. Festou. 2001. Outgassing Behavior and Composition of Comet C/1999 S4 (LINEAR) During Its Disruption. *Science*, 292: 1339-1343; Delsemme, A.H. 2000. Cometary origin of the biosphere - 1999 Kuiper prize lecture. *Icarus*, 146: 313-325).

¹² Orgel, L. E. y S. L. Miller. 1974. *The Origins of Life on the Earth*. Salk Institute. U.S.A.

¹³ La carencia de registros fósiles y lo complejo e incierto de los resultados experimentales en laboratorio hacen muy difícil decir cómo y cuándo surge la vida, por tanto, todo son hipótesis –a veces algunas de estas hipótesis son mal llamadas teorías, ya que carecen de una o varias tesis que las soporten-. Los experimentos más famosos en el ámbito internacional son el de Oparin en 1922 y el de Miller en 1953; sin embargo en México, Alfonso L. Herrera realizó experimentos, con presupuesto propio, a la par que los de Oparin, llegando a postular su ‘*Teoría de la plasmogenia*’. Aunque las conclusiones de Herrera fueron similares a las de Oparin, por falta de difusión en el medio adecuado quedaron casi en el olvido. Publicó en un cuaderno sin proyección internacional ni nacional (Herrera, A. L. 1932. *Plasmogenia: nueva ciencia del origen de la vida*. Cuadernos de cultura. Serie Biología No. 6. 37 pp. México).

¹⁴ La troposfera, cuya altura es aproximadamente de 15km, alberga la biosfera, llamada así por ser donde se desarrolla la vida. La troposfera concentra casi el 90% de los gases atmosféricos, debido a la comprensión de éstos por su propio peso y acción de la gravedad. Dentro de los primeros 4km de altura se localizan las perturbaciones meteorológicas que nos afectan directamente en la tierra: lluvias, vientos, etc.; también es en esta zona donde se localiza la mayor parte del vapor de agua, el CO₂ y el polvo atmosférico. La temperatura desciende 1°C cada 150m que ascendemos, desde la corteza terrestre, hasta los 4km de altura.

Ozonosfera (más o menos a 50 km de altura) radica en su capacidad para absorber los rayos ultravioletas provenientes de la luz solar, especialmente los rayos UV-B. En esta capa, se incrementa un poco la temperatura. La frontera de nuestra atmósfera es difícil precisarla, pero se cree que se localiza como máximo a 22,000 km de altura, lugar donde predominan los vientos solares –región conocida como campo magnetosférico de van Allen-. En pocas palabras, puede decirse que lo más importante de nuestra atmósfera es que absorbe selectivamente los rayos solares, aspecto crucial para el desarrollo de la vida como la conocemos. Así, en resumen, es la *ionosfera* donde se absorbe la radiación de onda corta y alta energía como los rayos X y gamma; en la *ozonosfera* se absorben los rayos ultravioleta; y el vapor de agua y CO₂ de la troposfera absorben la luz infrarroja, produciendo un aumento de temperatura que permite nuestra supervivencia y las turbulencias atmosféricas¹⁵.

La fuente principal de vapor de agua atmosférico es la superficie de los océanos, donde se evapora el agua de forma constante. Las diferentes concentraciones de humedad atmosférica, combinada con las diferentes temperaturas forman las nubes o nieblas. Las masas de aire que circulan en la atmósfera pueden ser calientes o frías, dependiendo de su recorrido por la superficie terrestre; normalmente una masa de aire desciende en temperatura conforme asciende en altitud, con lo que se hace más densa y pesada, y por tanto, comienza su descenso; sin embargo, en algunas ocasiones, durante el invierno, principalmente, al ascender la masa de aire no se enfría, sino que se calienta, producto de condiciones atmosféricas conocidas como anticiclónicas. Entonces el aire frío, resultante del enfriamiento rápido de la corteza terrestre en la noche invernal, no puede subir. Se establece lo que se llama *Inversión térmica*: está más caliente la masa de aire superior que la inferior¹⁶. La inversión térmica se rompe cuando se calienta el suelo, éste calienta la masa de aire inferior y ésta logra ascender.

Es muy importante tener en cuenta que la atmósfera en la cual se ha desarrollado y diversificado la vida en la tierra, es fruto de la actividad bacteriana, ya que antes de existir la vida terrestre, la atmósfera era fuertemente reductora, no oxidativa como lo es en este momento¹⁷. El oxígeno, como subproducto de la fotosíntesis o quimiosíntesis bacteriana se fue gradualmente incrementando en la atmósfera hasta su concentración actual. Una atmósfera oxidativa convierte la materia orgánica oxidada u otros compuestos químicos como el abundante metano –hace 3600 millones de años- en CO₂ y agua:



Por tanto, mientras más combustibles fósiles quemamos, más incrementamos el CO₂ en la atmósfera. El ejemplo más práctico y que realizamos constantemente, cada vez que respiramos los seres humanos es la oxidación de los azúcares, como la glucosa:



2.3. Los vientos y las corrientes marinas

Es imprescindible conocer algo acerca de los vientos y de las corrientes marinas para entender el cambio climático, y la forma mediante la cual pueden estar acoplados sistemas aparentemente inconexos y distantes¹⁸.

¹⁵ Mason, A. 1990. Biología. Limusa editorial. México. 750 pp.

¹⁶ Cuando la inversión térmica es prolongada y se localiza en megaurbes con altos índices de contaminación de dióxido de azufre y partículas de hollín, puede producir la muerte de muchas personas, como ocurrió en el lamentablemente famoso episodio de Londres en 1952 o el del Valle de Ruhr, en Alemania durante el invierno de 1962.

¹⁷ Pelt, J-M., M. Mazoyer, T. Monod y J. Girardon. 2001. *La historia más bella de las plantas. Las raíces de nuestra vida*. Editorial Anagrama. España. 198pp.

¹⁸ Recuérdese el llamado '*efecto mariposa*' explicado en: GUTIÉRREZ-YURRITA, P. J. 2007. Ecocentrismo vs. Egocentrismo: VIII). Conclusiones del conflicto, retos y perspectivas. *Derecho Ambiental y Ecología*. Centro de Estudios en Jurisprudencia Ambiental (CEJA) 3(19): 61-72).

Los vientos son masas de aire de la atmósfera que se mueven por diferencias de la presión atmosférica, esto es, donde hay calor la presión es menor que donde hace frío, por lo tanto el aire tiende a desplazarse de una zona fría a una más caliente –por ejemplo, el viento casi siempre va del mar hacia la tierra en verano y de la tierra hacia el mar en invierno-. Eso es el viento en términos generales. Cuando el viento cruza el mar y llega a tierra, ha recogido la humedad del agua y es un viento húmedo, fresco. Si corre suavemente por la costa, se llama *Brisa*. Si corre fuertemente por la costa, se llama *Alisio*. Estos vientos son los dominantes en verano en las costas de México. En Asia son más conocidos como *Monzones*. El patrón característico del movimiento de los vientos alisios es elevarse en la parte subtropical –entre los 30 y 35° de latitud norte y sur- para descender en el trópico –es decir, en el Ecuador geográfico ó 0° de latitud-. El movimiento de circulación de la tierra los desplaza en su dirección final. Ventaja antropocéntrica, traen frescor y agua a la tierra. Problema para la humanidad, pueden llegar con tanta fuerza que llegan a formar ciclones o tormentas con agua locales muy fuertes¹⁹.

Hay patrones muy bien definidos de vientos en la tierra, se conocen desde hace miles de años, claro, desde que el hombre es hombre vive con ellos y, muere con ellos. Por ejemplo: La vida en el aluvión del sistema de ríos Éufrates-Tigris (Mesopotamia, hoy en día Irán e Irak, o lo que quede de ellos) se caracteriza por los extremos ambientales; en el verano es intenso el calor, mitigado en ocasiones por el *Shimal*, o viento húmedo del noroeste. Las lluvias otoñales e invernales son escasas y de carácter torrencial; casi todo el invierno recibe vientos frescos y húmedos del sureste, el *Sharqi*. Otro viento famoso es el *Siroco*. El *Siroco* es un viento que va del desierto del Sahara hacia Europa cruzando el Mediterráneo, causa condiciones secas a lo largo de la costa norteña de África, tormentas en el Mar Mediterráneo, y tiempo húmedo y frío en Europa. La duración del Siroco puede ser desde medio día o muchos días.

2.4. El clima

De forma sucinta podría definirse al clima como las condiciones medias atmosféricas en una región determinada. Por condiciones medias nos referimos a realizar estadísticas de precipitación y temperatura con una serie continua de datos de aproximadamente 30 años. En realidad cuando vemos el noticiero y nos dicen si lloverá o no, el climatólogo hace referencia a la meteorología, no al clima. El clima no cambiará en una región, pero sí los elementos del clima como la lluvia o la temperatura. Estos elementos se denominan meteoros y, a las condiciones meteorológicas diarias en un lugar, estado del tiempo. Otros elementos del clima para un lugar son la presión atmosférica y la cantidad de radiación solar que recibe. La radiación solar establece zonas muy bien marcadas en la tierra, dependiendo del ángulo y la cantidad en que ésta llega al planeta²⁰. También la radiación solar que

¹⁹ Las franjas geográficas de los 30° latitudes norte y sur son conocidas como la '*franjas de los desiertos*', precisamente porque a esta altitud se elevan las masas de aire dando comienzo a los vientos alisios que se desplazarán hacia el sur, con ruta desviada al oeste por efecto de la rotación de la tierra. En México esta franja se encuentra en los Estados de Baja California, Sonora y Chihuahua. A los 20° de latitud los vientos tienden a descender, y hay precipitaciones cuando la dirección de los vientos coincide con recorrer el mar para entrar a tierra, se conoce como zona subtropical a esta región. (Atlas Nacional de México. 2007. Instituto de Geografía, UNAM. México).

²⁰ De hecho, la palabra clima hace referencia a la radiación solar en un punto concreto del planeta. Desde un punto de vista netamente técnico, el clima es, en esencia, la respuesta del complejo **sistema** tierra-mar-atmósfera al estímulo de la radiación solar incidente en un lugar del planeta, ya que la inclinación de los rayos solares es distinta debido a la supuesta redondez de la tierra y a su eje inclinado; la palabra clima viene del griego = inclinación (Velázquez de Castro, F. 2005. *25 preguntas sobre el cambio climático*. Mundo vivo-Libertarias. España. 268pp). Por ejemplo, en los llamados trópicos de Cáncer y de Capricornio (a los 23°27' latitud norte y latitud sur de la tierra, respectivamente) los rayos solares caen perpendicularmente sobre el planeta a medio día en el solsticio de verano y de invierno, respectivamente. Se hace énfasis en la palabra sistema, ya que no hay uno, ni dos, ni tres factores internos que modifiquen el clima, como tampoco hay pocos factores externos que lo modulen. Esta alta complejidad lo hacen ser poco predecible, con alto grado de incertidumbre y bastante caótico, debido también a las múltiples relaciones de forzamiento, interacción y retroalimentación entre los elementos y factores del clima. (aspectos de la teoría de sistemas

llega a un determinado punto en la tierra se ve condicionada por el movimiento de traslación y la inclinación del eje la tierra misma²¹.

El clima como situación que responde a un complejo sistema atmosférico-terrestre y marino, está sujeto, a múltiples variables, por mencionar algunas: efecto de *continentalidad*, es decir, si una región está lejos del mar, los cambios en la temperatura serán más marcados entre las estaciones del año y entre el día y la noche, que si el lugar están cerca del mar; efecto de *sombra*, producido por la orientación de las cadenas montañosas, por ejemplo, en México la orientación de las Sierras Madre Oriental y Occidental de norte a sur, producen un efecto denominado de montaña, en virtud de que las altas montañas interfieren con el movimiento de los vientos, las precipitaciones y las horas de insolación, permitiendo que en una ladera de la montaña pueda existir un tipo de vegetación característico de selva alta perennifolia y al otro lado de la montaña, uno propio del matorral xerófilo; la parte alta de la montaña estará dominada por una vegetación de pino-oyamel y la parte media por encino, como ejemplo del efecto combinado de la montaña con el de altitud²²; efecto de *latitud*, es como se mencionó, el producido por la inclinación del eje terrestre. En resumen, estos elementos condicionantes del clima son los responsables de los llamados tipos de vegetación.

2.5. Biodiversidad, el gran neologismo

Biodiversidad, palabra de nuevo origen –neologismo–, compuesta por dos vocablos en construcción de la gramática inglesa: *Biological Diversity = BioDiversity*. Por tanto, en realidad la traducción al español está mal hecha, debería ser: *Diversidad Biológica = DiverBio*, o *DiversiBio*...para que suene bien, o algún ‘*portmanteau*’ similar²³. Sea como fuere, la definición oficial de este vocablo, en el sentido en el cual ha sido redactado en los convenios internacionales y en algunas normas jurídicas de muchos países es: *‘La variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos, entre otros, los ecosistemas terrestres, marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas’*²⁴. Sin embargo, difiere del concepto originario que propició su acuñamiento por los ecólogos²⁵. Este tipo de situaciones –aparente concordia, pero gran divergencia conceptual, entre una definición jurídica y el significado ecológico del cual surgió dicha palabra– hacen que

complejos, de forma divulgativa, pueden leerse en: GUTIÉRREZ-YURRITA, P. J. 2004. El Paradigma de la ecología integral en la gestión de los recursos naturales. *Sapere*, 1(1):4-13).

²¹ García, E. 1983. *Climatología*. UNAM. México. 130pp.

²² Rzedowski, J. 1992. *La vegetación de México*. Limusa. México. 330pp.

²³ La palabra *portmanteau* fue un neologismo acuñado, posiblemente por el matemático y escritor Lewis Carroll en su libro *‘A través del espejo mágico y lo que Alicia encontró allá’* (1871). Tomó el vocablo francés *Port-manteau*, que hace referencia a los maletines de la época que tenían dos compartimientos, así, él unió dos palabras, que pueden tener un significado distinto al que saldría con sólo unir dos palabras o morfemas. Por ejemplo, Biodiversidad tiene un significado mucho más amplio que diversidad biológica; sin embargo ‘Motel’, es simplemente la fusión gramatical de dos morfemas: ‘Motor y Hotel’ (en inglés), es decir, hotel al lado de la carretera –una posible traducción al español hecha por mí-. La difusión tan grande que tiene este neologismo –biodiversidad– no creo que permita cambiarlo por uno de traducción más correcta –como los que he expuesto–, ni creo que haga falta ser puritano en ese sentido.

²⁴ Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (a partir de ahora, LGEEPA). Artículo tercero, fracción IV. (DOF–23-02-05); Ley española de Patrimonio Natural y Biodiversidad, aprobada por el Consejo de Ministros el 8 de junio del 2007; definición de Biodiversidad escrita en el Convenio de la Diversidad Biológica Río’1992 (Artículo 2, Capítulo Términos Utilizados).

²⁵ El concepto original trataba de unificar –con criterio integral, no reduccionista–, dos ideas centrales de la ecología, la función y la estructura, así queda diversidad biológica, haciendo referencia no a una medida relativa del número de especies en un ecosistema, sino a la función que ejerce cada *estanza* de la historia de vida de una población biológica (variedad de formas de vida y el papel en el ecosistema de cada una de ellas), haciendo hincapié en que la estructura del ecosistema (las poblaciones) es resultado de la evolución conjunta del sistema (ecosistema), que puede manifestarse en la variabilidad genética de cada individuo de cada población componente (filogenia) (Wilcox, B.A. 1984. *In situ conservation of genetic resources: Determinants of minimum area requirements*. En J. A. McNeeley y K. R. Miller (Eds.): *National Parks, Conservation, and Development: The Role of Protected Areas in Sustaining Society*. Proceedings of the World Congress on National Parks, Bali, Indonesia, 11–22 October 1982. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C.: Pp. 639–647. USA.)

se confunda la gente, pensando que es lo mismo una cosa y otra, cuando en realidad son dos conceptos muy diferentes²⁶.

La biodiversidad en la tierra no ha sido estable durante la evolución del planeta, ya que si los cambios geológicos han modificado la faz de la tierra; desde la aparición de la vida en la tierra, ha cambiado el planeta significativamente, desde sus características químicas más elementales hasta toda su fisonomía. ¿Qué significa esto?, simplemente que el planeta que conocemos es el producto de la interacción de los seres vivos con el medio físico y químico que le rodea, amén de sus propias interacciones con otros seres vivos. La manera en la que Don Ramón Margalef definió a la ecología, lleva la palabra clave: “*la ecología es el estudio de los ECOSISTEMAS*”. Y un Ecosistema es, según el mismo autor: “*el sistema formado por individuos de muchas especies²⁷, en el seno de un ambiente de características definibles, e implicados en un proceso dinámico e incesante de interacción, ajuste, regulación, expresable como intercambios de materia y energía, bien como una secuencia de nacimientos y muertes, y uno de cuyos resultados es la evolución a nivel de las especies y la sucesión a nivel del sistema entero²⁸*”. La aparición de la vida, pudo haber sido producto de la necesidad, sin embargo, la evolución de la vida en la tierra, ha sido producto más del azar que de la necesidad²⁹.

Actualmente se tiene un mapa bastante elaborado donde se identifican por países y por regiones naturales las zonas con mayor biodiversidad del planeta, para poder unir esa información a las amenazas y riesgos que presentan y obtener prioridades para la conservación. Dado que el dinero es un factor limitante para la conservación, deben establecerse planes jerárquicos para preservar unas áreas antes que otras. Los criterios no han sido fáciles ya que a veces no se puede ponderar el valor de un centro actual de radiación adaptativa, es decir, un lugar donde actualmente se están diversificando las especies y que posiblemente en el futuro de ahí surjan nuevas especies; respecto a un lugar donde es tan grande la amenaza de desaparición de especies que merezca la pena salvarlas. Se desea entonces, desarrollar planes en criterios, si no evolutivos como el mencionado antes, sí más antropocéntricos como los tradicionales en la biología de la conservación: representatividad y representación de ecosistemas³⁰ (en la Foto 2 se presenta el mapa de los países con más diversidad biológica del mundo).

²⁶ Como este no es el lugar adecuado para discutir esta situación, remito al lector interesado a un artículo de divulgación científica donde se explica en detalle el significado de cada término: GUTIÉRREZ-YURRITA, P. J. 2006. Ecocentrismo vs. Egocentrismo: I). Origen y definición del conflicto. *Derecho Ambiental y Ecología. Centro de Estudios en Jurisprudencia Ambiental (CEJA)*, 2 (12): 52-55

²⁷ La definición se refiere al concepto de especie biológica. De forma sencilla se explican los diferentes conceptos de especie en: GUTIÉRREZ-YURRITA, P. J. 2001. De la importancia epistemológica del concepto biológico de especie. *Ciencia y Mar*, V(14): 19-23.

²⁸ Margalef, R. 1991. *Ecología*. Omega. España

²⁹ El premio nobel de química Jaques Monod escribió en su clásico libro: *El Azar y la necesidad: “sólo el azar está en el origen de toda novedad, de toda creación en la biosfera”*. Menciona que la coherencia del sistema –la vida en la tierra–, se debe a la estabilidad otorgada por el principio teleonómico de la misma. Esto es, las mutaciones al azar son las que producen los cambios de las poblaciones –especies–, y que estos cambios sólo son reversibles en muy pocos casos, sin embargo, los seres vivos tenemos una estructura genética muy estable (ADN, ácido desoxirribonucleico), que a la vez, es la fuente de la gran diversidad de formas de vida. La evolución es una propiedad de los seres vivos pero que no depende de ellos, dicho en otras palabras, la evolución se debe a cambios aleatorios en la bioquímica del ADN, y son ajenos a los deseos de los seres vivos o a agentes exteriores, en el sentido en que no se sabe cómo vendrá la mutación, si es que se produce. Esta teoría, en esencia, no ha cambiado mucho con el paso de los años, pero sigue siendo objeto de discusión. Otro premio nobel, Francois Jacob, profundiza en esta teoría.

³⁰ En pocas palabras se entiende por *Representatividad* en la conservación biológica, cuando lo que se busca es proteger un área natural emblemática, como si fuera una imagen arquetípica para el hombre, es decir, un modelo de naturaleza prístina, virgen que merece ser conservada por ello; mientras que la conservación de un área mediante criterios de *Representación*, busca capturar el espectro ecológico del ecosistema, en otras palabras, no se pretende tener un modelo de cada área protegida, con que se tenga representado, por ejemplo, el tipo de vegetación bosque de pino-encino, es suficiente, no necesitamos conservar todos los bosques de pino encino, se escoge uno, como el de Amanalco en el Estado de México, y no nos preocupamos mucho por los de Michoacán o Querétaro. En este caso, el bosque de Amanalco representa a todo el tipo de vegetación pino-encino mexicano.



Foto 2. Países considerados como Megadiversos debido a que en ellos se concentra entre el 60 y 70% de la biodiversidad mundial. México es uno de ellos (Tomado de Mittermeier y colaboradores, 1997³¹)

3. El Cambio Climático

3.1. ¿Qué es el cambio climático?

Esta es la pregunta clave del artículo, ya que de su respuesta devienen otras respuestas, como la que nos hemos hecho como eje del trabajo: ¿cómo afecta el cambio climático a la biodiversidad?. Recordando que el clima son las condiciones medias atmosféricas de un lugar determinado, las cuales están íntimamente vinculadas a la incidencia de luz solar (entrada de energía al sistema) y a las precipitaciones (balance del ciclo hidrológico, como sistema integrador de muchas otras variables de forzamiento ecosistémico); puede decirse que el cambio climático es el incremento de la temperatura media terrestre como resultado de alterar los elementos del clima que le han conferido la estabilidad que le conocemos, de tal forma que las condiciones medias de la atmósfera se han desviado, estadísticamente hablando, de las que se tenían registradas por el hombre, desde que éste ha empezado a cuantificar dichos elementos –hace aproximadamente 150 años que comenzó el registro instrumental de los elementos y factores el clima-. De acuerdo con el IPCC la temperatura se ha incrementado, en promedio mundial, $0.74 \pm 0.18^{\circ}\text{C}$ ³².

Por supuesto que la serie de datos atmosféricos que tenemos hoy en día ya nos pueden servir de parámetro para comparar las condiciones climáticas de la tierra actuales, con las de tiempos pasados³³. Con este análisis comparativo se ha establecido que hay al menos cuatro grandes procesos causantes de un cambio climático mundial³⁴:

1. los cambios continuos de inclinación del eje terrestre modifican la cantidad de luz incidente sobre la tierra;

³¹ Mittermeier R, C. Goettsch y P. Robles-Gil. 1997. Megadiversidad: los países biológicamente más ricos del mundo. Cemex, México.

³² Este valor es el más consensuado, sin embargo no hay actualmente un valor único. De todas formas lo importante son las proyecciones en el aumento de la temperatura para los próximos años, ya que ahí es donde hay una enorme divergencia de opiniones, las cuales se deben a la forma de medir la radiación solar, el efecto albedo, las variables del modelo, los indicadores de predicción utilizados, los indicadores de diagnóstico, etc.; no obstante, queriendo dar una cifra, el IPCC redice que la temperatura de 1990 a 2100 se incrementará entre 1.1 y 6.4 °C (IPCC *Op. cit.*).

³³ La paleoclimatología se encarga de reconstruir los climas del pasado, utilizando diversas técnicas y un equipo transdisciplinar para evaluar, mediante isótopos radiactivos de carbono catorce, la concentración de CO₂ en los hielos polares, la edad de los fósiles, datar los estratos litológicos, por ejemplo.

³⁴ Molina, M.J., y F.S. Rowland. 1974. Stratospheric Sink for Chlorofluoromethanes: Chlorine Atom-Catalysed Destruction of Ozone. *Nature*, 249:810-812; Velázquez de Castro (*Op. cit.*); Petrillo, M. 2007. El efecto invernadero desde la geografía y la historia. Monografías. www.monografias.com.

2. las alteraciones naturales de la superficie solar, que en este momento pasa por una fase de alta energía, incrementa la energía que irradia hacia la tierra;
3. las modificaciones antropogénicas del efecto albedo, propiciadas por el alto incremento de las propiedades del suelo para reflejar los rayos solares;
4. el cambio cualitativo y cuantitativo de las características químicas y físicas de la atmósfera, como consecuencia de la actividad biológica del planeta -pero con gran ayuda de la actividad humana-, que ha modificado la capacidad atmosférica de absorción de la luz solar.

Los puntos uno dos y tres, indican que el cambio climático global de la tierra es naturalmente normal y frecuente; eso sí, con una periodicidad variable. Los puntos tres y cuatro hablan de que el hombre está acelerando estos procesos naturales mediante sus actividades.

Del primer punto se deduce que al no ser nuestro planeta ni totalmente esférico, ni totalmente vertical respecto a un eje imaginario norte-sur, sino que al presentar desviaciones de la esfericidad y un ángulo de inclinación respecto a su eje, tiene una distribución asimétrica en la absorción de energía proveniente del sol. Los rayos solares inciden con diferente ángulo sobre la superficie terrestre, siendo únicamente perpendiculares a ella durante el solsticio de verano en el hemisferio norte y solsticio de invierno en el hemisferio sur -y eso a medio día-, a la latitud denominada trópicos (límites septentrional -trópico de Cáncer-, y austral -trópico de Capricornio- de las zonas denominadas tropicales). Estas oscilaciones han marcado las llamadas eras glaciales, cuyas duraciones van de los 20mil a los 100mil años. La inclinación y forma de la tierra hacen que el planeta reciba más o menos luz si están inclinadas hacia el sol o hacia fuera de la elíptica. Ahora la punta del eje apunta hacia fuera del sol, pero en 13mil años será al revés y por tanto, la tierra recibirá más energía solar por tato, habrá más calor³⁵. Este momento de la vida de la tierra experimenta el final de una era glacial, por eso es que es más acusado el cambio climático -más bien, se supone que es la primera vez que hay una población biológica en la tierra que lo documenta y padece, la nuestra-. Por ejemplo, hace unos 9mil años el eje de la tierra era aproximadamente un grado menos inclinado que ahora, y el sol estaba más cerca durante el verano boreal; de esta forma, el *Siroco* procedente del *Sahel* y los *Monzones* originados en África y el sur de la India eran más húmedos y más intensos al golpear la península índica³⁶.

El punto dos explica que la actividad solar externa tiene un ritmo de entre 40 y 120 años. Aunque los astrofísicos tienen alguna evidencia de que el campo magnético del sol libera la energía superficial, todavía no saben ni el proceso ni los mecanismos que subyacentes³⁷. En este momento de gran actividad, se han presentado ráfagas de gas incandescente de hasta 100mil km de longitud con una temperatura de 3900°C- aunque son estas ráfagas más frías que la temperatura media del sol de 5800°C, tienen gran energía magnética almacenada³⁸-; la energía que llega a la tierra, por

³⁵ Los cambios de polaridad de la tierra, así como las variaciones en la inclinación del eje del planeta se estudian desde muy antiguo por los astrónomos griegos y geofísicos modernos; Hiparco de Nicea, en el año 130a.C. había señalado que se había desviado la tierra dos grados de la elíptica; y mucho más recientemente, Milutin Milankovich (1930) descubre que la precesión de la tierra cambia cada determinado tiempo, debido a la mayor protuberancia del planeta en el ecuador es muy ancha la tierra en el ecuador, ya que no es una esfera perfecta; la precesión es el efecto de cambiar de eje como en un trompo cuando va a caer tiene diferentes inclinaciones). Estos efectos, a su vez, modifican la excentricidad de la tierra, es decir, la órbita de la tierra al girar alrededor del sol, en otras palabras, a veces pasamos más cerca del sol (Stern, D. 2001. Precesión. La página <http://www.phy6.org/stargaze/Mprecess.htm> estaba abierta el 09 de julio del 2007).

³⁶ Hamilton, M.G. 1987. Monsoons - An Introduction. *Weather*, June:186-193; Velázquez de Castro (*Op. cit.*).

³⁷ University of Michigan. 2001. Windows to the Universe. www.windows.ucar.edu.

³⁸ Las famosas manchas solares, producto de la actividad externa del sol, han sido observadas desde tiempos de Galileo y estudiadas por Harriot, ambos en el S. XVII. Sin embargo sólo hasta 1929 se pudo establecer la relación de estas manchas con la actividad magnética del sol (George E. Hale), también se piensa que son las fomentadoras de los vientos magnéticos que junto con el magnetismo terrestre producen las auroras boreales y australes (Carrasco, E. y

tanto, es más intensa y eso produce cambios graduales en las condiciones medias de temperatura de la terrestre.

El tercer punto señala que el efecto albedo es un fenómeno físico natural del planeta, por cuanto se debe al reflejo que hace la superficie terrestre de la luz recibida. El espectro de la luz que llega a la tierra, después de haber sido filtrada por las capas atmosféricas, choca con la corteza terrestre, la superficie de los mares, de las nieves, etc...siendo reflejada hacia la atmósfera, pero con diferente calidad, ya que una parte del espectro –la de longitud de onda corta-, penetra en la superficie y se refleja la longitud de onda más larga (infrarroja, por ejemplo). La tala de árboles, por decir algo, deja la superficie terrestre con poca capacidad de absorción de la luz solar, fomentando su reflejo a la atmósfera, por tanto, incrementando la temperatura atmosférica local. Este fenómeno es muy acusado en las ciudades debido a la enorme superficie asfaltada; razón por la cual en las ciudades sin o con poca vegetación, parque, jardines, etc... la temperatura se incrementa mucho alrededor de las tres de la tarde, y se enfría mucho en la madrugada, esto es, las variaciones diarias de temperatura son colosales; mientras que en los bosques, estas variaciones diarias son atemperadas por el follaje. Se estima que el efecto albedo global de la tierra es aproximadamente del 30 al 32% de la radiación que proviene del sol. Un ejemplo contundente de cómo se ve afectado el clima global lo tenemos en las zonas de nieves perpetuas, ya que su albedo es superior al 90%; si se derriten las nieves, si se derriten los glaciales, este efecto se reducirá en más del 80% -los océanos tienen uno de los albedos más bajos de la tierra; la energía será absorbida por la tierra y los mares-.

Lo más curioso de este efecto es que al permitir que se absorba energía, no incrementa la temperatura atmosférica, pero sí se incrementa la del mar y de la tierra, con lo cual se acarrearán otras perturbaciones terrestres de gran magnitud. Los expertos del IPCC no saben, en resumidas cuentas, si esto es bueno o no. Cuando el albedo es alto en una atmósfera con altas concentraciones de gases de efecto invernadero, la temperatura se incrementa en forma considerable, en ese caso, el efecto es favorecedor del cambio climático global hacia el incremento de la temperatura propiciando el efecto invernadero³⁹. Lo que hay que tener claro, entonces, es que las actividades humanas radicalizan el efecto albedo, dado que propiciamos su incremento con la tala de montes, la extensión en superficie de agricultura monocultivo, la construcción de ciudades con grandes superficies asfaltadas, etc., esto nos lleva a favorecer, en muchas ocasiones el efecto invernadero y con eso, el cambio climático.

El cuarto punto, relacionado con la composición de gases en la atmósfera, por supuesto que también es un efecto que de forma natural ha cambiado el clima en la tierra, y no sólo eso, el cambio en la composición atmosférica de una tierra primitiva, muy diferente de la actual, ha propiciado la diversificación de la vida en la tierra. Y el cambio atmosférico se lo debemos a las bacterias⁴⁰. En un principio la atmósfera carecía de oxígeno –en realidad había poco oxígeno molecular libre-, era lo que se llama reductora, y los rayos ultravioleta fomentaban una fotoquímica de microorganismos anaeróbicos heterótrofos⁴¹; la atmósfera rica en oxígeno, producto de la quimiólisis y fotólisis del agua por las bacterias y liberación del oxígeno,

A. Carramiñana. 1997. Diario Síntesis del 24 de junio).

³⁹ Bower, K., T. Choullarton, D. Cooper, M. Gallagher, J. Latham, S. Salter, M. Smith y T. Stephenson. 2006. *Global Warming Mitigation via Controlled Cloud Albedo Enhancement: Physical & Meteorological Aspects*. University of Canada, 12 pp.

⁴⁰ Lyons, J.R. y T. J. Ahrens. 2003. *Terrestrial Acidification at the K/T Boundary*. En: L. Davison, Y. Horie, T. Sekine (Eds.). *High-Pressure Shock Compression of Solids V* Springer: New York.

⁴¹ Oró, J., S. Miller, A. Lazcano. 1990. The origin and early evolution of life on earth. *Annu. Rev. Earth Planet Science*, 18:317-356.

básicamente⁴², transformaron la química atmosférica en una basada en el ozono como principal producto fotoquímico de los rayos UV⁴³. En aquella atmósfera de la Arqueotierra, la cantidad de rayos solares y rayos UV que se recibían en los mares primigenios dependía de la cantidad emitida por un joven sol y de la extinción de los rayos al pasar a través de la primitiva capa atmosférica, donde el vapor de agua, el ozono y el metano –gases que hoy en día tienen un gran efecto invernadero y son parte importante de la contribución del hombre al cambio climático–, eran de poca importancia, siendo únicamente el CO₂ el que presentaba grandes repercusiones en el flujo de la radiación solar⁴⁴ –efecto que ahora se ve potenciado por la nueva composición atmosférica y actividades humanas–.

3.2. Consecuencias del Cambio climático sobre la Biodiversidad

Por fin hemos llegado a la pregunta crucial del trabajo: **¿Cómo afecta el cambio climático a la biodiversidad?**. Al recordar que una definición de ecología dice que esta ciencia se dedica al estudio de la distribución y abundancia de las poblaciones en los ecosistemas⁴⁵, y como ya sabemos lo que es un ecosistema definido por Margalef (*fide supra*), entenderemos el por qué la aparente simplicidad de la definición de Krebs encierra gran complejidad⁴⁶.

Para que una población biológica pueda estar presente en un lugar determinado, se requiere que las condiciones de su entorno físico y químico le sean propicias para completar con éxito su historia de vida. En otras palabras, una especie biológica se distribuye –es decir, puede localizarse– sobre la tierra en las zonas donde puede crecer y reproducirse con éxito. Se dice que la especie está adaptada a determinadas condiciones ambientales que su adecuación biológica supera a la de otras especies, que posiblemente desaparezcan de ese sitio, o permanezcan como poblaciones relictas, representadas con pocos individuos. Aquí es donde entra la segunda idea, la abundancia de una población. Por abundancia se concibe al número de individuos que hay en una población en un hábitat, ecotopo o lugar determinado. De esta manera se tiene que la abundancia de una población depende de las interacciones que tenga esa población con otras poblaciones, así como las relaciones que haya entre los individuos de una misma población –damos por hecho que las interacciones de la población con su entorno natural han sido resueltas favorablemente, por eso la población está presente en ese hábitat–.

Las relaciones entre población y los factores fisicoquímicos del ambiente natural y entre individuos y poblaciones son las encargadas de regular la distribución y abundancia de cada población en la tierra⁴⁷. En los ecosistemas físicamente estresados, o los sujetos a perturbaciones extrínsecas irregulares, o impredecibles, la

⁴² Recordemos que como buenas bacterias ANAERÓBICAS, el oxígeno les era venenoso, por eso lo liberaban, lo sacaban de su metabolismo, es decir, lo echaban de la célula.

⁴³ Es interesante remarcar que el gran evento de la atmósfera oxidativa tuvo lugar en la tierra alrededor de hace 2,200 millones de años y fue acompañado por la desaparición masiva y rápida de FeS₂ y BaSO₄ (Holland, N. D., V. Tyamagondlu, L. Z. Linda, D. K. Jacobs y R. Bodmer. 2003. Amphioxus Homeobox Gene Expressed in Myocardial Progenitors: Insights into Evolution of the Vertebrate Heart. *Biological Bulletin*, 255: 128-137).

⁴⁴ Cnossen, I., J. Sanz, F. Favata, O. Witasse, T. Zegers y N. Arnold. 2007. Habitat of early life: Solar X-ray and UV radiation at Earth's surface 4–3.5 billion years ago. *Journal of Geophysical Research*, 112:E02008.

⁴⁵ Krebs, Ch. 1978. *Ecology. The experimental analysis of distribution and abundance*. Harper & Row. USA.

⁴⁶ Begon, M., C. Townsend y J. Harper. 2005. *Ecology. From individuals to ecosystems*. 4ed. Blackwell Synergy. U.K.

⁴⁷ Las teorías de la regulación de las poblaciones sobre la tierra son numerosas y conllevan, asimismo, diversos mecanismos para explicarlas, por lo que no se discutirán en este artículo. El tema ha sido tratado desde muy antiguo por cuanto afectaban las plagas recurrentes de langostas los campos de cultivo, o para entender los grandes crecimientos poblacionales en un momento dado de una población bajo explotación, etc... se deseaba saber qué o cuáles factores disparaban el número de individuos, y luego, qué o cuáles factores desencadenaban la debacle de esa misma población. Una empresa pionera en estudios sistemáticos acerca de estos mecanismos de regulación fue la Hudson Bay & Co. en 1820, cuando se dieron cuenta que al conocer las FLUCTUACIONES en el tamaño de las poblaciones de mamíferos del Canadá, podían hacer más eficientes sus capturas y por tanto manipular mejor el mercado de pieles.

distribución -y en cierta medida el tamaño de la población-, tiende a estar influido por factores FÍSICOS, como el clima, hidrología, geología, contaminación –también los efectos humanos se dejan sentir en estas relaciones ya que afectan la calidad original del medio físico y químico natural-. Se dice, entonces, que estos factores son **denso-independientes**, ya que con independencia de cuántos individuos haya en una población, la abundancia poblacional no interfiere en su distribución física en un tiempo determinado, esto es, su presencia o ausencia depende del medio fisicoquímico⁴⁸.

Por otro lado, en los ecosistemas de alta diversidad biológica, con ambientes fisicoquímicos benignos, el tamaño de las poblaciones (N) -y en cierta grado su distribución-, tiende a estar controlado por mecanismos BIOLÓGICOS, tales como la competencia por espacio, por alimento, por refugio o por pareja –aquí también intervienen algunas actividades humanas relacionadas con el uso de recursos bióticos: pesca, cacería...-. En este caso se menciona que dichos factores son **denso-dependientes**, ya que la presencia o ausencia de la población dependerá de lo fuerte que sea la presión biológica⁴⁹.

Teóricamente una población desempeña su función ecológica, o lo que se denomina como nicho ecológico de una población⁵⁰, en mejor o peor grado –nicho fundamental- dependiendo de las interacciones con otras poblaciones y de cómo haya cambiado la calidad de su hábitat. Me explico, la población está presente donde las condiciones fisicoquímicas del ambiente se lo permiten, pero hay límites de distribución; por ejemplo, una planta se distribuirá en lugares con temperaturas de 10 a 15°C y con humedad relativa de 80 a 100%. Fuera de estos intervalos, la planta o se encuentra con alto estrés fisiológico en lo que se llama límite de tolerancia, o desaparece –límite letal⁵¹. Por otro lado, la intensidad de las relaciones biológicas pueden hacer que la planta de la que hablamos, si se encuentra en un límite de tolerancia, no pueda resistir la competencia, por exceso de estrés -al acumularse el estrés fisicoquímico y el biológico-, y se extinga; o que pase a estar de óptimas condiciones a condiciones limitantes⁵². En el lado opuesto se puede encontrar la población de otra planta, -diferente especie biológica que la anterior- que vivía en condiciones limitantes, pero que al cambiar la calidad ambiental de su entorno fisicoquímico, puede ser más competitiva que la planta anterior y sacar ventaja numérica de la nueva situación, incrementa su adecuación biológica –pasa a ser una planta localizada dentro de su óptimo fisiológico.

La situación del párrafo anterior explica que el resultado de las relaciones biológicas entre individuos de la misma población, pero principalmente entre poblaciones, están influidas por las condiciones ambientales. Un ambiente que ha cambiado su calidad, por cuanto se ha visto modificada su composición química o parámetros fisicoquímicos, ya sea por causas naturales, o antrópicas, como las que el hombre realiza incrementando la velocidad del cambio climático, beneficiará el crecimiento de una población en detrimento de otra; favorecerá la aparición de una nueva población y la posible extinción de otra –si es que la población es de una especie biológica endémica con un intervalo de distribución muy estrecho, por ejemplo-. Ecosistemas ecológicamente estables pasarán a tener un distinto balance, cambiarán sus rutas del flujo de energía y por tanto, se comportará de forma distinta a como lo hacía antes. Esto no quiere decir que sea malo para la naturaleza, ya que las espirales de cambios

⁴⁸ Begon y col. (*Op. cit.*); Margalef (*Op. cit.*).

⁴⁹ Margalef (*Op. cit.*); Begon y col. (*Op. cit.*).

⁵⁰ Whittaker, R. H. 1975. *Communities and ecosystems*. McMillan Pub. Inc. New York. USA.

⁵¹ Prosser, Ch. 1995. *Environmental physiology*. 3rd Ed. MacGraw & Hill. New York. USA.

⁵² Pianka, E. R. 1978. *Evolutionary Ecology*. 2nd Ed. Harper & Row. New York. USA.

son totalmente normales y naturales⁵³, pero sí pueden ser un poco negativas para la humanidad, dado que nuestros sistemas de producción de alimento y de obtención de bienes y servicios de la naturaleza se verán afectados, unos más y otros menos⁵⁴.

Con el cambio climático se crearán nuevas condiciones ecosistémicas, por tanto, las relaciones biológicas entre las especies estarán sujetas a diferentes fuerzas de selección. Pero no nuevas, ya que éstas sólo cambiarán en intensidad o frecuencia de aparición; por poner un ejemplo, se mantendrán los tres principios básicos de las relaciones de competencia:

1. las interacciones negativas –competencia directa donde una especie puede desplazar a otra- predominarán en comunidades pioneras o perturbadas (es decir, en lugares donde el cambio climático sea muy aparente y rápido); dominarán estos nuevos ambientes las especies biológicas con altas tasas de crecimiento y mucha progenie, pero poco longevas (estrategia ecológica *r*).
2. las interacciones negativas se reducirán al evolucionar y desarrollarse el ecosistema que ha cambiado mucho, o cuando los ecosistemas no varíen ostensiblemente ni de forma rápida por efecto del cambio climático; crecerán las interacciones positivas como por ejemplo proto-cooperación, mutualismo y hasta posiblemente el comensalismo; se favorecerá la dominancia de especies biológicas con lento desarrollo, más competitivas, más eficaces en su reproducción, aunque ésta sea menos prolífica (estrategia biológica *k*).
3. las relaciones nuevas son más severas y negativas que las antiguas. Esto puede suceder en los primeros momentos –escala ecológica, no humana- de la conformación de los nuevos sistemas ecológicos –estados *ferales* o *sere-*, hasta que éstos vayan madurando y lleguen a un clímax local (cabe decir que el llegar a un estado ecológico clímax no significa que no haya más cambios a nivel ecosistema, simplemente que los cambios pueden ser menos aparentes, de forma natural o producidos por perturbaciones catastróficas, también naturales o inducidas por el hombre u otra especie con similar capacidad de transformación que la nuestra)⁵⁵.

La traducción de estos efectos climáticos sobre la biodiversidad mexicana puede resumirse así:

1. Se parte de la base de que México es un país extremadamente diverso en naturaleza, de hecho, se considera uno de los más biodiversos del mundo (dentro de los 12 países megadiversos del mundo, ocupa el cuarto lugar en diversidad biológica⁵⁶). Pero al mismo tiempo, es un país muy complejo en su geografía, geología, etc..., lo cual posiblemente sea lo que le haya conferido tanta biodiversidad⁵⁷. Tan grande es la megadiversidad biológica mexicana –la cultural también pero eso es aparte-, que el ilustre botánico J. Rzedowski propuso para análisis ecológicos regiones más naturales, a tal grado que dibujó una serie de mapas denominados Megaméxico 1, 2 y 3⁵⁸. El número hace referencia a la extensión territorial considerada en la distribución de las especies de plantas fanerógamas endémicas, por ejemplo, Megaméxico 3 es aproximadamente un

⁵³ Thom, R. 1979. *Teoría de catástrofes y biología*. Instituto de Altos Estudios Científicos. Francia.

⁵⁴ Velázquez de Castro (*Op. cit.*); IPCC (*Op. cit.*).

⁵⁵ Todos estos términos, sin entrar en muchos tecnicismos, pueden consultarse en: GUTIÉRREZ-YURRITA, P. J. 2006. Ecocentrismo vs. Egocentrismo: II). Conceptos elementales de ecología con aplicaciones a la Biología de la Conservación. *Derecho Ambiental y Ecología*, 3(13): 48-61

⁵⁶ CONABIO (Comisión Nacional Para El Conocimiento Y Uso De La Biodiversidad). 1998. La diversidad biológica de México: Estudio de País. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.

⁵⁷ Rzedowski, J. (*Op. cit.*).

⁵⁸ Rzedowski, J. 1991. Diversidad y orígenes de flora fanerógama de México. *Acta Botánica Mexicana*, 14:3-21.

tercio más grande que los límites políticos internacionales de México. La foto 3 muestra un esquema de cómo sería teóricamente Mégaméxico.



Foto 3. Imagen satelital de Norteamérica mostrando, aproximadamente, con dos líneas negras (una al norte y otra al sur de México) lo que sería Megaméxico 3, de acuerdo con la información de Rzedowski⁵⁹ (La imagen fue tomada de la NASA).

2. Ahora bien, México también es un país megadiverso en culturas e historia humana, por lo que el cambio climático es un efecto añadido sobre los muchos efectos que las actividades humanas han tenido y tienen sobre la biodiversidad. Por decir algunos, la explosión demográfica y la forma de trabajar la tierra son factores indirectos, que sumados a factores directos como la tala desmedida y sin control de bosques, la introducción de especies biológicas, la fragmentación de hábitats o la contaminación, tienen por sí solos repercusiones “negativas” sobre la diversidad biológica y por ende, sobre la biodiversidad⁶⁰. Los humedales, por ejemplo, es posible que desaparezcan por déficit hídrico; también que se incrementen las corrientes de aire tropicales, las sequías y los incendios forestales en intensidad y frecuencia, perjudicando, en primer lugar los sistemas más secos y extremos del país⁶¹. La biodiversidad puede cambiar, no se sabe si habrá más o menos especies biológicas; pero sí, que es probable que haya especies diferentes a las conocidas hoy en día.
3. En lo relacionado a la vegetación, se espera que los ecosistemas más afectados sean los de latitudes superiores al trópico de Cáncer, así como los de mayor altura sobre el nivel del mar; por ejemplo, los bosques de coníferas de alta montaña o climas templados-fríos, también se verán muy afectados los bosques de niebla, en el sentido de que esos bosques reducirán notablemente su cobertura vegetal⁶². Los ecosistemas tropicales (selva alta perennifolia húmeda) y los ecosistemas terrestres (selva seca caducifolia) se verán afectados en menor medida; especialmente se verán dañados los ecosistemas de la interfase mar-agua dulce (manglares), debido al aumento probable del nivel del mar⁶³. Habrá movimientos de colonización de especies arbóreas ocupando los sitios que dejen las especies de climas más fríos, por ejemplo, los encinos pueden ocupar los hábitats actuales de los pinos, aunque esto está condicionado a las diferentes especies de pinos y

⁵⁹ Rzedowski, J. (*Op. cit.*).

⁶⁰ CONABIO 2006. Capital Natural y Bienestar Social. CONABIO-SEMARNAT. México. 71 pp.

⁶¹ Velázquez de Castro (*Op. cit.*); IPCC (*Op. cit.*).

⁶² Villers-Ruiz, L. e I. Trejo. 1997. Assessment of the vulnerability of forest ecosystems to climate change in Mexico. *Climate Research*, 9:87-93.

⁶³ CONABIO (*Op. cit.*).

encinos, ya que las menos plásticas adaptativamente no podrán ni colonizar nuevos hábitats, ni resistir el cambio climático en su ambiente tradicional⁶⁴. Los cultivos de zonas tropicales verán mermada su productividad, sin embargo, ésta se incrementará en los cultivos de zonas templadas⁶⁵.

4. Los efectos principales sobre la fauna dependen, también, de la capacidad de adaptación de las especies biológicas ya que las respuestas adaptativas son más difíciles ante cambios ambientales rápidos, mientras que lo que impera es un fenómeno de selección natural llamado deriva génica⁶⁶. En términos generales, los efectos versan sobre cambios en el comportamiento reproductivo de los animales, llegándose a modificar para adecuarlos a las nuevas condiciones meteorológicas de su hábitat –mamíferos, por decir un grupo representativo–; después habrá cambios en las rutas migratorias, por ejemplo, de las aves, los cuales estarán también asociados a los cambios en los patrones de vegetación, existencia de humedales y calidad de agua de los lagos y lagunas costeras⁶⁷. Muchos invertebrados⁶⁸ y peces⁶⁹ verán desplazados sus intervalos de distribución hacia latitudes mayores, así como a mayores altitudes, los que puedan compensar su metabolismo de oxígeno por una presión parcial de este gas diferente a la encontrada a menos altitud; también se verán afectadas las poblaciones de peces y crustáceos por no tener los mismos sitios de desove –básicamente las especies anádromas y catádromas como truchas o camarones, respectivamente–, ya que el nivel del mar cambiará las condiciones de los deltas de los ríos. Los corales del Caribe pueden perder su asociación con Zooxantelas debido a la diferente longitud de onda de la luz que les llegue, así como al incremento de la temperatura del mar, aunque sea sólo 1°C, la repercusión de la ruptura de esta simbiosis se manifestará en la posible muerte del coral. Otros grupos faunísticos que sufrirán especialmente los efectos del incremento de la temperatura y cambios en la calidad del agua son los reptiles y anfibios; los primeros comenzarán a tener problemas con el sexo de los descendientes, ya que la temperatura ambiental es la que al final de cuentas determina si el nuevo reptil será macho o hembra, teniendo, probablemente poblaciones monosexo; los segundos tendrán problemas respiratorios y reproductivos debido a lo sensible de su piel⁷⁰.

4. Corolario

La tierra, como hemos visto, está viva, no sólo por la biota que ha desarrollado, sino porque está en constante cambio, *evolución*, podríamos decir, para poder parafrasear al paleontólogo Emiliano Aguirre: “*hay que ser cuidadosos con el planeta, pero no podemos impedir que evolucione*”⁷¹. Con esto se quiere decir que la tierra, con o sin actividad humana va a cambiar sus condiciones actuales, unas especies desaparecerán y otras muchas, se crearán. Intentar detener la evolución, es en palabras de Aguirre: « *imposible* »⁷². Daniel Botkin⁷³, profesor emérito de la

⁶⁴ Velázquez de Castro (*Op. cit.*).

⁶⁵ IPCC (*Op. cit.*).

⁶⁶ Mayr, E. 1963. *Animal Species and Evolution*. Belknap Press. USA.

⁶⁷ Araújo, M. 2007. Atlas europeo de los impactos del cambio climático global en la biodiversidad. *Periódico del Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSCIC*, España. Pp.: 1-4.

⁶⁸ GUTIÉRREZ-YURRITA, P. J. y A. Morales-Ortiz. 2002. Ecophysiological Races of *Cambarellus* spp. in Querétaro, Central México. The beginning of a new species?. *Freshwater crayfish*, 13: 175-185.

⁶⁹ Morales-Ortiz, A. y P. J. GUTIÉRREZ-YURRITA. 2000. Observaciones sobre la distribución de *Astyanax mexicanus* (Filippi) 1854 (Characidae) en las cuencas de los ríos Moctezuma y Tampaón, Centro de México. *Memorias del VII Congreso Nacional de Ictiología*, VII: 72-73.

⁷⁰ Velázquez de Castro (*Op. cit.*).

⁷¹ Curtis, R. 2007. Entrevista a Emiliano Aguirre. *Museo Nacional de Ciencias Naturales*, 2 (Abril/junio): 5.

⁷² Curtis, R. (*Op. cit.*).

⁷³ Con anterioridad hemos explicado a profundidad la importancia que ha tenido el cambio de mentalidad del ecólogo al dejar de vislumbrar al ecosistema como un sistema en equilibrio dinámico, para verlo como una entidad dentro de un sistema en constante dinamismo (Botkin, D. 1992. ¿Una nueva ecología para el siglo XXI?. Pp. 21-32. En Barrere, M.

Universidad de California, lleva más de tres décadas diciendo que los modelos de gestión del medio natural –en concreto los que se siguen en las áreas naturales protegidas- son erróneos de base. Incluso, este científico ha criticado el informe de expertos de Naciones Unidas de los efectos del cambio climático sobre la biodiversidad entregado en el 2007, dado que los modelos ecológicos se basan considerando a la naturaleza en un estado con equilibrio estable, no como una serie de procesos ecológicos conectados en red y altamente dinámicos y caóticos⁷⁴. No se ha considerado a la naturaleza como sistemas complejos con propiedades emergentes producto de las interacciones entre unidades del sistema, ni como sistemas termodinámicamente abiertos, altamente inestables⁷⁵. La fotografía 4 muestra lo grande que puede ser un incendio forestal en el su de México, ya que los vientos son factores importantes en su propagación, no sólo del fuego, sino de los humos. Estos incendios son cada vez más frecuentes, y es probable que no sólo se deban provocaciones intencionadas por el hombre.

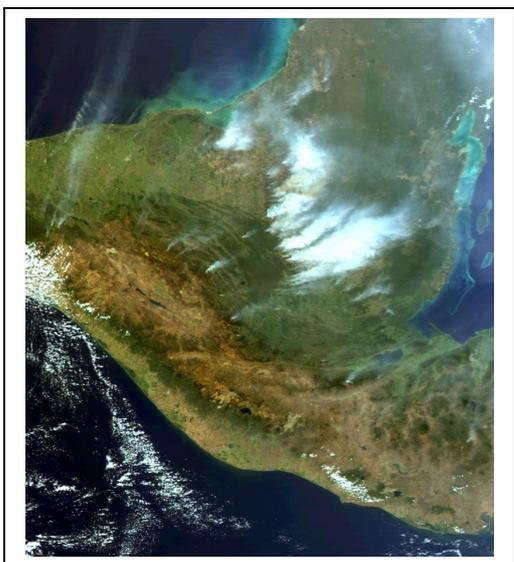


Foto 4. Columna de humos por fuegos en el sur de México con dirección hacia la Península de Yucatán (tomada del archivo fotográfico de la CONABIO: imagen de satélite del 18 de marzo del 2003).

Si lo que se pretende al realizar el informe para naciones unidas es dar una señal inequívoca de alarma para que cambiemos nuestras pautas de conducta, está bien; pero que quede claro, para el mundo científico y en especial para los tomadores de decisiones –particularmente los que hacen las políticas públicas y legisladores- que los modelos son representaciones abstractas de la realidad, y que por tanto, el comportamiento de la naturaleza podría diferir mucho de lo que se ha escrito.

(Ed.): *La tierra, patrimonio común*. Paidós, España.

⁷⁴ Botkin D. y E. Keller. 2007. *Environmental Science*. 6th Edition. John Wiley & Sons, Inc. USA.

⁷⁵ GUTIÉRREZ-YURRITA, P. J. 2004. El Paradigma de la ecología integral en la gestión de los recursos naturales. *Sapere*, 1(1):4-13)