



LA AMENAZA DEL CLIMA EN EL ANTROPOCENO

Dr. José Carlos Báez



UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA
DE CHILE

MÁS UNIVERSIDAD

LA AMENAZA DEL CLIMA EN EL ANTROPOCENO

Dr. José Carlos Báez

Primera edición: diciembre, 2020

Santiago, Chile

Centro de Comunicación de las Ciencias

<http://ciencias.uaautonoma.cl>

© Universidad Autónoma de Chile

Avenida Pedro de Valdivia 425, Providencia

Santiago, Chile

Coordinación editorial: Isidora Sesnic Humeres

Diseño gráfico e ilustraciones: María Kaulen Díaz

Fotografías: Freepik.es, Shutterstock.com y Museo Histórico Nacional

ISBN versión digital: 978-956-6109-16-7

Registro de propiedad intelectual: 2021-A-357



Este material puede ser copiado y redistribuido por cualquier medio o formato, además se puede remezclar, transformar y crear a partir del material siempre y cuando se reconozca adecuadamente la autoría y las contribuciones se difundan bajo la misma licencia del material original.



MÁS UNIVERSIDAD



Centro de Comunicación
de las Ciencias
Universidad Autónoma de Chile



LA AMENAZA DEL CLIMA EN EL ANTROPOCENO

Dr. José Carlos Báez



UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA
DE CHILE

MÁS

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	9
--------------------	---

EL CLIMA EN LA TIERRA: PASADO, PRESENTE Y ¿FUTURO?	11
---	----

Estaciones, meteorología y clima	12
El clima en el pasado: desde una bola de nieve a un mundo sin hielo	13
El clima reciente	15
Entender el clima en el Antropoceno	16

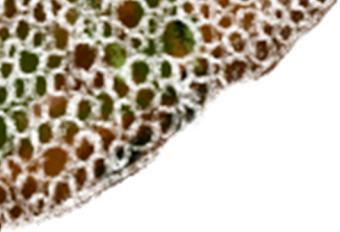
EFFECTOS DEL CALENTAMIENTO GLOBAL	19
--	----

Efectos del calentamiento global: clima, modelos y política económica	20
Seguridad alimentaria	23
Enfermedades emergentes	24
¿El clima está loco?	25

LA MORALEJA DE LA ISLA DE PASCUA	27
---	----

La Isla de Pascua, un callejón sin salida de sostenibilidad	28
Sostenibilidad y calentamiento global	29
¿Qué puedo hacer por el planeta?	30





INTRODUCCIÓN

Si bien el clima de la Tierra ha sufrido fuertes modificaciones desde su origen, en la actualidad estamos experimentando un nuevo cambio fruto de la actividad humana, lo cual puede acarrear problemas tanto para nuestra salud, como para nuestro futuro. Este cambio —perceptible en el clima— es lo que conocemos como **cambio climático** y el periodo en el que se enmarca es el Antropoceno —del griego *anthropos* (humano) y *cene* que significa reciente—, un nuevo periodo geológico, con patrones sedimentarios y erosivos reconocibles producto de la huella de la actividad humana. Este rastro se hace patente en la presencia de plásticos en el medio natural, en la deforestación, en la pérdida de biodiversidad y en el clima.

Entre los científicos/as existe un intenso debate acerca del punto de inicio de este nuevo perio-

do geológico. Hay quienes postulan que se inició tras la revolución industrial, mientras que otros/as creen que se inició tras la llamada segunda revolución verde y el auge de la producción agrícola, a partir de la década de los sesenta del siglo ~~XX~~, mediante el uso intensivo de agroquímicos, pesticidas y plásticos. Sin embargo, tras la primera revolución verde, es decir, del establecimiento de los primeros cultivos, la humanidad ha transformado profundamente su entorno, lo que ha significado dejar una marca indeleble tanto en la geología y en el clima, como en la biodiversidad del planeta.

Así, este libro repasa los principales hitos de la historia del clima del planeta y detalla los problemas a los que se enfrenta la humanidad debido a los cambios acaecidos durante el Antropoceno.





EL CLIMA EN LA TIERRA: PASADO, PRESENTE Y ¿FUTURO?

La historia del clima en el planeta ha sido compleja. La Tierra ha pasado de tener una capa global de hielo—lo que se conoce como bola de nieve—a fases más cálidas que en la actualidad, sin hielo en las áreas polares; el factor común en todas las etapas es que los procesos de retroalimentación han jugado un papel clave. Por otro lado, el clima del planeta siempre ha estado ligado a la vida, de manera que no se puede entender la evolución del primero sin su relación con el otro, desde los primeros organismos fotosintetizadores que emitían oxígeno—como un subproducto de su metabolismo y que ha cambiado la química de la atmósfera—hasta la actual huella humana.

Estaciones, meteorología y clima

La posición del Sol con respecto a la Tierra a lo largo de su movimiento de traslación va a determinar las diferentes estaciones del planeta. Así, entre el solsticio del 21 de diciembre y el equinoccio del 21 de marzo, en el hemisferio norte comienza el invierno, mientras que en el hemisferio sur se da inicio al verano. Además, debido a la curvatura de la Tierra y a la inclinación del eje terrestre sobre su plano orbital, se van a diferenciar distintas regiones climáticas como desiertos, sabanas, estepas, zonas polares, etc. Sin embargo, fenómenos meteorológicos como la persistencia de nevadas, los temporales o el aumento brusco de las temperaturas (llamadas también olas de calor) se encuentran, además, relacionados a otros factores como la orografía y la dirección y fuerza de los vientos predominantes.

En un sentido estricto, el clima se refiere al promedio de las variables físicas implicadas en el estado del tiempo (o fenómenos meteorológicos), es decir: temperatura, humedad, presión atmosférica, viento, precipitación, etc., para un intervalo de tiempo de al menos treinta años.

En un sentido estricto, el clima se refiere al promedio de las variables físicas implicadas en el estado del tiempo (o fenómenos meteorológicos), es decir: temperatura, humedad, presión atmosférica, viento, precipitación, etc., para un intervalo de tiempo de al menos treinta años. El clima, entonces, a diferencia de las condiciones meteorológicas, de año a año suele mostrar una tendencia conservadora. Por ejemplo, durante un 15 de enero, la temperatura en Santiago de Chile puede variar entre los 16 °C (entorno a las 08:00) y los 35 °C de mayor temperatura del día. Por lo tanto, a lo largo de una misma jornada, la temperatura oscila casi 20 °C. Pero, si revisamos las temperaturas máximas (o mínimas) registradas en los últimos treinta años para un mismo día, el rango de variación es mucho más estrecho; y si miramos las temperaturas máximas (o mínimas) medias por estación su variación también es muy baja.

A su vez, los flujos atmosféricos que determinan estos fenómenos meteorológicos oscilan con una periodicidad arbitraria dependiente de los procesos internos de los Modelos de Circulación General Atmosférica, conocidos en la literatura científica como AGCM por sus iniciales en inglés (*Atmospheric General Circulation Models*).



El clima en el pasado: desde una bola de nieve a un mundo sin hielo

La Tierra se originó aproximadamente hace 4 600 millones de años como fruto de la acreción de una multitud de objetos rocosos. Durante este tiempo el clima de la Tierra ha experimentado cambios globales de grandes dimensiones, alternando periodos cálidos y fríos.

Si imaginamos que la Tierra se originó en el instante 00:00:00 de un cronómetro imaginario y el ser humano apareció sobre ella a las 23:59:58, podemos repasar la historia del clima sobre la Tierra hora a hora. Las primeras horas transcurrieron entre grandes colisiones de meteoritos y una intensa actividad volcánica. En ese momento la atmósfera estaba formada por dióxido de carbono, azufre, nitrógeno, amoníaco y vapor de agua, lo que la hacía muy densa.

Según este cronómetro, la vida se originó aproximadamente a las 03:00:00, una vez que cesó el bombardeo de meteoritos. No obstante, era una forma de vida básica dominada por los organismos procariotas. Desde entonces la evolución del clima ha estado íntimamente ligada a la vida y viceversa. Así, los procariotas fotosintéticos—como los formadores de estromatolitos—liberaban oxígeno, subproducto tóxico para la vida anaeróbica (predominante hasta ese momento), el que rápi-

damente se fue acumulando en la atmósfera primitiva. Aproximadamente a las 13:00:00 horas la atmósfera de la Tierra había acumulado suficiente oxígeno para que los seres aeróbicos predominaran sobre el planeta. Hasta las 19:29:00 la vida en el planeta era simple y se encontraba poco diversificada.

Aunque ya se había experimentado una superglaciación, a las 19:30:00 se produjo la mayor de todas y que convirtió a la Tierra en una **bola de nieve** (en inglés *Snowball Earth*). Se cree que durante esta superglaciación se heló el ecuador y los océanos tropicales. El principal mecanismo responsable de estas superglaciaciones fue el llamado **efecto de retroalimentación de hielo-albedo**. Este efecto consiste en que las placas de hielo reflejan suficiente luz como para reducir la temperatura, lo cual hace extenderse aún más la capa de hielo.

Se entiende por **retroalimentación** a aquellos procesos donde el sistema—en nuestro caso el clima— responde a alguna acción concreta, la que a su vez genera otra acción que ahonda en la magnitud de la respuesta. Un ejemplo del proceso de retroalimentación es lo que provocan los gases de efecto invernadero sobre el aumento de la temperatura. Así, la emisión de CO₂ a manos del ser humano desencadena un incremento de la temperatura debido al efecto invernadero, pero, a su vez, esto produce que, de forma natural, se emitan más gases de efecto invernadero (como el metano, atrapado en el fondo de los océanos o en el permafrost), lo que conllevaría a un nuevo aumento de la temperatura lo que, finalmente, podría desencadenar más emisiones.

Aunque parece difícil de imaginar, la Tierra irradiaba más calor del que recibe del Sol, por lo que tiende a enfriarse, pero debido a su atmósfera, rica en gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono, el metano y el vapor de agua, esa pérdida de calor no se produce ya que una parte es absorbida por la atmósfera. Por lo tanto, si la Tierra no tuviera atmósfera su temperatura media rondaría los -18 °C, pero actualmente está entre 33 y los 35 °C por encima de ese valor.

El principal mecanismo responsable de estas superglaciaciones fue el llamado efecto de retroalimentación de hielo-albedo. Este efecto consiste en que las placas de hielo reflejan suficiente luz como para reducir la temperatura, lo cual hace extenderse aún más la capa de hielo.

Durante el periodo de la bola de nieve, se cree que las masas continentales, antes unidas, configuraban un conglomerado de pequeños continentes cerca del ecuador, lo que favorecía las lluvias torrenciales en su superficie, al estar todas más cerca del mar. Estas lluvias debieron jugar un importante papel en el ciclo carbono/silicio, arrastrando el dióxido de carbono hacia los depósitos mineralógicos (meteorización química). Este hecho, sumado, quizás, a un descenso de la actividad sísmica, pudo reducir la cantidad de dióxido de carbono de la atmósfera, lo que a su

vez provocó una brusca disminución de las temperaturas, que, junto al efecto de retroalimentación de hielo-albedo, condujo a una superglaciación, la más intensa de la historia del planeta. No se conoce con exactitud cómo se salió el planeta de ese proceso de retroalimentación, pero es posible que debido a un incremento en la actividad volcánica.

Tras la bola de nieve y la extinción de gran parte de la vida existente, sobre las 20:00:00 se produjo un hecho conocido como **explosión del Cámbrico**. Este ha suscitado desconcierto desde la época de Darwin, ya que se generó una aceleración en el proceso evolutivo y aumentó la diversidad y la complejidad de las formas de vida sobre la Tierra.

Se han formulado diversas hipótesis para explicar este repentino aumento de la diversidad durante la explosión del Cámbrico, pero la que cobra más fuerza es la que señala un incremento en la complejidad de las redes tróficas como consecuencia del aumento en la concentración de oxígeno. Así, y debido a la inexistencia previa de redes tróficas complejas, el número de especies podría haberse incrementado exponencialmente mediante su creación hasta alcanzar un equilibrio constante.

Otro hito crucial en la historia de la biósfera fue la transmigración aérea de las plantas, es decir, el paso del medio acuático al terrestre [...] Este fenómeno permitió a las plantas colonizar el medio terrestre

Otro hito crucial en la historia de la biósfera fue la **transmigración aérea de las plantas**, es decir, el paso del medio acuático al terrestre, sobre las 20:30:00 de nuestro cronómetro imaginario. Este fenómeno permitió a las plantas colonizar el medio terrestre, manteniéndose hidratadas y accediendo al agua del subsuelo mediante un nuevo órgano: las raíces. Esta colonización conllevó el desarrollo de cuerpos vegetales complejos. Entre las 21:00:00 y las 21:30:00 las plantas crecen y proliferan de una forma exuberante sobre la superficie terrestre. Una huella de este periodo de exuberancia son los depósitos de carbón existentes alrededor de la Tierra. Durante este periodo la Tierra era más húmeda y cálida que en la actualidad.

A las 23:00:00 aparecen los primeros dinosaurios, pero a las 23:39:38 un meteorito terminó con ellos permitiendo la diversificación de las aves —sus parientes más cercanos— y los mamíferos.

El clima reciente

Los 20 minutos y 20 segundos que restan hasta el origen del ser humano actual se denomina **Cenozoico**. Durante la era cenozoica se repite la misma pauta de alternancia de periodos fríos y cálidos.

Durante este periodo, hace 56 millones de años, se produjo el calentamiento global más abrupto de los conocidos, llamado **máximo térmico Paleoceno-Eoceno**, que significó un incremento de la temperatura media global de 5 °C (por encima de la temperatura preindustrial). En el Cenozoico, y debido al calentamiento global, se acidificaron los océanos y escaseó el oxígeno disuelto en el mar, lo que produjo la extinción de una multitud de organismos marinos. Este calentamiento —de una forma similar al que sufrimos en la actualidad— se debió a la inyección de una gran cantidad de gases de efecto invernadero a la atmósfera producto del fraccionamiento del supercontinente Pangea. Esta actividad sísmica provocó grandes emanaciones de roca fundida las que quemaron las reservas de carbón y petróleo más superficiales, situación que a su vez generó grandes incendios alrededor del planeta.

Este calentamiento —de una forma similar al que sufrimos en la actualidad— se debió a la inyección de una gran cantidad de gases de efecto invernadero a la atmósfera producto del fraccionamiento del supercontinente Pangea.

El incremento de la temperatura global junto con las grandes emisiones de dióxido de carbono producidas por estos incendios, favorecieron el aumento de la temperatura de los océanos. Este hecho generó una desestabilización en los depósitos de hidratos de metano, los que se liberaron a la atmósfera. Esto último agravó el efecto invernadero al descongelar el permafrost y emitir más metano.

El **Cuaternario** (23:59:10) es el último periodo geológico de la era cenozoica y, por lo general, se suele considerar como un periodo frío, con alternancia regular de glaciaciones debidas a las variaciones de la órbita terrestre que conllevan una menor radiación solar. Ahora bien, las glaciaciones del Cuaternario —la última ocurrió hace 10 000 años— no se deben de confundir con las superglaciaciones de las primeras horas de vida de la Tierra.

Hasta las 23:59:58 del cronómetro imaginario, la Tierra ha pasado más tiempo con la Antártica sin hielo que con hielo.

Finalmente, de los cambios abruptos en el clima, que se han producido a lo largo de la historia de la Tierra, es destacable el papel que han desempeñado la deriva de los continentes, la vida y los procesos de retroalimentación.

Entender el clima en el Antropoceno

A las 24:00:00 de nuestro cronómetro se inicia el Antropoceno. Se conoce así al periodo durante el cual las acciones del ser humano han dejado una huella indeleble en la geología del planeta.

Actualmente, los/as científicos/as no alcanzan un consenso a la hora de establecer el comienzo del Antropoceno. En su mayoría lo sitúan al inicio de la revolución industrial, otros/as cuando empiezan a aparecer plásticos en el sedimento. Sin embargo, algunos/as sitúan al Antropoceno con el inicio de la civilización, ya que las primeras civilizaciones cambiaron los patrones erosivos de tal manera que se puede delimitar geológicamente dicho cambio. Esta última explicación nos parece la más adecuada, así como la que vincula el inicio del Antropoceno con la «primera revolución verde», es decir, con el establecimiento de los primeros cultivos.

Las actividades del ser humano moderno han modificado profundamente el paisaje y el clima. Desde los incendios provocados y la destrucción de bosques con la posterior formación de sistemas adehesados, hasta la agricultura y la ganadería, han impactado y modificado el clima, incluso la guerra le ha afectado. De hecho, se cree que el periodo de guerras de conquista de Gengis

Kan produjo un cambio climático a nivel regional, debido a los incendios y a la muerte de cientos de miles de personas en un corto plazo. No obstante, a pesar de las injerencias del ser humano en el clima, este ha continuado con sus ciclos cálidos y fríos los que, hasta hoy, continúan escasamente comprendidos. Así, se cree que el apogeo del Imperio romano coincidió con un máximo térmico y un clima benigno a gran escala, mientras que su caída, causada por las invasiones bárbaras, coincidió con el final de este periodo cálido. De hecho, muchos/as historiadores/as piensan que los efectos del cambio climático de esta etapa pudieron estar detrás de las migraciones de los pueblos bárbaros, los que se vieron obligados a moverse hacia la cuenca del Mediterráneo —huyendo del hambre y del frío—, situación que desestabilizó políticamente la zona. Por otra parte, cuando el jefe vikingo Erik, el Rojo, durante la Edad Media, descubrió Groenlandia (que en danés significa literalmente «tierra verde»), pudo verla sin hielo y rápidamente organizó su colonización debido a la riqueza de sus pastos. Desde allí los vikingos exploraron Terranova, a la que llamaron Vinland (tierra de vides) por la cantidad de vid salvaje que crecía en sus bosques. Esto nos da una idea de las temperaturas suaves de ese periodo.





A partir del siglo **XV** y hasta finales del siglo **XIX** se inicia un nuevo cambio climático conocido como **pequeña Edad de Hielo**. Así, inesperadamente —en el siglo **XV**— el clima empieza a enfriarse, lo que desemboca en inviernos cada vez más fríos. Este periodo coincide con el declive del Imperio maya, el abandono de las colonias vikingas en Groenlandia y las hambrunas en Europa. Otra curiosidad de este periodo es el uso del río Támesis —que cruza Londres— como pista de patinaje durante los meses de invierno.

Por otro lado, la revolución industrial y el aumento de las emisiones de dióxido de carbono, debido a la quema de combustibles fósiles a mediados del siglo **XIX**, coinciden con el fin de la pequeña Edad de Hielo. En teoría, actualmente nos encontramos en un periodo interglaciar y el planeta debería encaminarse hacia una nueva glaciación, pero, paradójicamente, las temperaturas medias globales se han incrementado, en vez de bajar.

Casas de colores en la ciudad de Nuuk, capital de Groenlandia





EFFECTO DEL CALENTAMIENTO GLOBAL

Afortunadamente, desde el 2020 y la pandemia del COVID-19, nadie pone en duda el problema de las enfermedades emergentes y su relación con las enfermedades zoonóticas. Sin embargo, esta era una amenaza latente de la que los/as científicos/as venían alertando desde hace décadas, pero sin lograr mayor repercusión.

La relación entre el cambio climático, la pérdida de hábitats naturales y las enfermedades emergentes es clara, pero no es la única amenaza que se deriva del cambio climático: la seguridad alimentaria es un problema grave y está directamente relacionado con la deriva insostenible en la que se encuentra la humanidad. Si se espera que para 2050 la Tierra alcance los 9 700 millones de personas, será todo un reto proporcionar alimentos para todos y todas, más aún en un contexto de cambio climático.

Efecto del calentamiento global: clima, modelos y política económica

Con los datos disponibles, un hecho inequívoco y contrastable es el incremento de la temperatura media global del planeta en las últimas décadas, a la par que el aumento en las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera. No obstante, establecer la directa relación causa/efecto y ajustar modelos matemáticos que predigan los efectos a mediano y largo plazo es un reto científico aún por alcanzar.

El calentamiento global actual, según la mayoría de los/as expertos/as, es posiblemente consecuencia de las emisiones de dióxido de carbono antrópico a la atmósfera, esto es un derivado de la combustión de los combustibles fósiles. De esta forma, en los últimos 150 años la concentración de CO₂ en la atmósfera se ha incrementado en un 40 % y, al ritmo actual de emisiones, se estima que para el 2100 se incrementará en 5 °C la temperatura media del planeta (la misma que durante el máximo térmico Paleoceno-Eoceno). A partir de esta temperatura se derretirán los casquetes polares y el nivel del mar aumentará 120 metros.

De esta forma, en los últimos 150 años la concentración de CO₂ en la atmósfera se ha incrementado en un 40 % y, al ritmo actual de emisiones, se estima que para el 2100 se incrementará en 5 °C la temperatura media del planeta (la misma que durante el máximo térmico Paleoceno-Eoceno).

En diciembre de 2015 se celebró en París la XXI Conferencia Internacional sobre Cambio Climático¹, durante la cual se llegó al acuerdo (vinculante para cincuenta y cinco países) sobre los métodos para reducir el calentamiento global. Con todo, estas medidas han sido percibidas como insuficientes por los/as expertos/as y algunas Organizaciones No Gubernamentales. Además, la mayoría de los países, incluidos EE. UU. y China, las mayores potencias industriales del planeta, no se han adherido. Ante esta situación, y las graves consecuencias previstas por el incremento del dióxido de carbono en la atmósfera, cabe preguntarse: ¿por qué no hacemos más? ¿Por qué como sociedad seguimos impasibles?

¹ XXI Conferencia Internacional sobre Cambio Climático. Disponible en: <https://bit.ly/35jXspD>





Tierra reseca producto de la desertificación de los suelos

Climategate

La polémica –también llamada por la prensa *climategate*, aludiendo al escándalo del caso *Watergate* que, en la década de los setenta, provocó la dimisión del presidente de EE. UU. Richard Nixon– consiste en la filtración de documentos y piratería informática a la *Climatic Research Unit* (la Unidad de Investigación Climática de la Universidad de East Anglia, Inglaterra) en 2009. En la época, un grupo de detractores del cambio climático aseguraba que en los correos electrónicos se demostraba la existencia de un complot para manipular los datos y así probar el cambio climático inequívocamente. Sin embargo, un informe de especialistas independientes, publicado en julio de 2010, tras leer los más de mil correos y tres mil documentos robados exoneraba a los profesionales implicados y no observaba ninguna mala praxis en su accionar. No obstante, en el público quedó sembrada la semilla de la desconfianza, tal y como lo indicó, en 2010, la editorial de la prestigiosa revista *Nature*¹, que además aseguraba que este caso había hecho un daño enorme a la reputación de la ciencia climática y, posiblemente, a la ciencia en su conjunto.

1- Editorial (2010). «Closing the Climategate». *Nature* 468, 345. <https://doi.org/10.1038/468345a>

El principal problema es que no existe un índice que mida de forma exacta y fácilmente el cambio climático. De hecho, aunque la mayoría de los modelos climáticos predicen un incremento de la temperatura superficial del mar y un descenso del pH para los próximos cien años, todos acumulan mucha incertidumbre y los/as científicos/as no se ponen de acuerdo ni en los efectos, ni en el tiempo que tardarían en producirse. Esto es debido, fundamentalmente, a los procesos de retroalimentación que, como se ha explicado, han jugado un papel crucial en los abruptos cambios climáticos que ha experimentado el planeta con anterioridad.

Además, la quema de combustibles fósiles está íntimamente ligada a los patrones de producción económica e industrial de muchos países. De tal manera que una reducción de la emisión de dióxido de carbono conllevaría, en los patrones de producción económica actual, a un receso de la economía. Estos efectos negativos son los que desalientan a los/as políticos/as –por el desgaste que les supone a corto plazo– para implementar medidas profundas tendientes a reducir las emisiones de CO₂. Además, como excusa para retrasar y dilatar la implementación de las medidas necesarias para la disminución de las emisiones,

los/as políticos/as y economistas esgrimen la incertidumbre de los modelos climáticos y el debate existente entre los/as científicos/as. Además, desde un punto de vista social y político, casos como el llamado *climategate*—con la filtración de cientos de correos de miembros del Grupo Inter-gubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático o IPCC por sus iniciales en inglés—tampoco ayudan a arrojar credibilidad a la preocupación de los/as científicos/as. Sin embargo, ni el debate científico y ni la incertidumbre de los modelos climáticos justifican la pasividad de los/as líderes y gestores/as sociales ya que, precisamente debido a los procesos de retroalimentación, cuando los efectos del cambio climático sean evidentes, ya no se podrán detener.

Sin embargo, ni el debate científico y ni la incertidumbre de los modelos climáticos justifican la pasividad de los/as líderes y gestores/as sociales ya que, precisamente debido a los procesos de retroalimentación, cuando los efectos del cambio climático sean evidentes, ya no se podrán detener.

Independientemente del efecto del CO₂ de la atmósfera en el clima, este reacciona con el agua formando ácido carbónico lo que incrementa la acidificación de los océanos y, a mediano plazo, produce una disminución de la concentración de oxígeno. El incremento de la acidificación de

los océanos afecta especialmente a todos los organismos con estructuras calcáreas como, por ejemplo, corales y moluscos, pero también a las larvas de los peces, que son fisiológicamente sensibles a los cambios en la acidificación del medio, por lo que un aumento de esta podría producir elevadas mortalidades y afectar de este modo a las generaciones siguientes.

Otro problema derivado de las altas concentraciones de dióxido de carbono es que, para conseguir la cantidad de CO₂ necesaria para la fotosíntesis, las plantas necesitarán mantener sus estomas menos tiempo abiertos. Este hecho reducirá la evapotranspiración y afectará al régimen de lluvias a nivel global.

Estos efectos, tanto en los océanos, como en el régimen de lluvias global, sumado a los riesgos para la salud pública, justificarían por sí solos una política mundial encaminada a la reducción en las emisiones de CO₂ a todo nivel.

Ahora bien, como ya hemos indicado, efectivamente antes ha habido otros calentamientos globales e incluso alcanzando mayores temperaturas en promedio, pero el principal problema del actual es la rapidez con la que se está produciendo. Así, durante el calentamiento del Cretácico la temperatura aumentó en torno al 0,000025 °C por siglo y durante el máximo térmico Paleoceno-Eoceno subió un 0,025 °C por

siglo, frente a 1 °C por siglo del calentamiento global actual. De hecho, el volumen de la banquisa polar se está reduciendo a un ritmo mucho mayor del predicho en los modelos.

Durante los calentamientos globales anteriores, los organismos tuvieron tiempo de adaptarse a las nuevas condiciones o migrar a otros lugares, no obstante, muchos se extinguieron. A la velocidad del calentamiento global actual los organismos no tendrán estas posibilidades

Seguridad alimentaria

Uno de los mayores retos a los que se enfrenta la humanidad en este siglo es proveer de alimentos a una población en crecimiento en un contexto de calentamiento global. Así, de acuerdo con las Naciones Unidas, la población mundial ha crecido en mil millones en los últimos doce años. Actualmente, hay 7 300 millones de habitantes en el planeta y se espera que para 2050 haya 9 700 millones de personas. Además, hay que tener en cuenta que, con los niveles de producción agrícola, ganadero y pesquero actuales, se dan crisis alimentarias prolongadas, especialmente

en países de África centro oriental, por lo que en un contexto de cambio climático, con elevadas concentraciones de dióxido de carbono, que producirán reducción de lluvias y bajos reclutamientos de peces, ¿cómo se garantizará el acceso a los alimentos a toda la población?

Esta cuestión es un problema que se plantea con severa preocupación dentro de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura o *Food and Agriculture Organization of the United Nations*) ya que, si se cumplen los

modelos climáticos y sus efectos en la agricultura y la pesca, frente al incremento poblacional, no será fácil la solución.

En este sentido, se hace imperativo hacer un uso racional de los recursos alimentarios, evitando agotar los campos con la sobreproducción y descartar animales muertos al mar por una pesca descontrolada.

Embalajes industriales de peces de aleta dorada (*Sparus aurata*)



Enfermedades emergentes

Un fenómeno relacionado con el incremento de las temperaturas globales es la mundialización de las enfermedades. Así, enfermedades típicamente tropicales, como el virus del dengue, la chikungunya o el virus del Zika, se han registrado recientemente en la cuenca mediterránea debido a la expansión de los vectores de transmisión. Se denomina «tropicalización» al fenómeno reciente por el cual parte de la diversidad biológica incrementa su distribución a latitudes medias, encontrándose fuera del ámbito tropical.

No obstante, la globalización de las enfermedades es más compleja, ya que hay que considerar también la mejora en los medios de transporte y las comunicaciones. Así, por ejemplo, una epidemia de Ébola en plena selva del Congo hace 50 años difícilmente podría alcanzar grandes núcleos poblacionales. Sin embargo, en la actualidad, los últimos brotes han alcanzado puntos tan distantes como EE. UU. o Europa, y no porque los vectores de transmisión hayan llegado a estos lugares, sino porque personas que han contraído la enfermedad —y que hace 50 años hubieran fallecido antes de alcanzar un gran núcleo urbano— han podido llegar a ciudades lejanas. Por otra parte, estudios recientes indican que la deforestación podría favorecer los brotes de esta enfermedad.

Recientemente, el mundo ha comprobado lo rápido que se puede extender una enfermedad en la actualidad. Así, por ejemplo, el COVID-19, producido por el SARS-CoV-2, desde que se detectó por primera vez en la ciudad china de Wuhan, en diciembre de 2019, se ha expandido a todo el mundo en pocos meses.

Este caso es especialmente ilustrativo y no solo para evidenciar el problema global de las enfermedades en pleno siglo **XXI**, sino sobre todo para demostrar que estas pueden ser transmitidas desde animales salvajes, lo que se conoce como zoonosis. Aunque, *a priori*, podríamos pensar que

la zoonosis no tiene una relación directa con el cambio climático,² la pérdida de hábitats naturales y el desplazamiento de la fauna debido a este fenómeno pone a las personas en mayor contacto con posibles enfermedades zoonóticas.

De este modo, hipotéticas cepas bacterianas resistentes a los antibióticos o mutaciones víricas que en otra época quedarían relegadas a pequeños reductos poblacionales en la selva, en la actualidad amenazan a la humanidad como una espada de Damocles.

² Según las autoridades de la República china el origen del SARS-CoV-2 podría estar en el mercado de animales salvajes de Wuhan.



Mosquito *Aedes aegypti* sobre piel humana

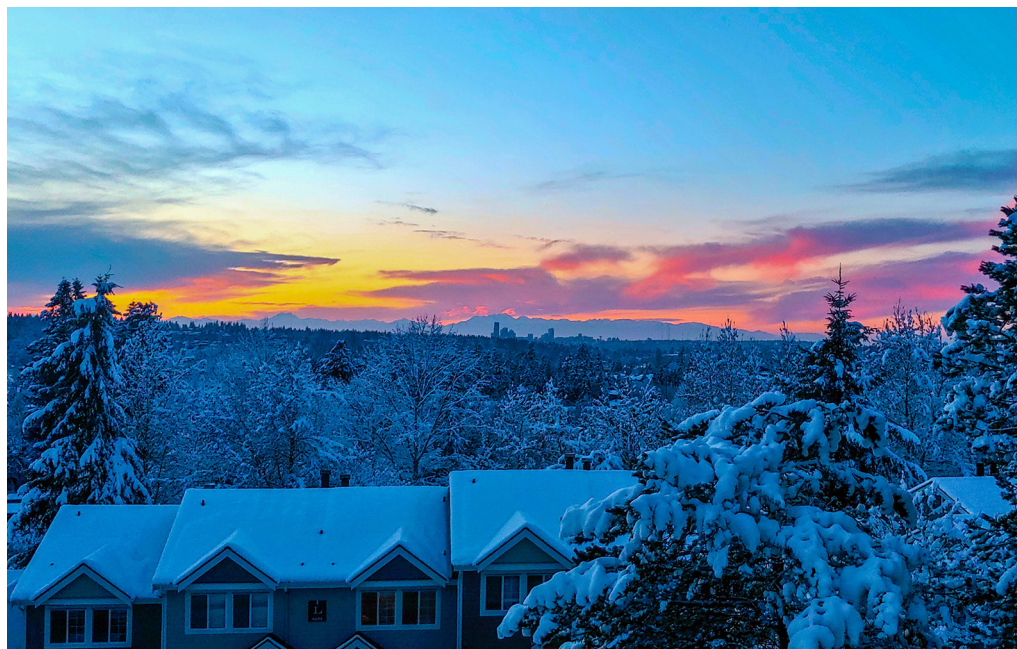
¿El clima está loco?

Los últimos inviernos han sido muy fríos en algunas regiones de ambos hemisferios. Por ejemplo, en 2010, una tormenta de nieve, llamada por la prensa *snowmageddon* (armagedón de nieve), paralizó el norte de EE. UU. por una semana y, durante la misma estación, el estado de California sufrió el invierno más cálido desde que hay registros, con una sequía que causó miles de millones de dólares en pérdidas. Además, y asociado a estos inviernos anómalos, se han incrementado el número de olas de calor, es decir, episodios de más de tres días consecutivos donde un número significativo de estaciones meteorológicas registran temperaturas por encima de los registros máximos en los últimos treinta años. ¿Qué está sucediendo? ¿Se ha vuelto loco el clima?

Durante la estación fría se forma la banquisa polar, mientras que durante el verano esta se reduce quedando a un mínimo de su espesor. En las últimas décadas, el incremento de la temperatura a nivel global ha aumentado la fusión de la banquisa polar. Al disminuirse el hielo, se reduce el efecto albedo de este y, por el contrario, los océanos aumentan su absorción de calor. Este hecho disminuye el gradiente de temperaturas entre las altas latitudes y las latitudes medias, lo que se traduce en un debilitamiento del vórtice polar durante la

estación fría. Por otra parte, la corriente de chorro polar—un flujo constante de aire que separa el aire frío del cálido cerca de los polos, con un vórtice polar débil—experimenta ondulaciones, asemejándose a los meandros de un río que, de manera inusual, concentran las tormentas polares en determinados puntos y los anticiclones en otros. Lo anterior significa que, al contrario de lo que cabría

esperar, el aumento de las temperaturas a nivel global traerá inviernos inusualmente fríos en regiones muy concretas, mientras que en otras serán extraordinariamente cálidos.



Atardecer invernal en Seattle, Estados Unidos





LA MORALEJA DE LA ISLA DE PASCUA

A pesar de las serias amenazas que rodean a la humanidad y las señales inequívocas sobre el cambio climático, muchos/as dirigentes se resisten a realizar los cambios socioeconómicos necesarios para modificar nuestra actual forma de vida. A lo largo de la historia existe una multitud de ejemplos de sociedades que colapsaron debido a un modelo basado en un consumo insostenible de los recursos naturales. Un ejemplo cercano y del cual es necesario aprender es el de la Isla de Pascua.

Aún estamos a tiempo, todos y todas tenemos la capacidad de ayudar con nuestros actos para alcanzar un consumo sostenible. ¿Cómo? Reduciendo el consumo, reutilizando lo adquirido y reciclando los materiales para que puedan tener un nuevo uso.

La Isla de Pascua, un callejón sin salida de sostenibilidad

El pueblo Rapanui, probablemente de origen polinesio, habitó —como hasta ahora— la llamada Isla de Pascua, donde desarrollaron una rica cultura de forma aislada, en la que cabe destacar el tallado y colocación de los moáis, grandes esculturas de piedra que eran transportadas desde las canteras a atriles improvisados cerca del mar. Sin embargo, a pesar de su riqueza cultural, los primeros europeos que alcanzaron la isla solo descubrieron pequeños clanes aislados en el territorio, sin rastros de la impresionante cultura rapanui, que había colapsado debido a las guerras de supervivencia y a la carencia de alimentos. Pero ¿qué le sucedió al pueblo rapanui?

A pesar de su lejanía con el continente americano, antes del arribo de los primeros humanos, la Isla de Pascua albergaba densos bosques que la protegían de la erosión eólica que producen los vientos del Pacífico. Por eso, a la llegada de los rapanui —un pueblo eminentemente marino—, estos disponían de madera para reparar sus embarcaciones y de tierras fértiles donde poder cultivar. Pero, a causa de un consumo desaforado de los recursos, la tala y la deforestación, los rapanui perdieron la capacidad de reparar sus embarcaciones, lo que les significó quedar aislados y sin acceso a su principal recurso: la pesca. A partir de este momento, sin bosques, con los vientos

del Pacífico erosionando la isla y con un desgaste mayor, la sociedad rapanui entró en lo que denominamos «proceso de retroalimentación».

En este sentido, el auge y ocaso de la antigua civilización rapanui es un buen ejemplo de lo que está experimentando la humanidad en la actualidad. La Tierra es una isla aislada en mitad de nuestro sistema solar, tiene recursos limitados y un clima frágil y sensible a los cambios, de tal manera que si no empleamos los recursos sosteniblemente podríamos colapsar como sociedad y dejar una huella irreparable en nuestra «isla».

Archivo fotográfico del Museo Histórico Nacional



Sostenibilidad y calentamiento global

Un punto clave para reducir las emisiones de dióxido de carbono es pasar de las energías fósiles a energías renovables (solar, eólica o hidrodinámica) y nucleares. No obstante, todas conllevan otros problemas asociados y posibles impactos en el medio natural y efectos contraproducentes. Por ejemplo, la energía solar requiere de la instalación de los «huertos solares», es decir, la colocación de paneles solares en grandes extensiones de terreno. Estos paneles ensombrecen el suelo y dificultan y reducen el crecimiento de vegetación, la cual es imprescindible para disminuir las concentraciones actuales de CO₂. Por otra parte, la instalación de los grandes aerogeneradores podría interferir con la fauna de los lugares donde están ubicados y producir grandes mortandades de aves debido a las colisiones de estas con las aspas cuando vuelan. Por último, la energía nuclear, que es la energía más eficiente en relación con el impacto, tiene como efecto negativo que sus residuos son muy nocivos y peligrosos, tanto para el medio, como para las personas.

Consumo y medioambiente parecen una ecuación irresoluble. De hecho, actualmente, la gran mayoría de nosotros/as tenemos teléfonos inteligentes, tabletas o computadoras, pero, indepen-

dientemente de lo que nos haya costado, es difícil pensar que estos aparatos los vayan a heredar nuestros/as nietos/as, es casi inverosímil. Sin embargo, nuestros/as abuelos/as podían soñar con heredar el reloj de sus respectivos/as abuelos/as. Esto sucedía porque hasta hace no mucho tiempo atrás los objetos se elaboraban bajo otras premisas de calidad; se hacían para que perduraran. Sin embargo, ahora, en nuestra era tecnológica, los electrodomésticos sufren de **senescencia programada y obsolescencia**. De esta forma, el/la consumidor/a se ve casi obligado/a, cada cierto tiempo, a cambiar el teléfono móvil a pesar de su calidad, ya sea porque se rompen y son muy costosos de reparar, o bien porque se vuelven obsoletos y ya no funcionan.

Este juego de consumo trae consigo una pérdida irracional de recursos y un aumento de la huella de carbono —que equivale a la cantidad de dióxido de carbono que se emite a la atmósfera por nuestra forma de vida—. Esto significa que, si para ir al trabajo tomamos nuestro propio vehículo en vez de usar el transporte público o compramos vasos plásticos *made in China*, en lugar de usar unos de vidrio *made in Chile*, estamos dejando una mayor huella de carbono.

Si para ir al trabajo tomamos nuestro propio vehículo en vez de usar el transporte público o compramos vasos plásticos *made in China*, en lugar de usar unos de vidrio *made in Chile*, estamos dejando una mayor huella de carbono.

Por otra parte, consideramos que no se debería dejar en manos del consumidor o consumidor la responsabilidad de averiguar qué objeto o marca tiene más huella de carbono; las autoridades internacionales deberían crear una etiqueta homogénea a nivel global para marcar la huella de carbono de cada producto y así, con esta información accesible, el/la consumidor/a podría estimar la huella de carbono de sus compras.

¿Qué puedo hacer por el planeta?

Primero que todo, es importante recalcar que aún tenemos mucho margen para reaccionar y evitar que el clima entre en un proceso de retroalimentación incontrolable, pero para ello todos y todas tenemos que aprender a reducir nuestra huella de carbono.

¿Cómo? Pues mediante la sencilla regla de las tres R:

- 1) Reducir el consumo
- 2) Reutilizar
- 3) Reciclar

Reducir el consumo, implica reducir la huella de carbono, pero ¿cómo lo hacemos? Un paso importante es reutilizar los objetos. Antes de botar una cosa debemos plantearnos si pudiera o no tener otro uso. Si no, si finalmente el objeto deja de tener uso y queremos deshacernos de él, debemos preocuparnos de botarlo en el contenedor correspondiente para su adecuado reciclaje.

REFERENCIAS

BÁEZ, J.C., F. CONDE & A. FLORES (1999). «El papel de los seres vivos en la evolución planetaria». *Spin Cero*, 4: 38-40

BÁEZ, J.C., P. PASCUAL, M.^a L. RAMOS & F.J. ABASCAL (2018). «Túidos tropicales: calentamiento global y seguridad alimentaria, una visión global». *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 53(1): 1-8.

CALDEIRA, K. & WICKETT, M.E. (2003). «Oceanography: antropogenic carbon and ocean pH». *Nature*, 425: 365.

CAREY, J. (2015). «Calentamiento global: ¿Más rápido de lo previsto?» *Investigación y Ciencia*, Temas 82: 36-41.

DELIBES DE CASTRO, M. (2010). *La naturaleza en peligro*. Ediciones Destino.

GREENE, C.H. (2015). «Inviernos extremos». *Investigación y Ciencia*, Temas 82: 41-46.

TOHARIA, M. (2008). *El clima. El calentamiento global y el futuro del planeta*. Ed. DEBOLSILLO.

SOBRE EL AUTOR

Doctor en ciencias biológicas por la Universidad de Málaga (España). Es investigador asociado en la Universidad Autónoma de Chile y desde 2017 es científico titular en el Instituto Español de Oceanografía. Su línea de investigación se enfoca en la ecología marina, conservación de la megafauna marina y manejo de pesquerías de túidos. Ha publicado más de 122 artículos científicos en revistas revisadas por pares. Ha sido asesor para la FAO y la Unión Europea en temas relacionados con la pesca. Actualmente, es miembro del Grupo de Especialistas en Tortugas Marinas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y también es miembro de la junta directiva de la Asociación Española de Herpetología. Además, pertenece a diferentes grupos de trabajo de las Organizaciones Regionales de Ordenación Pesquera.

LA AMENAZA DEL CLIMA EN EL ANTROPOCENO

Dr. José Carlos Báez

El clima de la Tierra ha sufrido fuertes modificaciones desde su origen. Ahora, por ejemplo, estamos experimentando un nuevo cambio fruto de la actividad humana, lo cual puede acarrear problemas tanto para nuestra salud, como para nuestro futuro. Este cambio —perceptible en el clima— es lo que conocemos como cambio climático.

Este libro repasa los principales hitos de la historia del clima del planeta y detalla los desafíos a los que se enfrenta la humanidad debido a los cambios acaecidos durante el Antropoceno, nuevo periodo geológico con patrones sedimentarios y erosivos reconocibles producto de la huella de la actividad humana.

La amenaza del clima en el Antropoceno ha sido desarrollado por el Centro de Comunicación de las Ciencias de la Universidad Autónoma de Chile, pertenece a la línea Aprende conciencia y se descarga gratuitamente de ciencias.uaautonoma.cl/antropoceno.



MÁS UNIVERSIDAD



Centro de Comunicación
de las Ciencias

Universidad Autónoma de Chile