



SERGIO MARGULIS

CAMBIO
climático

**Todo lo que quería y
no quería saber**



 **KONRAD
ADENAUER
STIFTUNG**

 Programa Regional
Seguridad Energética y Cambio Climático
en América Latina (EKLA)

CAMBIO climático

Todo lo que quería y
no quería saber

SERGIO MARGULIS

Versión original

EDITOR RESPONSABLE

Anja Czymmeck

AUTORÍA

Sergio Margulis

INVESTIGACIÓN Y APOYO

Gabriela Schneider

Sarah Margulis

COORDINACIÓN EDITORIAL

Marina Caetano

Ana Carolina Abreu

Reinaldo Themoteo

REVISIÓN

Julio Wasserman

José Paulo Oliveira

Marina Caetano

Ana Carolina Abreu

Gustavo Pinheiro

Natalie Unterstell

PROYECTO GRÁFICO

Daniela Knorr

ILUSTRACIONES

Christian Monnerat

Versión traducida al español y adaptada para América Latina

ORGANIZADORES

Programa Regional Seguridad Energética y Cambio Climático en América Latina (EKLA) de la Fundación Konrad Adenauer (KAS)

DIRECTORA EKLA

Nicole Stopfer

COORDINADORA DE PROYECTOS

Anuska Soares

TRADUCCIÓN

Victor Mory

Programa Regional Seguridad Energética y Cambio Climático en América Latina (EKLA)

Calle Cantuarias 160 Of. 202

Miraflores, Lima 18 - Perú

Telefone +51 13 20 28 70

energie-klima-la@kas.de

www.kas.de/energie-klima-lateinamerika/

youtube.com/c/EKLAKAS

twitter.com/ekla_kas

facebook.com/eklakas/

instagram.com/eklakas/

IMÁGENES DE PORTADA

Derretimiento del hielo - Foto de Tina Rolf / Unsplash.com

Árbol muerto en medio a la tierra seca - Foto de Piyaset / Istockphoto.com

Sergio Margulis - Foto de Patricia Secco

IMPRESIÓN

Aerographic

Datos de catalogación internacional en publicación (CIP)

Asesoría Editorial Lumos

Bibliotecaria: Priscila Pena Machado CRB-7/6971

M331 Margulis, Sergio.
Cambio climático : todo lo que usted quería y no quería saber / Sergio Margulis. — Rio de Janeiro : Konrad Adenauer Stiftung, 2021.
180 p. : il. ; 23 cm.

“Programa Regional Seguridad Energética y Cambio Climático em la America Latina (EKLA)”.

Inclui bibliografia.

ISBN 978-65-89432-13-5

1. Mudanças climáticas - Aspectos ambientais.
2. Aquecimento global. 3. Proteção ambiental. I. Título.

CDD 333.72

Las opiniones expresadas en esta publicación son responsabilidad exclusiva de sus autores.

Todos los derechos de esta edición reservados a © 2020, Konrad Adenauer Stiftung e.V.

Fundación Konrad Adenauer

Rua Guilhermina Guinle, 163 • Botafogo •

CEP: 22270-060 • Rio de Janeiro • RJ • Brasil

Tel: (+55/21) 2220-5441 • Fax: (+55/21) 2220-5448

SUMARIO

	PRESENTACIÓN	5
I.	¿QUÉ ES EL CALENTAMIENTO GLOBAL Y EL CAMBIO CLIMÁTICO?	9
	La corta existencia humana en la Tierra y la importancia del clima	9
	Emisiones provocadas por el hombre: efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático	12
II.	EVIDENCIA DE CAMBIO CLIMÁTICO E IMPACTOS ESPERADOS	25
	Cambios observados en el clima y la contribución humana	25
	Impactos provocados por el nuevo clima y eventos extremos	34
III.	CLIMA FUTURO, VULNERABILIDADES Y RIESGOS A LARGO PLAZO	61
	Proyecciones climáticas futuras y sus incertidumbres	61
	¿Dos grados, cuatro grados o más? Vulnerabilidades y riesgos a largo plazo	64
	Jugando con fuego: problemas catastróficos que no quería saber, pero ahora lo sabrá	68
	Presupuesto de carbono: ¿cuánto podemos emitir todavía?	74
IV.	¿QUIÉN ES REALMENTE RESPONSABLE?	77
	De dónde provienen las emisiones: países, sectores económicos, clases de renta	77
	Generación y consumo de energía	80
	El consumo como causa subyacente: países y consumidores ricos frente a los pobres	83
	Contribución de América Latina y el Caribe: uso de energía, agricultura y deforestación	86
V.	¿ES POSIBLE FRENAR EL CALENTAMIENTO GLOBAL?	95
	Energías limpias	97
	Mayor eficiencia productiva, nuevas tecnologías y prácticas	103
	La demanda y el consumo como elementos clave	107
	Fijación de precios al carbono para reducir las emisiones	111
	Eliminación del carbono atmosférico y soluciones de ciencia ficción: acercándose a algo peor	114
VI.	ADAPTÁNDOSE AL CAMBIO CLIMÁTICO	121
	Contexto y marco para comprender la adaptación	121
	La adaptación como problema local	124
	Vulnerabilidad, pobreza y déficit de adaptación	125
	Decisiones sobre cómo adaptarse	128
	Adaptación en diferentes sectores	131
VII.	NEGOCIANDO SOLUCIONES PARA EL CALENTAMIENTO GLOBAL	137
	El proceso de negociación global: la UNFCCC, el Protocolo de Kioto y el Acuerdo de París	138
	La economía política de la negociación global: países ricos x países pobres	143
VIII.	CONCLUSIONES	153
	REFERENCIAS	161

PRESENTACIÓN

El cambio climático representa una amenaza existencial para la humanidad y la vida en el planeta Tierra como nunca antes. Con cada día, mes o año que pasa, se convierte en una emergencia que debe abordarse con la máxima prioridad. A diferencia de otros riesgos para la humanidad, como los provocados por la actual pandemia COVID-19, donde la ciencia busca soluciones que eliminen o reduzcan sustancialmente el riesgo en un corto período de tiempo, el cambio climático presenta un riesgo que puede durar de muchos siglos a milenios. Esto se debe a que el tiempo de permanencia de muchos gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, como el dióxido de carbono (CO₂), es de más de un siglo. Aproximadamente el 15% del CO₂ emitido hoy permanecerá en la atmósfera durante más de 1.000 años. Muchas, muchas generaciones humanas y gran parte de la vida en la Tierra estarán bajo tal amenaza existencial. Así, combatir el cambio climático se convierte en el principal desafío de nuestra civilización para mantener nuestro planeta habitable y con diversidad de vida.

Los riesgos se agravan porque si no reducimos rápidamente las tasas de emisión de gases de efecto invernadero (GEI) – procurando no superar los límites impuestos por el Acuerdo de París de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático sobre el calentamiento por debajo de 2°C – se desencadenarían desequilibrios naturales, muchos de ellos impredecibles. Por ejemplo, con unos pocos grados más de calentamiento de la superficie de la Tierra, una gran cantidad de CO₂ atrapado en áreas de *permafrost* en las latitudes altas del hemisferio norte de Siberia, Canadá y Alaska, se liberaría, acelerando el calentamiento global sin posibilidad de control humano. El mismo tipo de riesgo ocurre con la estabilidad de las florestas tropicales en respuesta a acciones antropogénicas de calentamiento global, deforestación e incendios forestales. Una gran preocupación está muy cerca de los brasileños: nuestra Amazonía. La floresta está a un paso de sufrir un proceso irreversible de “*sabanización*” (transformación en sabana), por el cual más del 60% de su extensión se convertiría en una sabana tropical altamente degradada en 30 a 50 años, liberando más de 300 mil millones de toneladas de CO₂ a la atmósfera, equivalente a ocho

años de emisiones globales de este gas, lo que hace que sea extremadamente difícil reducir el calentamiento global a niveles tolerables y menos riesgosos.

La gravedad del problema hace que nos preguntemos si existen límites absolutos para adaptarse al cambio climático. Por desgracia, la respuesta es sí. Superar algunos de estos puntos de no retorno del complejo sistema climático nos conduciría a un planeta prácticamente inhabitable en el próximo siglo, donde la mayor parte de la superficie alcanzaría condiciones climáticas de temperatura y humedad que superarían el límite fisiológico de supervivencia del cuerpo humano. Asimismo, la producción de alimentos se vería muy afectada y la gran mayoría de los cultivos agrícolas no sobrevivirían en la mayor parte del planeta. Más del 50% de las especies existentes también se extinguirían en condiciones tan extremas, siendo esta sexta gran extinción la única causada por las acciones de una especie, el *Homo sapiens*.

Por lo tanto, no podemos perder un minuto más en acciones para reducir los riesgos extremos que el cambio climático antropogénico representa para la vida en la Tierra. Aunque sea difícil, sí es factible perseguir trayectorias de sostenibilidad a través de una rápida reducción de las emisiones de GEI, de modo que el aumento de la temperatura superficial del planeta no supere los 1,5°C, valor que la ciencia claramente sitúa como posible y de una gravedad bastante seria pero todavía un grado de riesgo aceptable. Aun así, esto requerirá acciones de adaptación en todos los sectores, dado que el planeta se ha calentado hasta ahora en torno a 1,1°C y los cambios observados, por ejemplo, en las lluvias o sequías extremas, ya provocan inmensos daños a muchas actividades de los seres humanos, aumentando el riesgo de desastres naturales o la producción de alimentos.

Lograr esta trayectoria de mayor sostenibilidad requiere reducir a cero las emisiones netas para mediados del siglo. Esto significa reducir las emisiones actuales de aproximadamente 40 mil millones de toneladas de CO₂ a la mitad hasta 2030, nuevamente a la mitad hasta 2040 y nuevamente a la mitad hasta 2050, lo que resulta en una emisión residual de aproximadamente 5 mil millones de toneladas de CO₂. Esas emisiones pueden compensarse aumentando la absorción de este gas, especialmente con la restauración forestal. En este punto, Brasil tiene un enorme potencial para reducir a cero la deforestación en la Amazonía, en el Cerrado (sabana) y otros biomas en unos pocos años, algo realmente factible cuando se practica una agricultura eficiente y moderna, teniendo en cuenta que alrededor del 50% de las emisiones brasileñas son el resultado de la deforestación y degradación de biomas. Adicionalmente, sería posible y deseable restaurar

la vegetación en grandes áreas de agricultura de baja productividad, especialmente en la Amazonía, trayendo un beneficio doble y muy importante: eliminar el CO₂ de la atmósfera y reducir el riesgo de *sabanización* de la floresta tropical.

Con el objetivo de abordar el gigantesco desafío que enfrenta la humanidad, un elemento fundamental es la necesidad de una amplia difusión del conocimiento sobre el cambio climático, sus riesgos y las acciones urgentes necesarias para la reducción de estos riesgos. Este es el principal objetivo del libro “Cambios climáticos: todo lo que quería y no quería saber”, del economista Sergio Margulis.

El libro trata los aspectos más importantes de los problemas climáticos en un lenguaje claro y accesible basado en los mejores conocimientos científicos. Comienza explicando qué es el cambio climático, sus causas físicas y demostrando claramente la evidencia de que el clima está cambiando. Se trata de impactos ya observados y proyectados a largo plazo, así como de las diversas vulnerabilidades de los sistemas humanos y naturales del planeta. Luego pasa al campo de la búsqueda de soluciones, tanto en el sentido de mostrar posibles escenarios para reducciones urgentes de emisiones, como en dar un peso importante a las necesidades igualmente urgentes de adaptación y aumentar la resiliencia de los sistemas humanos y naturales a los cambios climáticos esperados. Señala una creciente preocupación entre los brasileños por el aumento de las emisiones del país en los últimos años y la necesidad de abordar directamente estos problemas para hacer que Brasil vuelva a una posición de protagonismo en las negociaciones sobre el cambio climático.

¡Una lectura imperdible, que recomiendo a todos!

Carlos A. Nobre

INVESTIGADOR SENIOR DEL INSTITUTO DE
ESTUDIOS AVANZADOS DE USP





¿QUÉ ES EL CALENTAMIENTO GLOBAL Y EL CAMBIO CLIMÁTICO?

La corta existencia humana en la Tierra y la importancia del clima

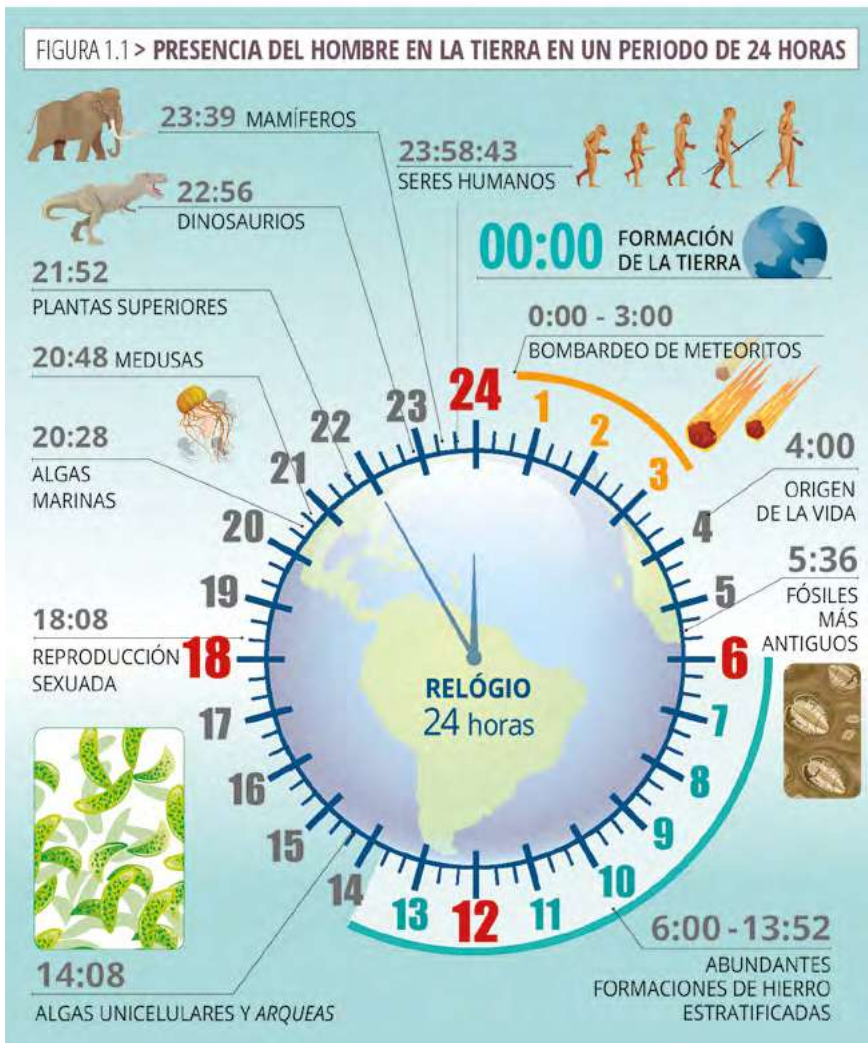
Mientras hemos existido, y durante todo el proceso evolutivo, los humanos sobrevivimos, como todos los demás animales y plantas, en función de lo que nos ofrece la naturaleza. Aire, agua, radiación solar, fotosíntesis, minerales, todo está finalmente aquí mucho antes que los hombres. Estos elementos, junto con diversas condiciones ambientales existentes en los primeros días de la Tierra, permitieron la generación de aminoácidos, precursores de los primeros microbios, que evolucionaron hasta el punto en que existimos los humanos.

Nuestro planeta existe desde hace unos 4.500 millones de años. Al principio, la Tierra era simplemente una bola de gases, ardiendo y vagando por el universo. Posteriormente, comenzó a enfriarse y esto provocó que el vapor de agua se precipitara, formando los primeros océanos. Cientos de millones de años después, surgieron las primeras masas de tierra, que dieron origen a los continentes. Las primeras formas de vida, los microbios, que son microorganismos unicelulares, surgieron mil millones de años después de la Tierra. En otras palabras, la vida misma tardó este enorme período de tiempo en formarse, dadas las condiciones del planeta en ese momento.

Después de más de mil millones de años comienza la fotosíntesis y la atmósfera comienza a enriquecerse en oxígeno (¡ni siquiera había oxígeno aquí cuando se formó la Tierra!). Luego entramos en el llamado *Proterozoico*, un período de otros mil millones de años en el que las formas de vida en la Tierra evolucionaron y se volvieron más complejas. No había continentes, solo un “territorio” gigantesco llamado *Pangaea*. Este territorio comenzó

a dividirse hace unos 225 millones de años, alcanzando su configuración actual hace “sólo” 65 millones de años [1].

Finalmente, los primeros animales aparecieron hace unos 700 millones de años, las plantas aparecieron hace unos 400 millones de años, los primeros mamíferos aparecieron hace unos 230 millones de años y finalmente, los primeros homínidos, nuestros antepasados más cercanos: hace solo 2 millones de años. Si comparamos la existencia humana con la creación de la Tierra en un período de 24 horas, solo aparecemos a las 23 horas, 58 minutos y 43 segundos, lo que significa que nuestra presencia en el planeta es un pequeño punto en el tiempo (ver Figura 1.1).



Fuente: [5]

Las formas de vida existentes en la Tierra y su evolución siempre han sido el resultado de las condiciones que prevalecen en el planeta en cada momento, como la temperatura, la humedad, la radiación solar y la concentración de oxígeno. Las condiciones climáticas permitieron la formación de diversos ecosistemas y hábitats en todo el mundo. Un cierto tipo de clima puede favorecer la expansión de algunas especies y, al mismo tiempo, diezmar otras. A medida que varían las condiciones climáticas, los ecosistemas y las especies se adaptan, migran o cambian de tamaño. La Tierra ha pasado por enormes variaciones climáticas, lo que resulta en cambios dramáticos en los ecosistemas. El período geológico más reciente, el Holoceno, que comenzó hace unos 10.000 años, ha sido particular y excepcionalmente estable [3].

No es de extrañar que, en este período, la humanidad haya evolucionado hasta llegar al punto en el que se encuentra hoy. A diferencia de los períodos en los que vivieron nuestros ancestrales homínidos, la estabilidad climática permitió que los hombres de los últimos 10.000 años disfrutaran de la naturaleza y se desarrollaran intelectualmente, hasta el punto de inventar la agricultura, y 5.000 años después inventar la rueda. Sin embargo, el extraordinario desarrollo de la humanidad no ha cambiado el principio que siempre ha regido la vida del hombre en la Tierra: su dependencia de la naturaleza y la dependencia de la naturaleza en relación al clima.

Este libro analiza el cambio climático, que está comenzando a hacerse sentir de manera inequívoca. Es un libro de base científica, que busca lograr el mayor rigor posible en la descripción y comprensión de los hechos que se han ido produciendo. La ciencia subyacente, como toda ciencia, está sujeta a incertidumbre y a error. El pronóstico del tiempo, nuestro amigo que aparece en los periódicos y aplicaciones, se basa en la ciencia meteorológica, hermana de la ciencia climatológica, que ha ido mejorando de manera estu-penda con el tiempo. Sin embargo, sigue siendo incierto y sujeto a errores.

Aun así, seguimos planificando para mañana en base a la previsión meteorológica, según los modelos climatológicos y meteorológicos de los que disponemos. No existen conjeturas: simplemente usamos lo mejor que la ciencia y sus modelos pueden ofrecernos. Y nos han estado advirtiendo durante años que el clima está cambiando. A medida que los hechos corroboran las predicciones, el aprendizaje solo aumenta.

Dado que la ciencia aún no es 100% segura, podría tener sentido esperar un poco más antes de que la humanidad adopte una postura más firme sobre el cambio climático. Desafortunadamente, la ciencia nunca dará una predicción con un 100% de certeza; de lo contrario, no sería ciencia.

No actuar ahora va en contra de la evidencia científica. Hasta la fecha, no sabemos de otro planeta al que podamos huir si este se vuelve inhabitable. Destruiremos lo que la naturaleza tardó miles de millones de años en construir y que nos da la vida tal como la vivimos hoy. Por eso parece razonable, como mínimo, además de buscar mejoras en la actualidad, dejarle el planeta a nuestros hijos y nietos en las mismas condiciones en que lo recibimos de nuestros antepasados de millones de años.

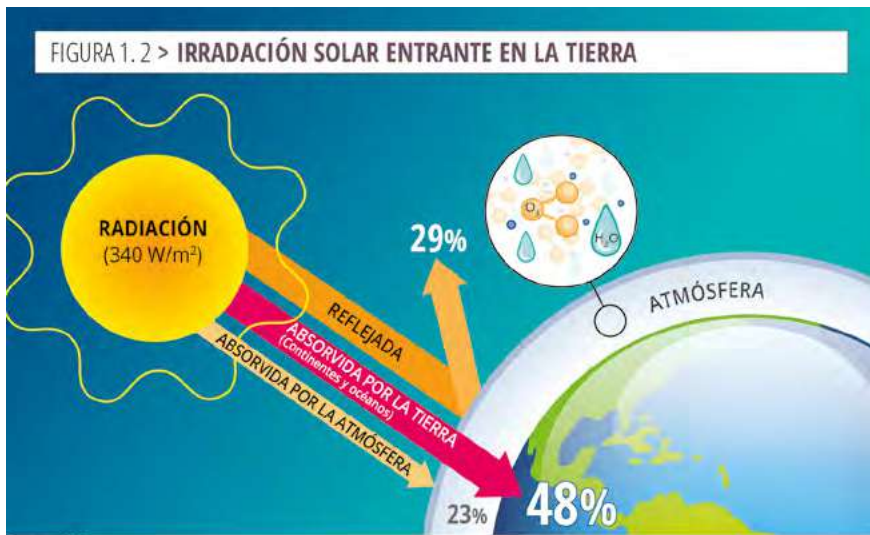
Este primer capítulo explica qué significan el efecto invernadero, el calentamiento global y el cambio climático. Además, también muestra que este cambio es causado fundamentalmente por las acciones del hombre en la Tierra. Los fenómenos siguen siendo de la naturaleza: la radiación solar, el ciclo del carbono, el ciclo del agua, etc. Pero a través de las actividades del hombre, como el alto uso de energía fósil y la deforestación depredadora, se comienza a interferir en las condiciones climáticas como eran desde hace miles y miles de años, sin saber exactamente las consecuencias de esta interferencia, pero sabiendo que, en su mayor parte, los cambios son irreversibles.

Emisiones provocadas por el hombre: efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático

Aquí se presentarán los principales elementos climáticos directamente más relacionados con el efecto invernadero. La climatología, o ciencia del clima, estudia las condiciones a largo plazo de la atmósfera (mientras que la meteorología estudia estas condiciones a diario, con un enfoque en el pronóstico del tiempo). El factor más elemental e importante en la ciencia del clima es probablemente la radiación solar. Otros elementos incluyen masas de aire, sistemas de presión, corrientes oceánicas y topografía [4].

La radiación solar se considera el factor más importante, ya que se encarga de calentar la superficie terrestre y la atmósfera, determinando su temperatura ambiente. Aproximadamente la mitad de los rayos del sol que llegan a la Tierra (radiación ultravioleta) son absorbidos por la superficie (continentes y océanos) y se convierten en calor (radiación infrarroja). En cuanto a la otra mitad, una parte se refleja en el espacio (29%) y la otra parte es absorbida por la atmósfera, principalmente por vapor de agua, polvo y partículas de ozono - Figura 1.2.

El famoso CO₂ (gas carbónico o dióxido de carbono) siempre ha existido en la atmósfera, en cantidades relativamente pequeñas, “solamente” cerca del 0,04%, lo que corresponde a aproximadamente una décima parte del medio por ciento del total.



Fuente: [5]

Este gas tiene la propiedad de absorber la radiación terrestre que se reflejaría al espacio (radiación infrarroja), no dejándola escapar. Aunque el vapor de agua tiene esta misma propiedad, el CO_2 , al ser mucho menos denso, se encuentra en la atmósfera superior, considerada la parte más importante para controlar la radiación reflejada en el espacio.

Así, aumentar la cantidad de CO_2 en la atmósfera evita que la radiación se escape al espacio, lo que aumenta la energía total absorbida por el sistema terrestre, aumentando su temperatura. Esto se llama efecto invernadero [6], que es lo mismo que el de los invernaderos de plantas cubiertos de vidrio. La radiación solar (ultravioleta) atraviesa el vidrio, pero el calor (radiación infrarroja) queda atrapado.

BOX 1.1 > Cielo nublado, más cálido aquí abajo

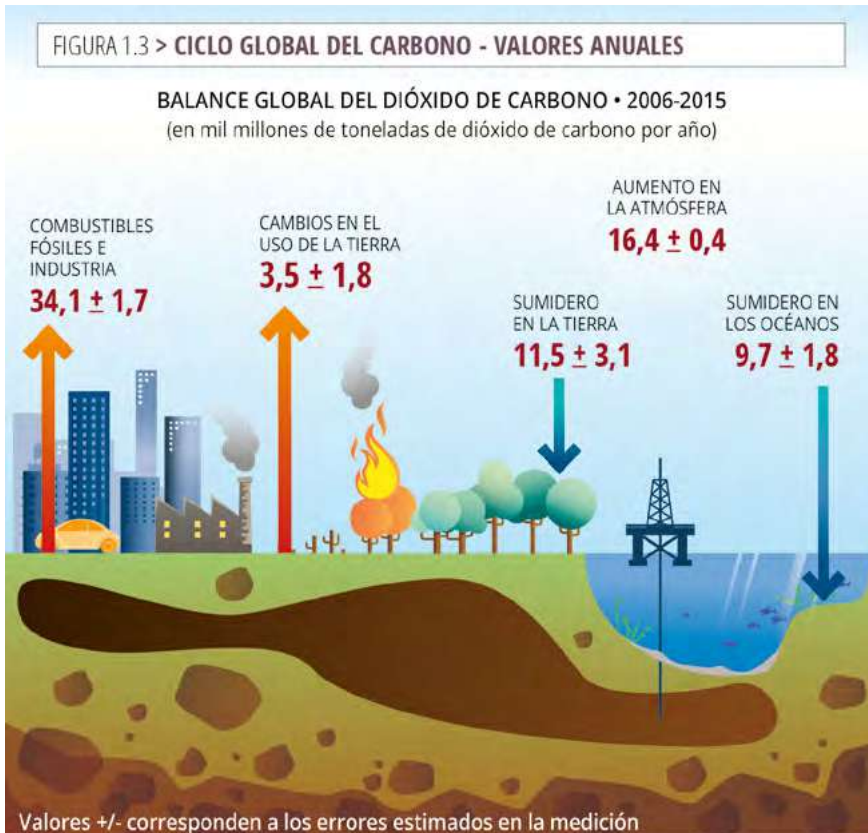
¿Alguna vez has notado que los desiertos pueden ser más fríos por la noche que los bosques, incluso si sus temperaturas promedio son las mismas? Sin mucho vapor de agua en la atmósfera sobre los desiertos, la radiación que emiten escapa rápidamente al espacio. En las regiones más húmedas, la radiación de la superficie es atrapada por el vapor de agua en el aire. Asimismo, las noches nubladas tienden a ser más cálidas que las despejadas porque hay más vapor de agua presente.

Fuente: [6]

Entonces la primera pregunta es: ¿cómo el CO_2 se emite eventualmente a la atmósfera? Para entender esto, volvamos a nuestras clases de educación secundaria, cuando aprendimos sobre el ciclo del carbono, es decir, el intercambio de carbono en sí entre sus diversos repositorios. Lo que más nos interesa aquí es el intercambio entre la Tierra y la atmósfera. La mayoría de los flujos de carbono entre ellos se debe a factores naturales. Sin embargo, las actividades humanas han ayudado e interferido en este proceso, especialmente desde la Revolución Industrial.

La Figura 1.3 muestra que el mayor flujo de carbono se produce entre los océanos y la atmósfera. Aunque también emiten CO_2 , los océanos absorben más de lo que emiten a la atmósfera, y por eso se consideran sumideros de CO_2 , ayudando a disminuir su concentración en la atmósfera y así reducir el calentamiento global. Cada año, los océanos absorben alrededor de $9,7 \text{ Gt}^1$ de CO_2 , menos sus emisiones. El otro sumidero son las plantas y los suelos, que absorben $11,5 \text{ Gt}$, en gran parte debido a la fotosíntesis.

¹ **Gt** se lee **Giga-toneladas**, que corresponden a 1 mil millones de toneladas.



Fuente: [7]

Junto a las emisiones de CO₂ a la atmósfera, las dos fuentes principales son: la quema de combustibles fósiles (principalmente petróleo y carbón mineral) que alcanzan los 34,1 Gt anuales y la deforestación, responsable de unos 3,5 Gt. El balance entre la cantidad de CO₂ absorbido por la Tierra y las emisiones provocadas por las actividades humanas, es decir, las emisiones netas, es actualmente de alrededor de 19,3 Gt por año. Si el CO₂ se disolviera rápidamente, no se acumularía en la atmósfera. Sin embargo, lleva mucho tiempo en disolverse, y aproximadamente el 70% persiste allí durante entre 20 y 200 años, lo que luego conduce a la acumulación de concentración de CO₂ en la atmósfera.

Aumento de las emisiones humanas y las concentraciones de CO₂ en la atmósfera

Debido a que las emisiones de carbono solo comenzaron con la quema de carbón que tuvo lugar en la Revolución Industrial (1750), esta se considera la “zona cero” del problema. En ese momento, la concentración de CO₂ en la atmósfera era de 280 partes por millón (ppm). Actualmente, esta concentración en la atmósfera aumenta a un promedio de 2,2 ppm a cada año. Si desde el inicio de la Revolución Industrial emitiéramos la misma cantidad que hoy, la concentración sería de 874 ppm, ¡lo que implicaría un aumento de la temperatura media de la Tierra de 5°C!

La Figura 1.4 muestra la evolución de la concentración de CO₂ en la atmósfera durante los últimos 800 mil años. Los científicos conocen estas concentraciones pasadas basándose en el análisis de antiguas burbujas de aire que quedaron atrapadas en las enormes capas de hielo de la Antártida. Las concentraciones durante este enorme período de tiempo, como se muestra en la Figura 1.4, nunca salieron del rango entre 170 y 300 ppm. La primera vez en la historia de la humanidad que la concentración excedió las 300 ppm fue en 1912. En 2016, las concentraciones alcanzaron las 400 ppm [8]. La Figura 1.4 es probablemente la imagen más contundente del problema del calentamiento global.

Hasta el inicio del siglo pasado, y quizás hasta el final de la Segunda Guerra Mundial, las emisiones no eran tan significativas. Comenzaron a llegar a un ritmo creciente y acelerado desde aproximadamente 1950 en adelante (ver Figura 1.5). Los dos factores inmediatos responsables de este aumento fueron el crecimiento de la población (de 2.500 millones de personas en 1950 a 7.800 millones en 2020) y el crecimiento de la economía mundial, que ya pasó de US\$ 5,3 billones en 1950 [10] a US\$ 88,6 billones en 2018 [11]. Tenga en cuenta que la población se multiplicó por 3, mientras que la economía creció casi 17 veces en el mismo período. Gran parte de este crecimiento se debió a la industrialización, la expansión

FIGURA 1.4 > CONCENTRACIÓN DE CO₂ EN LA ATMÓSFERA EN LOS ÚLTIMOS 800 MIL AÑOS



Fuente:[9]

FIGURA 1.5 > EMISIONES Y CONCENTRACIONES DE CO₂

EMISIONES POR LA QUEMA DE COMBUSTIBLES FÓSILES



Fuente: [12]

CONCENTRACIONES DE CO₂ EN LA ATMÓSFERA



Fuente: [13]



urbana, el transporte, la calefacción de hogares y edificios en regiones frías, todo impulsado por energía barata de petróleo y carbón. La Figura 1.5 también muestra el aumento de las concentraciones de CO₂ en la atmósfera durante el mismo período de tiempo, que corresponde a la parte más reciente de la Figura 1.4, que muestra la relación directa entre las emisiones y las concentraciones.

Relación entre la concentración de CO₂ y el aumento de la temperatura de la Tierra

A medida que aumentaban las emisiones de CO₂ causadas por las actividades humanas y las concentraciones de CO₂ en la atmósfera, ¿qué sucedió exactamente con la temperatura de la Tierra y sus impactos en los cambios de los patrones meteorológicos?

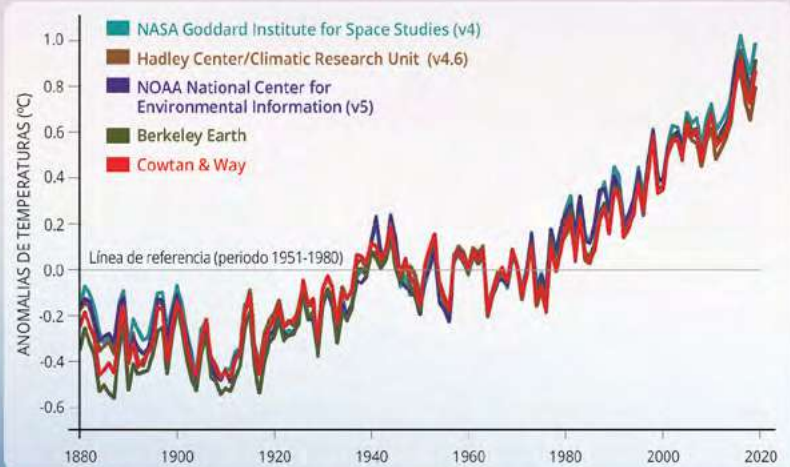
Para obtener una imagen completa de la temperatura de la Tierra, los científicos combinan mediciones del aire sobre los continentes y la superficie del océano, recopiladas por varias estaciones meteorológicas y satélites. La temperatura en cada estación se compara a diario con lo que se considera “normal” para ese lugar y ese momento, por lo general, en un promedio de los últimos 30 años. Las diferencias, llamadas “anomalías”, ayudan a los científicos a evaluar cómo ha cambiado la temperatura con el tiempo.

Una anomalía ‘positiva’ significa que la temperatura es más cálida que el promedio anterior, mientras que una anomalía ‘negativa’ significa que la temperatura es más fría [14].

La Figura 1.6 ilustra las anomalías de temperatura observadas desde 1880, con base en el promedio del período 1951-1980. Muestra el cambio en la temperatura de la superficie global a partir de este período base. Diecinueve de los 20 años más calurosos ocurrieron después de 2001, con la excepción de 1998. El año 2016 es el año más cálido jamás registrado en la historia [15].

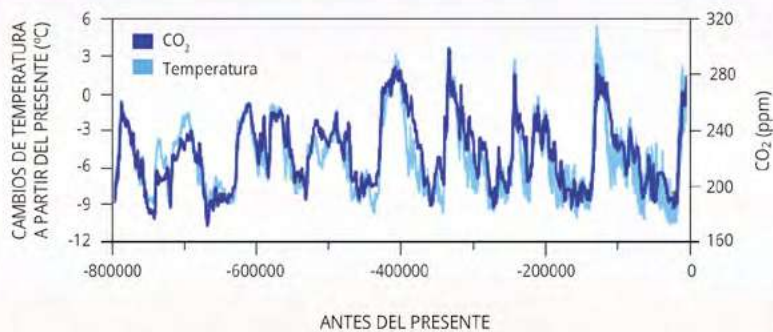
Hasta ahora hemos visto aumentos en las emisiones antrópicas (causadas por el hombre) de CO₂, aumentos en sus concentraciones en la atmósfera y luego aumentos en la temperatura promedio de la Tierra. La pregunta natural que se coloca es: si este aumento de temperatura fue realmente causado por el aumento de las concentraciones de CO₂ en la atmósfera. Cuando miramos estas dos variables al mismo tiempo – la temperatura de la Tierra y la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera – la correlación es clara, como se muestra en la Figura 1.7. Cuando aumenta la concentración de dióxido de carbono, aumenta la temperatura; cuando la concentración de dióxido de carbono desciende, la temperatura baja. ¡Y esto ha estado sucediendo durante más de 800.000 años!

FIGURA 1.6 > ANOMALIAS DE TEMPERATURAS EN LA SUPERFICIE DE LA TIERRA RELATIVA A 1951-1980



Fuente: [15]

FIGURA 1.7 > CONCENTRACIÓN DE CO₂ EN LA ATMÓSFERA Y CAMBIOS DE TEMPERATURA EN LA TIERRA



Fuente: [17]

Aunque las dos curvas siguen trayectorias muy similares, determinar la relación causa-efecto entre ellas es complejo. También intervienen otros factores, como la cantidad de vapor de agua, la vegetación alterada, las características de la superficie terrestre y la extensión de la capa de hielo [16] [17]. Al analizar períodos de tiempo más cortos, no parece haber una relación causa-efecto entre la concentración de CO_2 y la temperatura en la Tierra. De una forma u otra, la correlación sigue siendo válida para los períodos de análisis que conciernen al cambio climático y, siguiendo el consenso científico, la relación entre ambos es inequívoca.

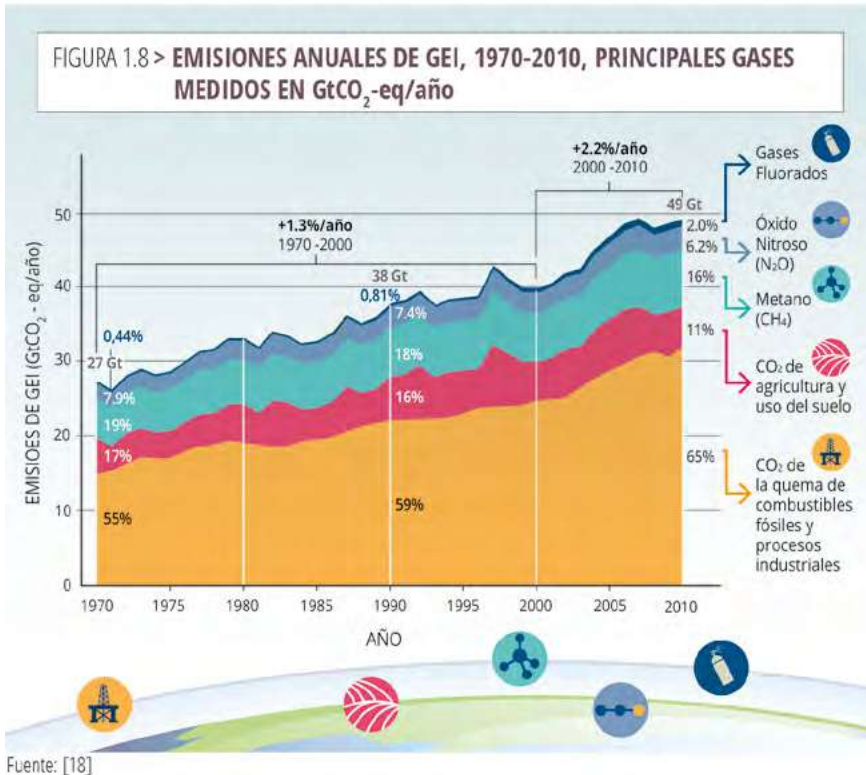
Otros gases de efecto invernadero (GEI)

El CO_2 no es el único gas que causa el efecto invernadero. Otros gases tienen un efecto aún más fuerte. Los principales son el metano (CH_4), el óxido nitroso (N_2O) y los gases fluorados (que contienen flúor), siendo los clorofluorocarbonos (CFCs) los más conocidos. La importancia de cada uno de estos gases para el efecto invernadero depende de su concentración, su tiempo de residencia en la atmósfera y su potencial de efecto invernadero (GWP, de la sigla en inglés: *Global Warming Potential*). La sigla GEI se utiliza para gases de efecto invernadero.

Para facilitar el análisis del efecto invernadero, el GWP de estos otros gases se “convierte” en términos de CO_2 , el llamado CO_2 equivalente (CO_2 -eq). Los tres factores anteriores se combinan en una fórmula simple que permite expresar el efecto de cada gas en términos de CO_2 equivalente. El GWP de los tres gases es mucho mayor que el del CO_2 : el del metano es 21 veces mayor (es decir, el efecto de 1 tonelada de metano en la atmósfera es igual al de 21 toneladas de CO_2). Asimismo, el GWP del N_2O es de 310, mientras que el de los gases fluorados está entre 140 y 23,900 (suponiendo el mismo tiempo de permanencia en la atmósfera que el CO_2) [18].

Sin embargo, la concentración de CO_2 es muy superior a la de otros gases y, en definitiva, es sin duda el CO_2 el principal responsable del efecto invernadero. Es por este motivo que la discusión sobre el calentamiento global se expresa en términos de CO_2 o, resumidamente, en términos de carbono. Como en gran parte de la literatura, los términos carbono y CO_2 se utilizarán indistintamente a lo largo de este libro.

La Figura 1.8 muestra la evolución de las concentraciones de los tres principales GEI, observando que las concentraciones de CO_2 se miden en partes por millón (ppm), mientras que las otras dos se miden en partes por mil millones (ppb): la concentración de otros gases en la atmósfera es más de mil veces menor que la del CO_2 .



Calentamiento global que conduce al cambio climático

Existe cierta confusión entre qué son las emisiones de CO₂, qué son las concentraciones de CO₂ en la atmósfera, qué es el efecto invernadero y el calentamiento global y, finalmente, qué son los cambios climáticos. A menudo, estos conceptos se confunden, ya que todos están vinculados en una cadena secuencial. La Figura 1.9 muestra cada uno de ellos y sus conexiones y dependencias, incluyendo también las actividades humanas que provocan el calentamiento global.

La forma en que se han desarrollado las sociedades en la Tierra está asociada, en diferentes grados y según el tipo de sociedad en la que vivamos, con un conjunto de actividades económicas, que van desde la más fundamental producción de alimentos (agricultura) hasta la construcción de ciudades, el transporte dentro y fuera de ellas, las industrias, todo tipo de comercio, etc. Todas estas actividades están intrínsecamente relacionadas al consumo de energía y, por lo tanto, a la emisión de gases de efecto invernadero (GEI). Estas emisiones acumulan CO₂ en la atmósfera, provocando el efecto invernadero y el cambio climático en la tierra.

FIGURA 1.9 > **ENCADENAMIENTO DE LAS ACTIVIDADES ECONÓMICAS – CALENTAMIENTO GLOBAL – CAMBIOS DE CLIMA**



Fuente: Elaboración propia

Los impactos del cambio climático en el planeta y las actividades económicas se analizan en el capítulo 2. Las proyecciones sobre el clima futuro y los riesgos a largo plazo a los que estamos sujetos se abordan en el capítulo 3. Las causas y posibles culpables del problema, incluido el papel de Brasil, se tratan en el capítulo 4. Las formas en que podemos reducir las emisiones, cómo frenar la intensidad de nuestras actividades económicas y buscar tecnologías limpias, son temas que se tratan en Capítulo 5. La inevitable necesidad que tendrán que afrontar todos los países y personas para adaptarse al cambio climático, que nos afectará en mayor o menor medida, es discutido en el capítulo 6. Finalmente, el proceso político de los países que se reúnen para pensar y negociar las formas más racionales, justas y económicas de abordar el calentamiento global se trata en el capítulo 7.

Entre las relaciones que se muestran en la Figura 1.9, todavía es necesario discutir sobre cómo el calentamiento global conduce al cambio climático y qué se entiende exactamente por “cambio climático”. El IPCC (ver Box 1.2 a continuación) define “clima” como la descripción estadística, en términos de promedio y variabilidad, de variables relevantes, como temperatura, precipitación y viento, durante un período que va desde meses hasta miles o millones de años, siendo el período clásico de 30 años, según la Organización Meteorológica Mundial. El clima en un sentido más amplio es el estado del sistema climático [19].

BOX 1.2 > **EI IPCC**

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático - el famoso IPCC (de la sigla en inglés: *International Panel on Climate Change*) fue creado en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, con el objetivo de proporcionar información científica a los gobiernos para que la utilicen en el desarrollo de políticas climáticas. Los informes del IPCC son una contribución fundamental a las negociaciones internacionales sobre cambio climático, sirviendo como referencia para el conocimiento global sobre el tema.

El IPCC proporciona evaluaciones periódicas de la base científica del cambio climático, sus impactos y riesgos futuros, y las opciones de adaptación y mitigación. Prepara informes de evaluación completos con determinada frecuencia, sobre el conocimiento del cambio climático. El IPCC se encuentra ahora en su sexto ciclo de evaluación, produciendo el Sexto Informe de Evaluación (IE6) con aportes de sus tres Grupos de Trabajo, cuya publicación final está programada para 2022. El informe sobre la ciencia física del problema se acaba de publicar en 2021. El último informe AR5 ([21]) se publicó en 2014.

Para los informes de evaluación, los científicos del IPCC revisan miles de artículos científicos publicados cada año para proporcionar un resumen completo de lo que se sabe sobre los motores del cambio climático, sus impactos y riesgos futuros, y cómo la adaptación y la mitigación pueden reducir estos riesgos. Una revisión abierta y transparente por parte de expertos y gobiernos de todo el mundo es una parte esencial del proceso del IPCC, ya que garantiza una evaluación objetiva y completa capaz de reflejar una amplia gama de puntos de vista y conocimientos.

Fuente: [20]

Por último, es importante llamar la atención sobre una percepción muy errónea sobre el calentamiento global y el cambio climático. Su característica más llamativa no es el aumento paulatino de la temperatura tal y como la percibimos a diario, ya que la diferencia cada año es imperceptible.

Las características más marcantes son las variaciones ascendentes y descendentes de la temperatura y un aumento de los fenómenos meteorológicos extremos: lluvias intensas, olas de calor, sequías prolongadas, eventos fuera de temporada, etc. En ese sentido, el hecho de que algunos inviernos alcancen temperaturas récord es totalmente compatible con el cambio climático. Los cambios climáticos son cualquier cambio en los patrones de estas variables en relación con lo que se observa a lo largo del tiempo: las anomalías. La Figura 1.6 en la página 18 ilustra anomalías de temperatura en la Tierra. También existen anomalías en las precipitaciones, vientos y otras variables que definen el clima.



Oso polar tras una
cacería fallida



EVIDENCIA DE CAMBIO CLIMÁTICO E IMPACTOS ESPERADOS

Cambios observados en el clima y la contribución humana

Como se menciona en el Box 1.2, el IPCC es la gran referencia mundial en cambio climático, y los datos que publica, además de temas de actualización, son considerados los más confiables y aceptados a nivel mundial. Estos datos se utilizarán como fuente principal para evidenciar los cambios ya observados en ciertos patrones climáticos.

Según el Quinto Informe de Evaluación del IPCC (AR5, de la sigla en inglés) [1], mencionado en el BOX 1.2, “...es extremadamente probable (por encima del 95% de probabilidad) que más de la mitad del aumento observado en la temperatura media de la superficie de la Tierra durante el período 1951 a 2010, haya sido causado por el aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) y otros ‘factores’ causados por el hombre”.

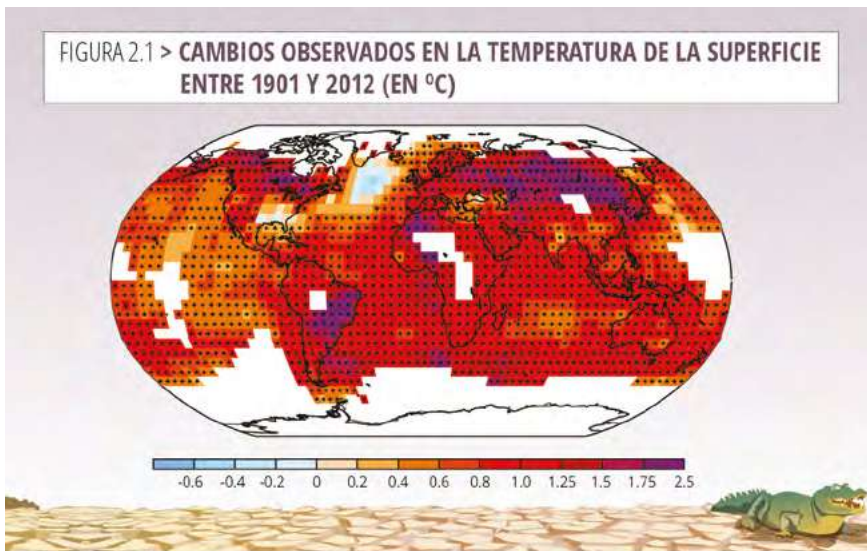
Según el mismo informe, el 97% de los científicos del clima están de acuerdo en que las tendencias de calentamiento climático durante el siglo pasado se han originado a partir de actividades humanas. A su vez, la mayoría de las principales organizaciones científicas del mundo han emitido declaraciones públicas respaldando esta posición. A continuación, se describen las anomalías y cambios en las principales variables climáticas.

• TEMPERATURA

En la Figura 1.6 del Capítulo 1, se presentaron datos que muestran las anomalías de temperatura observadas desde el final del siglo 19. La temperatura media global de la superficie terrestre y los océanos ha aumentado

aproximadamente $0,9^{\circ}\text{C}$ desde entonces. La Figura 2.1 a continuación muestra estas anomalías distribuidas por todo el planeta. Se observa que Brasil tuvo un fuerte aumento de temperatura, probablemente causado por factores no relacionados con el efecto invernadero, como la deforestación y la urbanización.

La mayor parte del calentamiento global ha tenido lugar en los últimos 35 años. Según datos de la NASA [2], los seis años más calurosos registrados en la historia fueron precisamente los últimos seis años, de 2014 a 2019 (Figura 2.2). El 2016 no solo fue el año más caluroso registrado, sino que 8 de sus 12 meses fueron los más calurosos registrados históricamente en cada uno. En 2019, también se alcanzaron una serie de récords meteorológicos históricos [3].



Fuente: [1]

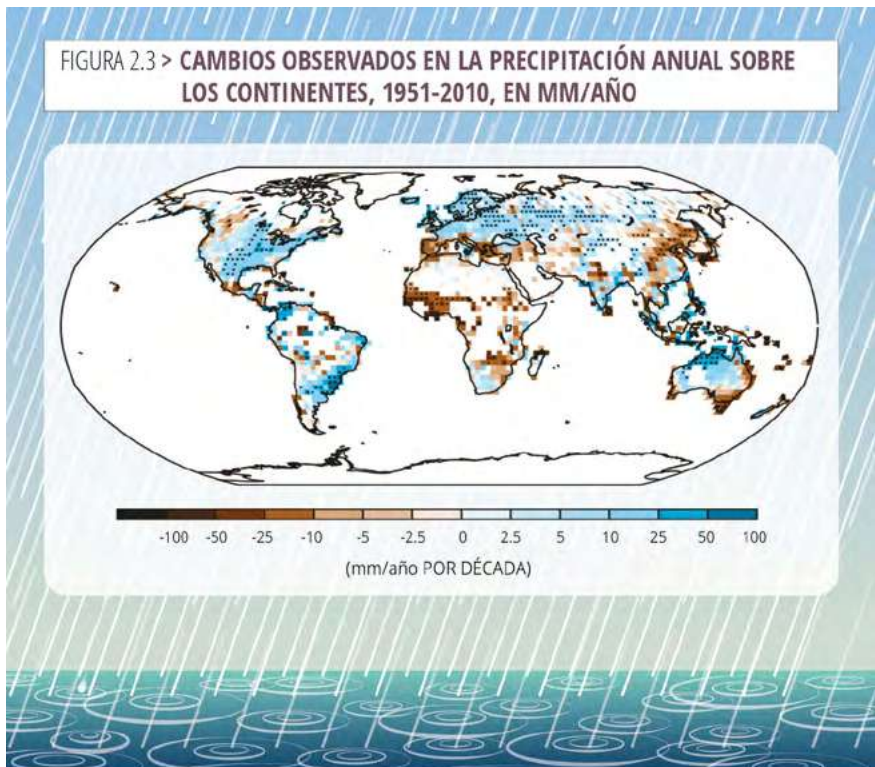


Fuente: [2]

• PRECIPITACIÓN

Los cambios en la precipitación son más difíciles de predecir mediante modelos climáticos que la temperatura, especialmente porque la precipitación depende de la temperatura. Existen numerosas regiones del planeta donde los modelos divergen sobre si habrá más o menos lluvia y nieve en el futuro. Sin embargo, hay otras regiones, como el Mediterráneo y el sur de África, donde casi todo el mundo sugiere que las precipitaciones disminuirán. Por otro lado, se esperan aumentos en las precipitaciones en áreas de alta latitud (cerca de los polos), así como en gran parte del sur de Asia [4.] y [5].

Las observaciones muestran que, de hecho, se están produciendo cambios en la cantidad, intensidad, frecuencia y tipo de lluvia. Se han observado cambios pronunciados en la cantidad de precipitación durante el período de 1900 a 2005 (Figura 2.3) en el este de América del Norte y del Sur, el norte de Europa y el norte y centro de Asia. Precipitaciones menores en el Sahara, el sur de África, el mar Mediterráneo y el sur de Asia. Más precipitaciones ahora caen en forma de lluvia en lugar de nieve en las regiones del norte. También hay aumentos generalizados en los eventos de precipitación intensa, incluso en lugares donde la cantidad total de lluvia ha disminuido.

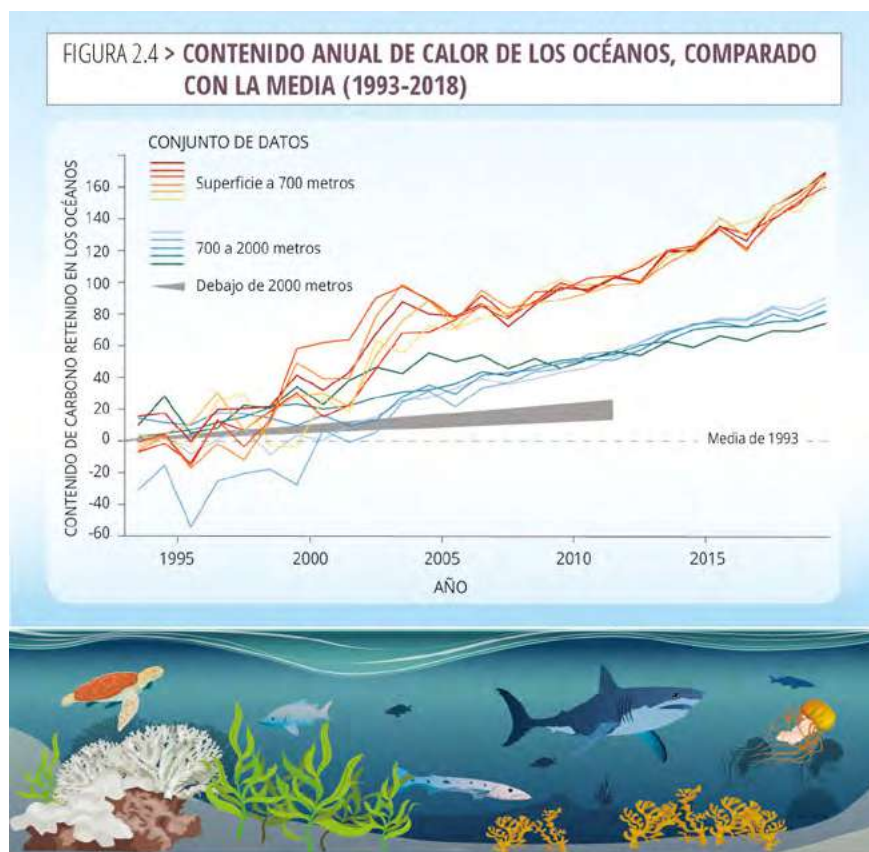


Fuente: [1]

• TEMPERATURA Y ACIDIFICACIÓN DEL OCÉANO

El agua, que cubre más del 70% de la superficie de nuestro planeta, absorbe grandes cantidades de calor sin que su temperatura suba demasiado. El océano es el mayor colector de energía solar de la Tierra y absorbe más del 90% de la energía incidente. Esta tremenda capacidad de almacenar y liberar calor durante largos períodos de tiempo otorga a los océanos un papel central en la estabilización del sistema climático de la Tierra.

La intensificación del efecto invernadero, que evita que el calor irradiado desde la Tierra se escape al espacio tan libremente como antes, hace que la mayor parte del exceso de calor atmosférico regrese a los océanos. En una escala global, el calentamiento de los océanos es mayor cerca de la superficie, y los 75 metros superiores se calentaron $0,11^{\circ}\text{C}$ por década durante el período de 1971 a 2010. La Figura 2.4 muestra la evolución del contenido de calor anual de los océanos en comparación con el promedio del período 1993-2018, según la profundidad del agua (curvas de diferentes colores) [6].



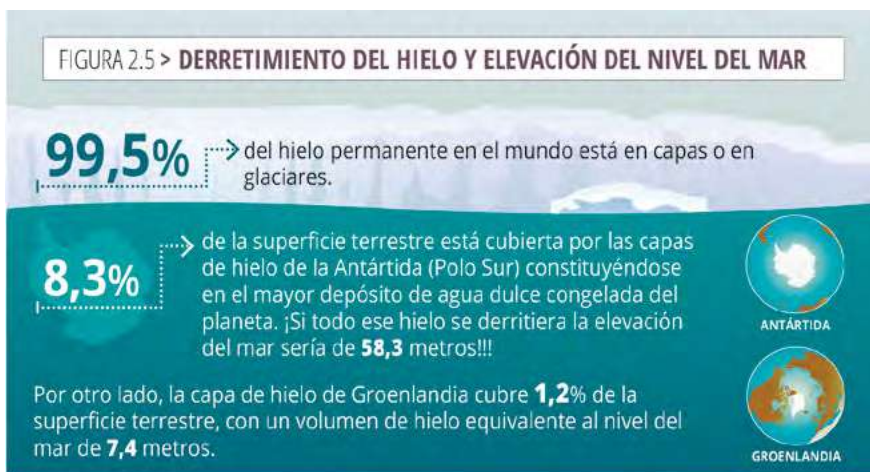
Fuente: [6]

Además de la temperatura, existe un intenso flujo de carbono entre la atmósfera y el océano, como se muestra en la Figura 1.3 del capítulo anterior. Desde el comienzo de la era industrial, la absorción de CO_2 por los océanos los ha vuelto más ácidos. El pH del agua superficial ya ha aumentado su acidez en casi un 30% [7]. Esta acidificación, junto con el aumento de temperatura, ya está impactando a muchas especies oceánicas, especialmente organismos como moluscos y corales que crean conchas duras y esqueletos carbonosos como forma de hábitat. La acidificación limita el desarrollo de organismos dependientes de este material, haciéndolos más susceptibles a la disolución. Además de los corales, el calentamiento de los océanos también daña las comunidades de vida marina que dependen de estos corales para refugiarse y alimentarse.

• EXTENSIÓN DE HIELO EN LOS MARES, POLOS, MONTAÑAS Y SUBIDA MEDIA DEL NIVEL DEL MAR

El aumento de la temperatura de la Tierra, que también incluye la de los océanos, hace que todas las partes del planeta, cubiertas de hielo o nieve, de forma temporal o permanente, se calienten y se derrita. Sabiendo que el agua derretida de todo el hielo de la Tierra eventualmente terminará en los océanos, la pregunta interesante es si hay tanto hielo en el planeta capaz de elevar el nivel del mar de manera preocupante.

La respuesta a esa pregunta, lamentablemente, es un rotundo sí. La cantidad de hielo derretido necesaria para elevar el nivel medio del mar en 1 milímetro se estima en 362 mil millones de toneladas [8]. ¡La cantidad de hielo que se derrite anualmente, en los principales depósitos de hielo del planeta, es mucho mayor que eso!



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 2.6 > DERRETIMIENTO DEL HIELO Y ELEVACIÓN DEL NIVEL DEL MAR (cont.)

FOTO 1 > GLACIARES Y ELEVACIÓN DEL NIVEL DEL MAR



Foto: Agustín Lautaro [1]

EN GROENLANDIA Y EN LA ANTÁRTIDA:

Hay un continente sobre el que el hielo se acumula.

Su masa de hielo ha disminuido a cada año:

- Groenlandia - pérdida media de **279 mil millones de toneladas.**

Antártida - pérdida media de **148 mil millones de toneladas.**

Apenas en esos dos sitios, las pérdidas han causado una elevación del nivel medio del mar de cerca de 1,2 milímetros por año [10], [11] y [12].



MAR ÁRTICO -

Envuelve el Polo Norte: No existe un continente sólido por debajo, su hielo es totalmente flotante.



Como en un vaso de agua con hielo que no se transborda cuando se derrite, el hielo del Mar Ártico no causa el aumento del nivel del mar cuando se derrite [9].

La extensión del hielo del Mar Ártico ha disminuido desde 1979 a un porcentaje promedio de **3,5 a 4%** a cada década.



Fuente: [9] e elaboración propia

Finalmente, cabe mencionar que, a pesar de los mayores volúmenes de hielo en la Antártida, no es de allí de donde proviene la mayor contribución al aumento del nivel del mar. Eso es porque el calentamiento global ha sido más intenso en el hemisferio norte, por lo que el derretimiento de Groenlandia es más importante que el de la Antártida.

Aun así, la principal causa del aumento del nivel medio del mar ha sido la expansión térmica de los océanos. Hay que recordar que el agua se expande cuando se calienta (ver una tetera con agua hirviendo), esto hace que el aumento de la temperatura del agua eleve el nivel del mar. A medida que la Tierra se calienta, el volumen de agua se expande y, en consecuencia, aumenta el nivel del mar, como se muestra en la Figura 2.9.

FIGURA 2.7 > PÉRDIDA ANUAL DE LA MASA DE HIELO DE GROENLANDIA, 2002-2016

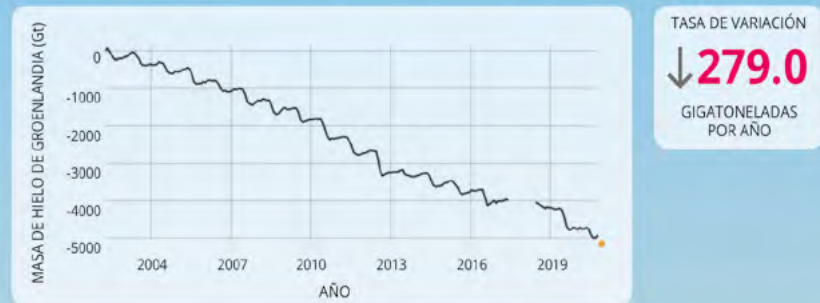


FIGURA 2.8 > PÉRDIDA ACUMULADA DE LA MASA DE HIELO DE LA ANTÁRTIDA, 1992-2017

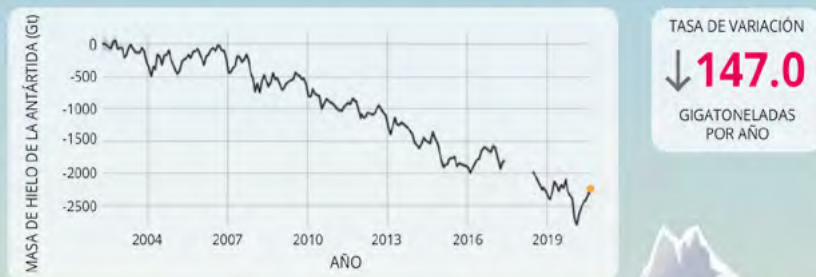
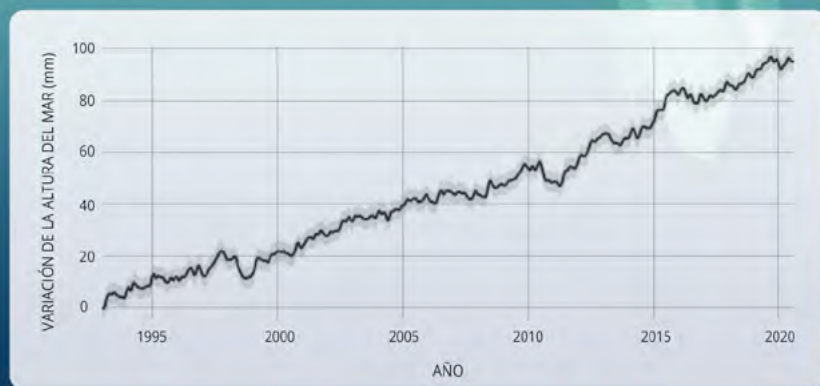


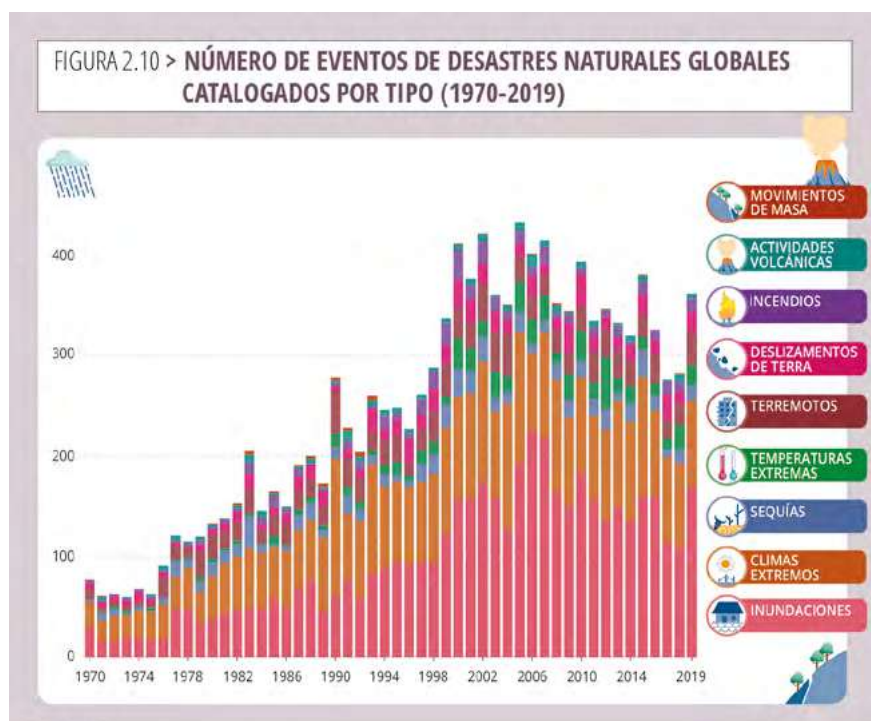
FIGURA 2.9 > VARIACIÓN DEL NIVEL MEDIO DEL MAR, 1993-2019 (EM MILIMETROS)



• EVENTOS EXTREMOS

Todas las variables climáticas presentan un comportamiento estadístico, asumiendo valores a veces cercanos, a veces lejanos del promedio. Cuando un clima o un evento meteorológico se desvía demasiado del promedio y alcanza un valor cercano a los extremos, se produce un evento extremo. Muchos extremos climáticos y meteorológicos, como sequías e inundaciones, son el resultado de variaciones climáticas naturales (incluyendo fenómenos como El Niño), pero también han recibido una ayuda del hombre, que interfiere a través de un aumento en la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera [14].

Numerosos estudios analizan el aumento de la ocurrencia de eventos extremos, como consecuencia del calentamiento global y el cambio climático. Las personas mayores de todo el mundo se dan cuenta de que los eventos extremos han ocurrido con mayor frecuencia y en momentos inusuales. Esta percepción está confirmada por los hechos. La Figura 2.10 muestra la evolución del número de desastres naturales durante los últimos 50 años. A pesar de incluir terremotos y erupciones volcánicas, la participación de estos eventos no climáticos es muy pequeña, con casi el 90% del aumento observado en el número de desastres derivados de eventos climáticos y meteorológicos.



Fuente: [15]

El impacto de estos eventos es siempre más dramático en los países pobres, donde no existe una infraestructura adecuada y una buena parte de la población vive en zonas vulnerables. El mismo huracán o el mismo aumento del nivel del mar que golpea a un país pobre, como Bangladesh, y uno rico, como Holanda (ambos países tienen altitudes muy por debajo del nivel medio del mar) tendrá un impacto mucho mayor en Bangladesh. En este caso, se considera que Holanda tiene una mayor resiliencia que Bangladesh, que se analizará en el capítulo 6.

FOTOS 2 > RESILIENCIA E IMPACTO EN 2 PAÍSES BAJOS: HOLANDA Y BANGLADESH

Barreras de Oosterscheldekering, la mayor de 13 diques contra resacas e inundaciones del Mar del Norte, Holanda.



Foto: Rens Jacobs [F2.A]



Inundaciones en Bangladesh, 2019.

Foto: Mohammad Rakibul Hasan [F2.B]

Impactos provocados por el nuevo clima y eventos extremos

Los cambios en las principales variables climáticas implican impactos en todas las actividades humanas, resultando, en conformidad con su intensidad, en pérdida de vidas, en impactos en la salud, en la producción agrícola y los ecosistemas, en daños a edificios e infraestructura, además de una serie de otros problemas.

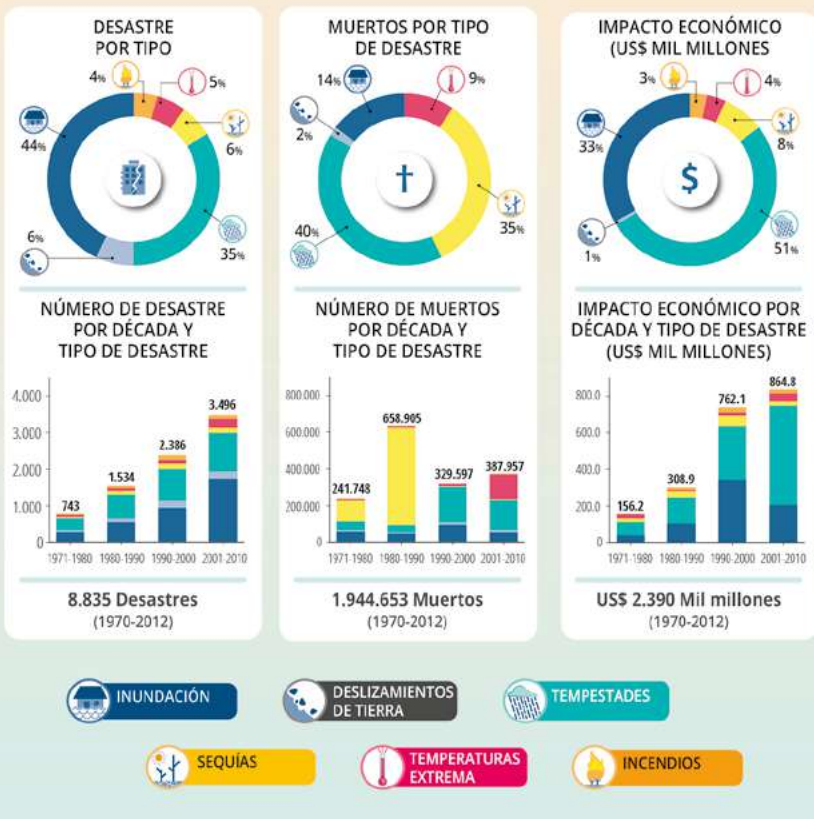
Estos diferentes tipos de impactos generalmente no se notan en nuestra vida diaria. El aumento de la temperatura promedio del planeta en sí mismo no es probable que se sienta, cuando se analiza desde la perspectiva de una temperatura promedio global. El derretimiento de los glaciares, el aumento del nivel medio del mar, el cambio en el pH de los océanos, los cambios en los patrones de lluvia y varios otros fenómenos apenas se perciben directamente. Estos cambios, aunque pequeños y lentos, además de ser irreversibles en un período relativamente corto, en el resultado acumulado, marcan una diferencia enorme. Son estos eventos extremos los que nos dan las señales más claras de cambio.

• EVENTOS EXTREMOS

Los datos de la Organización Meteorológica Mundial indican que, “entre 1970 y 2012, se reportaron 8.835 desastres climáticos, meteorológicos y de agua en todo el mundo. Juntos causaron la pérdida de 1.9 millones de vidas y pérdidas económicas de USD\$2.4 mil millones. El setenta y nueve por ciento de ellos se debieron al clima. Las sequías causaron el 35 por ciento de las muertes, principalmente en los eventos severos que ocurrieron en África en 1975, 1983 y 1984. Los peores desastres en términos de pérdida de vidas ocurrieron en los países menos desarrollados” [16] (ver Figura 2.11).

La mayoría de estos eventos y pérdidas asociadas ocurrieron en las últimas dos décadas. “Entre 1998 y 2017, los desastres climáticos y geofísicos resultaron en 1.3 millones de muertes y más de 4.4 mil millones de heridos, personas sin hogar o que necesitan asistencia de emergencia. El noventa y uno por ciento de estos desastres fueron causados por eventos climáticos extremos: inundaciones, tormentas, sequías, olas de calor y otros” [17]. Las pérdidas económicas resultantes de estos desastres pesaron mucho más en los países más pobres. Eran 1,4 mil millones de dólares en los países ricos, lo que representa “sólo” el 0,4% de su PIB, mientras que, en los países pobres, aunque el costo fue menor (US \$ 21 mil millones), representaron el 1,8% del PIB.

FIGURA 2.11 > DISTRIBUCIÓN DE DESASTRES REPORTADOS POR TIPO, DÉCADA, PÉRDIDAS ECONÓMICAS Y MUERTES (1970-2012)



Fuente: [16]

BOX 2.1 > Eventos extremos en América Latina y el Caribe (LAC)

LAC es una de las regiones más expuestas al fenómeno del cambio climático y sus sociedades y ecosistemas son particularmente vulnerables. La región se ve afectada repetidamente por sequías, lluvias intensas, ciclones y por El Niño / La Niña, fenómenos climáticos globales causados por cambios cíclicos en la temperatura del agua del Océano Pacífico. Cada evento dura alrededor de 9 a 12 meses y ocurre a cada dos a siete años. Por lo general, El Niño y sus aguas cálidas están asociados con la sequía, mientras que La Niña está relacionada con un aumento de las inundaciones [18].

Continúa en la próxima página.

Continuación

Confirmando las predicciones de los modelos climáticos, América Central se ha vuelto significativamente más cálida y seca en las últimas décadas [19]. Las precipitaciones se redujeron en aproximadamente 1 mm por día entre 1950 y 2008 y las temperaturas aumentaron de 0,7 a 1,0°C desde 1970. América Latina y el Caribe (LAC) es la segunda región del país más propensa a desastres. Entre 2000 y 2019, 152 millones de personas se vieron afectadas por 1.205 desastres naturales, incluidas 548 inundaciones, 330 tormentas intensas y 74 sequías. Los informes del IPCC indican que la incidencia de estos eventos y su magnitud aumentará con el calentamiento global.

Inundaciones. Son el desastre más común de la región. Afectan a un gran número de personas tanto en zonas rurales como urbanas. Entre 2000 y 2019, más de 41 millones de personas se vieron afectadas por inundaciones en varios países de la región – Tabla 2.1. Los daños causados alcanzaron los US\$ 26.000 millones. Brasil se encuentra entre los 15 países del mundo con mayor población expuesta al riesgo de inundaciones fluviales. Desde 2000, doce inundaciones en la región han causado más de US\$ 1.000 millones de dólares en daños totales [18].

TABLA 2.1. > **PERSONAS AFECTADAS POR INUNDACIONES EN ALGUNOS PAÍSES DE LAC ENTRE 2000 Y 2019**

PAÍS	PERSONAS AFECTADAS	PAÍS	PERSONAS AFECTADAS
1. Colombia	10.108.000	6. Bolivia	2.960.000
2. Brasil	7.406.000	7. Argentina	1.440.000
3. Perú	4.484.000	8. Paraguay	1.198.000
4. México	3.456.000	9. Guatemala	1.035.000
5. Rep. Dominicana	2.995.000	10. Honduras	948.000

Fuente: [18]

Inundación de Tabasco 2007. Entre el 28 y el 30 de octubre de 2007, ocurrió una inundación como resultado de lluvias excesivas en los estados mexicanos de Tabasco y Chiapas. La escorrentía masiva provocó inundaciones que dejó hasta el 70% de la tierra plana de Tabasco bajo el agua. Más de 1 millón de habitantes se vieron afectados y al menos 20.000 personas se vieron obligadas a buscar refugio de emergencia [20].

Los deslizamientos de tierra están asociados con las tormentas y las inundaciones. “Desde el año 2000, LAC se ha visto afectada por 66 deslizamientos de tierra que han causado cerca de 3.000 muertes. En los

Continúa en la próxima página.

Continuación

últimos años, el deslizamiento de tierra en Guatemala en 2015, que causó 350 muertes, y en Colombia en 2017, que causó 349 muertes y afectó a más de 45.000 personas, se destacan como eventos de deslizamiento de tierra particularmente destructivos en la región” [18]. Antes de eso, en 1999, durante casi dos semanas en diciembre de 1999, “las lluvias excesivas en Venezuela causaron deslizamientos de tierra que enterraron pueblos y ciudades enteras. Los deslizamientos de tierra resultaron en un estimado de 10,000 a 30,000 muertes y más de 600,000 personas heridas y sin hogar, además de 190,000 evacuadas. El desastre también destruyó carreteras, sistemas de suministro de agua y devastó por completo siete aldeas de la región costera [21].

Brasil, que tiene mayor capacidad de defensa y respuesta, también ha sufrido eventos extremos, especialmente la sequía que azota la región noreste del país y durante décadas ha experimentado una intensa migración principalmente hacia la región sur / sureste (São Paulo y Rio de Janeiro). En cuanto a eventos extremos, el que más daño causó fue la lluvia en la región montañosa de Rio de Janeiro en 2011, la mayor tragedia climática en la historia del país, que dejó más de 900 muertos, casi 200 desaparecidos y alrededor de 35.000 personas sin hogar - Foto 3.

Sequías. La sequía es el desastre que más afecta a la población de la región. Desde 2001, esta región ha sufrido patrones erráticos debido a los cambios en el fenómeno El Niño-Sur. En el corredor más castigado, conocido como Corredor Seco, que incluye el centro y este de Guatemala, el sur de Honduras, el este de El Salvador y partes de Nicaragua, 8 de cada 10 hogares de las comunidades más afectadas recurren a mecanismos de emergencia para hacer frente a las crisis, aproximadamente 1,4 millones de personas.

“Las sequías se caracterizan por un período prolongado - una estación del año, un año o varios años - de clima excepcionalmente seco debido a la insuficiencia de lluvias. Las sequías dependen del contexto y tienen un comienzo lento, sin un comienzo ni un final claros. Las sequías han afectado al mayor número de personas de la región durante los últimos 20 años.

Las sequías pueden causar importantes problemas ambientales, de salud y socioeconómicos para las poblaciones afectadas, que incluyen: daños o pérdida de cultivos que afectan negativamente los medios de vida basados en la agricultura; agotamiento de las existencias de alimentos y desnutrición; escasez de agua potable y saneamiento básico; y migración forzada causada por una aguda inseguridad alimentaria y la falta de oportunidades económicas.

Continúa en la próxima página.

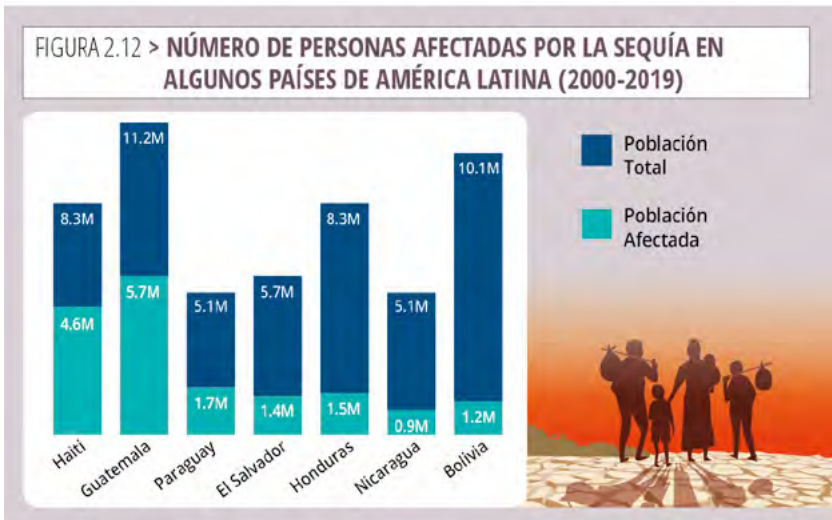
FOTO 3 > INUNDACIONES Y DESLIZAMIENTOS DE TIERRA EN TERESÓPOLIS, BRASIL, 2011

Foto: Ismar Ingber [F3]



Continuación

Aunque sea difícil evaluar con precisión su impacto, según los datos disponibles de CRED EM-DAT hasta el año 2000, la sequía en LAC ha causado 45 muertes, ha afectado a más de 53 millones de personas y ha causado más de US\$ 13.000 millones en daños totales. Existe un vínculo claro entre ciertos patrones climáticos y las condiciones de sequía en la región. El fenómeno de El Niño contribuye a la sequía en América del Sur (incluidas las zonas andinas de Ecuador, Perú y Bolivia, así como en el noreste de Brasil) y en Centroamérica ha causado graves sequías que provocaron una crisis prolongada en el Corredor Seco, específicamente en Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua” [18]. La Figura 2.12 muestra el número de personas afectadas por la sequía en la región.



Como resultado de las difíciles condiciones climáticas, aproximadamente el 8% de las familias de la región informan que planean migrar para mejorar su situación, con un aumento de la migración del 500% entre 2010 y 2015. Hacia 2050 se esperan hasta 4 millones de migrantes de América Central y de México, si no se realizan medidas de adaptación. Los migrantes suelen viajar a zonas urbanas cercanas y, en casos más extremos, al norte de México y la frontera de los Estados Unidos - [18], [19], [22] y [23]

Tormentas, vendavales y huracanes. La región experimentó un promedio de 17 huracanes por año y un total de 23 huracanes de categoría 5 entre 2000 y 2019. La temporada de huracanes de 2017 fue la tercera peor registrada en términos de número de desastres y países afectados, así como la

Continúa en la próxima página.

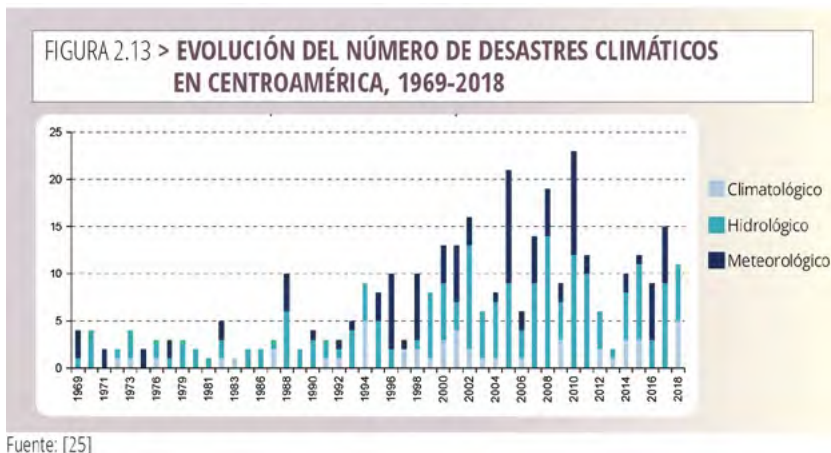
Continuación

magnitud de los daños. El huracán Dorian de 2019 fue el huracán atlántico más fuerte en impactar directamente una masa terrestre registrada.

Un estudio de la CEPAL [24] indica que en el período comprendido entre 1990 y 2008, los países del Caribe sufrieron 165 desastres naturales, de los cuales el 61% fueron eventos relacionados con vendavales: huracanes, inundaciones y tormentas tropicales. Haití, República Dominicana y Jamaica fueron los más afectados, habiendo experimentado 49, 34 y 21 desastres naturales, respectivamente.

El total de daños y pérdidas en la subregión del Caribe debido a desastres naturales en el período se estimó en US\$ 136.000 millones. Estos impactos se concentraron en el sector económico (US\$ 63.000 millones, o 46%), el sector social (US\$ 57.000 millones, o 42%), la infraestructura (US\$ 12.000 millones o 9%) y el medio ambiente (US\$ 4.000 millones, o 3%). Haití sufrió el mayor impacto total – estimado en 39% del impacto regional o aproximadamente US\$ 53.000 millones – seguido por Surinam, con un impacto total estimado en US\$ 51.000 millones. Los costos totales de la rehabilitación regional se han estimado en US\$ 1,3 billones, y la mayor parte de esos costos recaen en Haití.

En Centroamérica, según la Base de Datos Internacional de Desastres (EM-DAT), ocurrieron 288 eventos climáticos extremos en el período comprendido entre 1990 y 2018, lo que representa un aumento anual promedio del 3 por ciento con respecto a la década de 1970 (Figura 2.13). Los eventos más recurrentes fueron inundaciones, tormentas, deslizamientos de tierra y aluviones (95%), seguidos de sequías (9%). Los impactos económicos, ambientales y sociales de estos eventos fueron muy significativos.



Continúa en la próxima página.

Continuación

Algunos de los principales eventos climáticos extremos en Centroamérica y el Caribe

Huracán Dorian (Bahamas) 2019. En el ápice de su fuerza, Dorian, un huracán de categoría 5, trajo vientos de 290 km / hora y marejadas de hasta 7 metros en el noroeste de Bahamas. Durante su trayectoria, Dorian redujo la velocidad a un paso sobre las Gran Bahamas (51.000 habitantes), permaneciendo casi estacionario durante unas 36 horas. Ábaco, la isla más afectada, tuvo miles de viviendas destruidas, líneas eléctricas caídas y carreteras y pozos de agua dañados. Los residentes tenían una gran necesidad de agua, electricidad, saneamiento y refugio. Se reportaron un total de 84 muertes y los daños estimados excedieron los US\$ 5.000 millones.

Huracán Mitch (Honduras) 1998. Mitch es el segundo huracán del Atlántico con el mayor número de muertos de todos los tiempos: 11.000 muertes en Centroamérica (7.000 en Honduras y 3.800 en Nicaragua debido a inundaciones catastróficas debido al lento desplazamiento de la tormenta). Destruyó unas 35.000 viviendas y dañó otras 50.000, dejando a 1,5 millones de personas sin hogar. Las secuelas del huracán Mitch fueron un desastre económico masivo que, según el presidente de Honduras, hizo retroceder al país 50 años de desarrollo económico. Mitch causó directamente US\$ 2.000 millones en daños, con US\$ 1.800 millones adicionales en costos indirectos, que en ese momento representaban más del 50% del PIB del país [26].

Huracán María (Puerto Rico y República Dominicana) 2017. El huracán María de categoría 4 fue el huracán atlántico más destructivo desde el huracán Mitch. Las fuertes lluvias provocaron deslizamientos de tierra e inundaciones con niveles de agua de hasta casi 1 metro. En Puerto Rico se midieron vientos de categoría 5 y la intensidad del ciclón fue de 250 km / hora. El huracán destruyó por completo la red eléctrica de la isla, dejando al 95% de los 3,4 millones de habitantes de la isla sin electricidad. El número de muertos llegó a 3.000 personas y el costo de los impactos llegó a casi US\$ 100.000 millones. También se estima que alrededor de 100.000 personas hayan abandonado la isla rumbo al territorio continental de Estados Unidos. En República Dominicana, los impactos también fueron severos, pero menos. Sesenta y cuatro personas murieron en el país, aunque toda la población se vio afectada [27,28].

Huracanes y tormentas en Haití (2008). Durante septiembre de 2008, Haití fue azotado por cuatro huracanes y tormentas tropicales. Los cuatro

Continúa en la próxima página.

Continuación

desastres - Fay, Gustav, Hannah e Ike - resultaron en 800 muertos, 300 desaparecidos, más de 500 heridos, 150.000 personas sin hogar y millones de personas con difícil acceso a los alimentos, en riesgo de muerte. Los desastres inundaron ciudades y pueblos con barro, carreteras, puentes, cultivos y fábricas fueron destruidas y el daño a la infraestructura fue tan grande que se necesitaron helicópteros y barcos para llegar a partes de la isla [29].

Huracán Eta (2015). Fue el tercer huracán más intenso registrado en el mes de noviembre en la región, habiendo sido catastrófico principalmente en Nicaragua y Honduras, además de Cuba, Bahamas, Jamaica e Islas Caimán. Con vientos de hasta 220 km / hora, provocó un oleaje con olas de hasta 10 metros en la costa nicaragüense. Honduras también fue severamente castigada con casi 80 muertos y 1,7 millones de personas afectadas, y en Guatemala murieron más de 100 personas. El huracán golpeó a los Estados Unidos con menor intensidad, provocando menos daños. Los daños totales estimados superaron los US\$ 8.000 millones [30].

Otros eventos. Otros eventos climáticos extremos han impactado significativamente a los países de Centroamérica y el Caribe. La Tabla 2.2 resume algunos de estos eventos clave.

TABLA 2.2. > **GRANDES HURACANES Y TORMENTAS EN CENTROAMÉRICA Y EL CARIBE**

HURACÁN	PRINCIPALES PAÍSES / REGIONES AFECTADOS	AÑO	DAÑOS EN US\$ MIL MILLONES	# MUERTES
Allen	Caribe, EUA, México	1980	3	269
Gilbert	Caribe, Golfo do México	1988	3	318
Jeanne	Caribe, EUA	2004	8	3.037
Stan	México, América Central	2005	4	1.668
Rita	Bahamas, Cuba, EUA	2005	19	120
Wilma	EUA, Caribe, México, Bahamas, Bermuda	2005	27	52
Katrina	EUA, Bahamas	2005	125	1.836

Fuente: [31] e [32]

FOTO 4 > DESTRUCCIÓN DEL HURACÁN MARÍA EN DOMINICA, CARIBE



Foto: roosevelt.skerrit [F4]

Además de los impactos y pérdidas ocasionados por desastres extremos, también existen impactos derivados de eventos que, en general, reciben menos notoriedad en los medios, pero que no son menos importantes ni implican costos más bajos. A continuación, se enumeran seis tipos de impactos resultantes del cambio climático.

• IMPACTOS EN LA SALUD

La salud humana es sensible al cambio climático, como las variaciones de temperatura y precipitación, la aparición de olas de calor, inundaciones, sequías e incendios. De manera indirecta, la salud también puede verse afectada no solo por perturbaciones en la producción agrícola (especialmente entre las poblaciones rurales dependientes de su propia producción), vulnerables a la sequía o las heladas, sino también por problemas epidemiológicos provocados por el empeoramiento o cambios en el comportamiento de los vectores de enfermedades.

Como muchos problemas de salud humana, los relacionados con el cambio climático también dependen en gran medida de las condiciones socioeconómicas y ambientales de cada población y de cada individuo. Las regiones con un bajo nivel de saneamiento son más vulnerables a las enfermedades transmitidas por vectores, como el dengue y la malaria, que se espera que empeoren en varias regiones del planeta, especialmente cuando hay lluvias más intensas, combinadas con aumentos de temperatura.

En cuanto a las enfermedades fisiológicas, una vez más, las poblaciones más vulnerables, en particular los ancianos que viven en regiones cálidas, probablemente sufrirán con mayor intensidad los aumentos en los límites máximos de temperatura, que puede provocar crisis cardiovasculares letales. En la ola de calor europea del verano de 2003, el 80 por ciento de las 35.000 muertes ocurrieron en el grupo de 75 años o más. Asimismo, en el caso de inundaciones, deslizamientos de tierra y otros eventos físicos, las personas mayores se vuelven más vulnerables, debido a su reducida movilidad y capacidad de reacción.

Aunque los aumentos de las temperaturas mínimas pueden provocar una disminución de las muertes y la morbilidad asociadas con el frío en las regiones y ciudades más frías, estos efectos positivos se minimizarán por la magnitud y la gravedad de los efectos negativos del cambio climático: los impactos en la salud de los extremos de calor más frecuentes deben superar con creces los beneficios proporcionados por un menor número de días fríos [34], [35], [36] y [37].

• RECURSOS HÍDRICOS Y SUMINISTRO DE AGUA

De la misma manera que la vida en la Tierra dependió - y depende - de una gran estabilidad del sistema climático global, también dependió - y depende - de la disponibilidad de agua. Esta disponibilidad está estrechamente relacionada con el ciclo del agua, a menudo denominado ciclo de vida. "El cambio climático puede tener un impacto profundo en el ciclo hidrológico y la disponibilidad de agua a nivel global, regional, de cuenca y local" [38].

En el semiárido nororiental brasileño, por ejemplo, el cambio climático, además de aumentar la temperatura, debería prolongar la duración de los períodos más secos. Esto podría hacer la vida imposible en estas regiones, provocando enfermedades, muerte, sufrimiento y altos costos debido a la migración y/o la necesidad de una mayor asistencia a estos lugares y poblaciones. Además del Nordeste brasileño, países enteros y grandes regiones sufrirán esta problema - en particular, el sur de África, la cuenca del Mediterráneo, el corredor seco en América Central, el oeste de los Estados Unidos y la Cordillera de los Andes occidental, entre otros [39].

Sin embargo, hay casos en los que estos extremos pueden suavizarse: por ejemplo, se pronostica un aumento de las precipitaciones en la región del desierto del Sahara. Es difícil evaluar el balance global de ganancias y pérdidas por variaciones en los regímenes hídricos entre las diferentes regiones del planeta, pero, como en la mayoría de los sectores, la suma de las pérdidas debe ser mucho mayor que las eventuales ganancias.

En el caso de lluvias intensas, además de las conocidas inundaciones urbanas, el agua que fluye por ríos y canales se desborda antes de llegar al mar, especialmente cuando su nivel es más alto debido a las mareas, causando inundaciones cerca de la desembocadura. Esto es preocupante cuando estas áreas están muy pobladas y tienen niveles de saneamiento deficientes, cuya combinación da como resultado inundaciones, falta de vivienda, enfermedades y necesidades de evacuación y pérdidas de vivienda.

Otro problema es que más de una sexta parte de la población mundial vive en cuencas hidrográficas alimentadas por el derretimiento del hielo y la nieve de los glaciares y las montañas. Esta población verá alterados sus caudales de agua tanto en volumen como, principalmente, en su estacionalidad [40]. El derretimiento de los glaciares de montaña y la nieve, que actúan como reservorios de agua, aumentará el volumen de agua durante un período determinado, pero luego el suministro de agua disminuirá, lo que potencialmente colocará poblaciones y personas en riesgo de sufrir estrés hídrico. Este fenómeno ya se está produciendo en la Cordillera de los Andes, cuyos glaciares han ido perdiendo alrededor de un metro de hielo por año desde el año 2000, impactando principalmente a poblaciones indígenas.

BOX 2.2 > Impactos sobre los recursos hídricos en América Latina y el Caribe

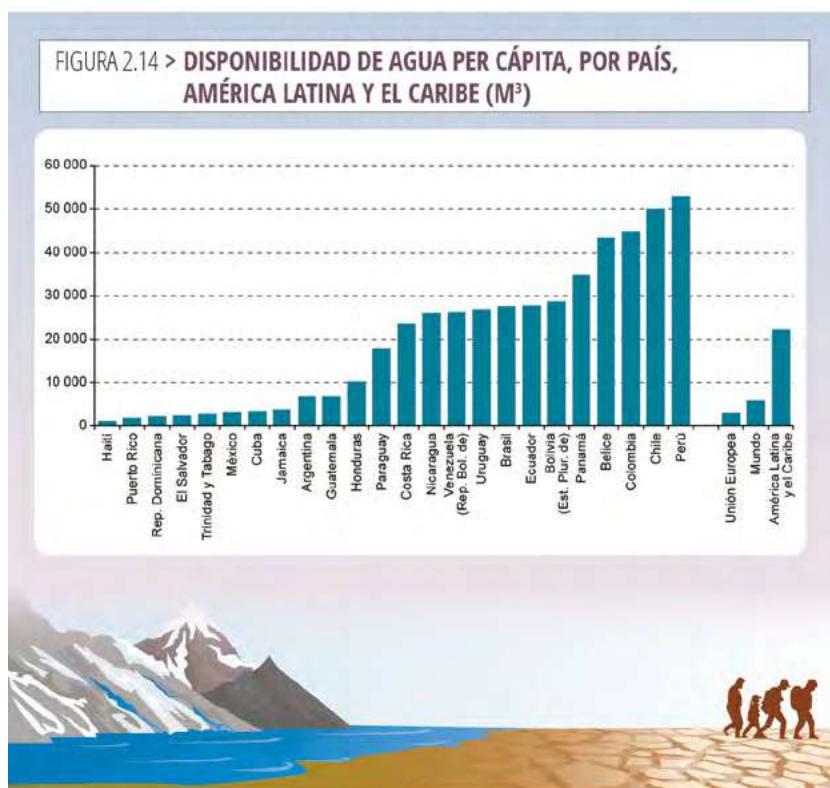
Las proyecciones climáticas para América Latina y el Caribe en su conjunto muestran un aumento de las temperaturas promedio de hasta 4,5°C para fines de este siglo en comparación con la era preindustrial. Los impactos físicos asociados incluyen cambios en los regímenes de precipitación, fuerte aumento de los extremos de calor, mayor riesgo de sequía y mayor aridez. Se ve que el volumen de los glaciares tropicales disminuye sustancialmente, con una desglaciación casi completa bajo altos niveles de calentamiento. Los glaciares mucho más grandes en los Andes del sur son menos sensibles al calentamiento y se encogen en escalas de tiempo más lentas. Se proyecta que la escorrentía fluvial se reducirá en Centroamérica, la cuenca sur del Amazonas y el extremo sur de Sudamérica, mientras que podría aumentar en la cuenca occidental del Amazonas y los Andes en la temporada de lluvias. Sin embargo, en muchas regiones, existe incertidumbre en la dirección de estos cambios como resultado de proyecciones de precipitación inciertas y diferencias en los modelos hidrológicos. El cambio climático también reducirá los rendimientos agrícolas, ganaderos y pesqueros. Estos impactos físicos y biofísicos del

Continúa en la próxima página.

Continuación

cambio climático desafían los medios de vida humanos, por ejemplo, mediante la disminución de los ingresos procedentes de la pesca, la agricultura o el turismo [41].

“En América Latina y el Caribe hay una gran disponibilidad de recursos hídricos distribuidos de forma heterogénea entre las subregiones y los países. La disponibilidad de agua es de alrededor de 13.867 billones m³, lo que equivale a 22.162 m³ de agua per cápita – Figura 2.14. En 2014 se extrajeron 329.728 millones de metros cúbicos, entre los cuales el 71% se destinó al uso agrícola, el 17% al consumo doméstico y el 12% al uso industrial.



Fuente: [25]

El cambio climático pone en riesgo la disponibilidad de agua; al mismo tiempo, la demanda para el consumo humano aumenta a medida que mejora el ingreso y crece la población. En dicha demanda inciden el costo del suministro, el precio de otros bienes, las características demográficas y socioeconómicas de los hogares, y el clima, en particular la temperatura y la precipitación.

Continúa en la próxima página.

Continuación

El cambio climático modifica los patrones de precipitación, la humedad del suelo y la escorrentía; además, contribuye al derretimiento de los glaciares, que incide en la disponibilidad y la trayectoria del consumo hídrico. Un aumento de la temperatura se traducirá en un aumento de la demanda de agua que intensificará las presiones sobre este recurso. Por ejemplo, se espera que, al acentuarse el cambio climático, aumente el número de personas en situación de estrés hídrico. Este impacto es evidente en la región.

A modo de ejemplo, en Colombia se observa una disminución del caudal de los ríos Magdalena y Cauca, y lo mismo ocurre en Centroamérica, donde los ríos expresan los efectos de una tendencia a la sequía. Hay un rápido retroceso y derretimiento de los glaciares andinos de Bolivia, Chile, Colombia, el Ecuador, el Perú y Venezuela: se ha perdido un área de entre el 20% y el 50%, principalmente desde finales de la década de 1970, y dicha pérdida está asociada al aumento de la temperatura. Esto reduce la disponibilidad del recurso hídrico en sus respectivas cuencas y en varias ciudades. El glaciar Cotacachi del Ecuador ya desapareció, y esto ha afectado la agricultura y el turismo, además de provocar la pérdida de biodiversidad. En Colombia, el volcán nevado de Santa Isabel perdió el 44% de su cubierta de hielo, con la consiguiente pérdida de atractivo turístico. En Chile, el tamaño del glaciar San Quintín ha disminuido rápidamente.

Por el contrario, el caudal de la laguna Mar Chiquita, en las provincias de Córdoba y Santiago del Estero (Argentina), ha aumentado, así como el de la Laguna de los Patos, en el sur del Brasil, debido al incremento de las precipitaciones y a la reducción de la evapotranspiración causada por el cambio del uso del suelo” [25].

En el caso de los países insulares del Caribe, el sector de los recursos hídricos se verá muy afectado por el cambio climático. En un contexto de creciente demanda de agua dulce, el aumento del nivel del mar puede provocar inundaciones de tierras bajas y la intrusión de agua de mar en los acuíferos costeros, mientras que la variabilidad climática puede ser testigo de tormentas más intensas que provoquen un aumento de la escorrentía, lo que provocará un aumento de las inundaciones, así como una reducción de la recarga, lo que lleva al agotamiento de los acuíferos. Estos impactos tendrán un efecto en cascada negativo sobre otros aspectos vitales de las economías regionales, como los sectores turístico, recreativo, agrícola e industrial [42].

• BIODIVERSIDAD Y ECOSISTEMAS

El cambio climático afecta la biodiversidad y es probable que se convierta en uno de los impulsores de pérdidas más importantes a finales de siglo. Cuanto mayor es el aumento de la temperatura global, mayores son los impactos sobre todos los seres vivos y su diversidad [43]. De particular preocupación son los “puntos de inflexión” que, cuando se superan, posiblemente conducirán a cambios irreversibles en la estructura de los ecosistemas y sus servicios [44], como se presenta en el capítulo 3.

Los estudios de modelado, combinados con evidencia de campo, ya apuntan a cambios significativos en la distribución de algunos ecosistemas. En el caso de los trópicos, los efectos del aumento de la temperatura y la reducción de las precipitaciones se ven agravados por los efectos de la deforestación. Las condiciones más secas harán que las sabanas se trasladen a regiones ecuatoriales ahora ocupadas por bosques, un caso típico en el Amazonas (ver Box 2.3).

Además de provocar el desplazamiento, el cambio climático también cambiará la composición, la estructura y, por lo tanto, las funciones de muchos ecosistemas. La flora, la fauna, los recursos hídricos, que constituyen los ecosistemas naturales proporcionan una amplia gama de servicios ecosistémicos esenciales para nuestra existencia y bienestar, así como para la economía. La biodiversidad también puede ayudar a reducir los impactos del cambio climático: la conservación de ecosistemas intactos, como manglares y pantanos, reduce los impactos de inundaciones, crecidas y erosión, que serán más frecuentes e intensos debido al calentamiento global [45].

Los ecosistemas terrestres también juegan un papel importante en la regulación del clima y los flujos de carbono con la atmósfera. Los hábitats preservados o restaurados eliminan el CO₂, almacenando carbono y reduciendo su concentración en la atmósfera. Las plantas, a su vez, absorben carbono cuando realizan la fotosíntesis durante el día, y durante la noche, cuando respiran, aproximadamente la mitad de este carbono se devuelve a la atmósfera. Este “servicio” que realizan las plantas ha ido disminuyendo a medida que disminuyen las áreas de bosques y la vegetación nativa, y se espera que aumente durante el siglo XXI [45].

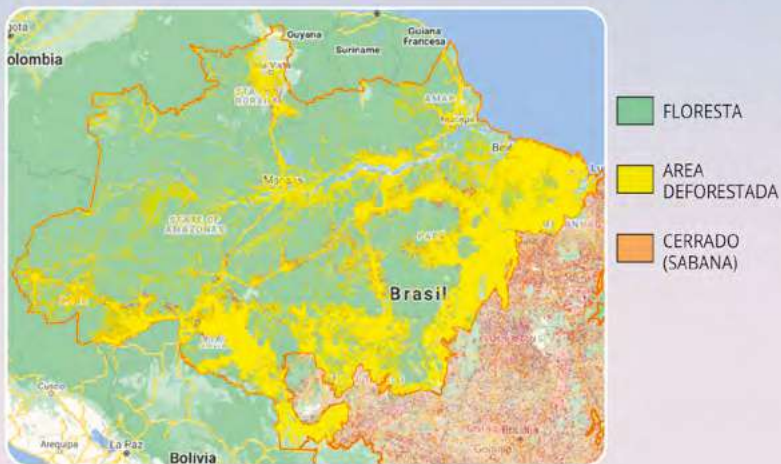
En los océanos, las áreas con muy poco oxígeno han aumentado progresivamente, disminuyendo el hábitat de muchos seres marinos. Las olas de calor marítimo también se están expandiendo y el aumento de las temperaturas ha hecho que los océanos sean más ácidos, matando a poblaciones enteras de coral. La Gran Barrera de Coral de Australia, la más grande del mundo, ya ha perdido el 50% de sus corales de aguas poco profundas en los últimos 4 años [46].

BOX 2.3 > Riesgo de la *sabanización* amazónica

Todos los bosques y seres vivos del planeta viven bajo ciertas condiciones climáticas y ecológicas: dejando un rango normal de estas condiciones, existe el riesgo de colapso. En el caso de los seres humanos, la cantidad y calidad del aire que respiramos, o el agua que bebemos, son ejemplos de estas condiciones que determinan nuestra supervivencia. La Amazonía tiene dos puntos de inflexión fundamentales: el primero es su capacidad para soportar la deforestación; el segundo se refiere a su capacidad para soportar aumentos de temperatura. Ambos son muy difíciles de estimar, ya que no existe experiencia previa que indique cuáles son estos puntos críticos.

En el caso de la deforestación, el punto límite se estima entre el 20% y el 40%. Si el bioma se deforesta por encima de eso, el rico bosque tropical debe someterse a un proceso de *sabanización*, es decir, transformarse en una sabana, mucho menos rica y con menos biodiversidad que el frondoso y denso bosque. Algunas regiones de la Amazonía ya han alcanzado, e incluso superado, este nivel de deforestación (ver Figura 2.15). En cuanto a la temperatura, ya ha subido en promedio entre 1°C y 1,5°C en los últimos 60 años, y se estima un punto de inflexión entre 3° y 4°C [47].

FIGURA 2.15 > ÁREAS DEFORESTADAS EN LA AMAZONIA LEGAL BRASILEÑA (ACUMULADO HASTA 2018)



Fuente: [48]

Continúa en la próxima página.

Continuación

La deforestación también tiene un gran impacto en la biodiversidad, porque el bosque, al ser el hábitat natural de las especies, desaparece. Además de muchos otros servicios ambientales que proporciona, la Amazonía absorbe carbono de la atmósfera, lo que es excelente para minimizar el calentamiento global. De hecho, la selva tropical emite carbono a través de su respiración y lo absorbe a través de la fotosíntesis. Se estima la absorción de 1 a 9 toneladas de carbono por hectárea cada año, que se retiene en la biomasa del bosque. Con la deforestación, el bosque no solo deja de absorber, sino que se convierte en una fuente de emisión [49]. Estudios recientes muestran que la Amazonía “está perdiendo su capacidad para eliminar el dióxido de carbono de la atmósfera... y actuar como un freno en el proceso de calentamiento global. Entre 2010 y 2017, el bosque liberó anualmente, en promedio, unos cientos de millones de toneladas más de carbono del que extrajo del aire...” [50].

El otro gran papel que juega la Selva es el mecanismo de regulación de las precipitaciones en la propia Amazonía, fundamental para su supervivencia y, además, para exportar un gigantesco volumen de agua hacia el interior. “Existe una capacidad innata de los árboles para transferir grandes volúmenes de agua del suelo a la atmósfera a través de la transpiración. La selva amazónica no solo se reserva el aire húmedo, sino que exporta ríos aéreos de vapor que transportan agua a las abundantes lluvias que riegan regiones lejanas en el verano hemisférico”- principalmente el Cerrado de Mato Grosso, el granero de la producción de soja en el país, pero incluso también riegan regiones lejanas como Rio de Janeiro y São Paulo [50].

Finalmente, vale la pena presentar algunas razones lógicas para rechazar la idea desinformada de que vale la pena “aprovechar la Amazonía para expandir la producción agrícola brasileña”:

- El crecimiento de la economía brasileña no está relacionado con la deforestación en la Amazonía: todo lo contrario, si existe alguna relación entre los dos, es en sentido contrario, el crecimiento es mayor cuando hay menos deforestación (Figura 2.17).
- Las ganancias de producción observadas en Brasil en las últimas décadas se lograron por ganancias de productividad y no por la expansión del área plantada (Figura 2.18).
- La producción agrícola en la Amazonía no tiene un peso relevante en la producción agrícola brasileña, mientras que sus impactos ambientales son gigantes. La producción agrícola en la Amazonía representa el 14,5% del producto agrícola nacional.

Continúa en la próxima página.

FIGURA 2.16 > **PRODUCIENDO MÁS SIN DEFORESTAR**

La intensificación de la ganadería brasileña, ahora con baja productividad, podría pasar de **4,4 a 9,0 arrobas/ha/año.**

Esto liberaría

➔ **12 millones/ha**
para la recuperación de
vegetación nativa

➔ **30 millones/ha**
para una mayor agricultura

Considerando que la deforestación promedio anual en la Amazonía en los últimos 5 años fue de **765.000 hectáreas,**

➔ se entiende que no hay necesidad de deforestar la Amazonía para ampliar el área de producción agrícola [51].

➔ El Cerrado cuenta con **15,5 millones de hectáreas** de pastizales con alta aptitud agrícola y sin restricciones a la expansión de la agricultura, especialmente para cultivos como la soja [52].



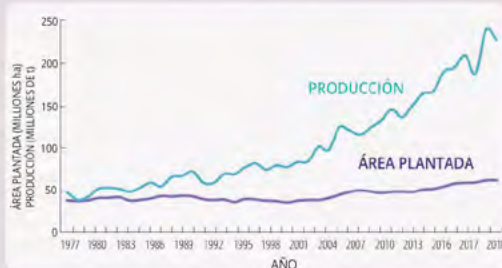
Fuente: elaboración propia.

FIGURA 2.17
> **PIB AGROPECUARIO (R\$ MILLONES) Y DEFORESTACIÓN EN LA AMAZONÍA (km² X 10)**



Fuente: [53] e [54]

FIGURA 2.18
> **ÁREA PLANTADA (MILLONES DE ha) Y PRODUCCIÓN AGRÍCOLA EN BRASIL (MILLONES DE T)**



Fuente: [55]

FOTO 5 > DEFORESTACIÓN DE LA AMAZONIA



Foto: Marilda Cruppe [5]

• AGRICULTURA

“Se sabe que el agua, la luz, la temperatura y el CO_2 son los principales factores que regulan la fotosíntesis. El aumento de cualquiera de ellos puede provocar el desequilibrio del otro. A excepción de la luz solar, el resto depende del calentamiento global. Por lo tanto, la temperatura y el CO_2 pueden alterar el funcionamiento de una planta” [56]. Esto implica que toda la agricultura tiene el potencial de verse afectada por el calentamiento global y los cambios climáticos. “El aumento de gases de efecto invernadero aumenta la temperatura, lo que aumenta la demanda de agua, que estará menos disponible por el aumento de la evapotranspiración, interfiriendo directamente con la productividad de los cultivos. Esta situación provocará una nueva geografía de la producción agrícola en el mundo...” [56].

“El calentamiento traerá alguna ventaja solo para el cultivo en regiones de latitudes altas (más cercanas a los polos): al volverse menos heladas, estas áreas pueden, en el futuro, albergar plantas que hoy no pueden soportar el frío. Sin embargo, es probable que el daño anticipado sea mucho más significativo. La FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) sugiere que la seguridad alimentaria puede verse perjudicada de tres formas: disponibilidad, acceso y estabilidad del suministro. El IPCC también

prevé la pérdida de productividad de diversos cultivos, con preocupantes consecuencias para la seguridad alimentaria. Incluso un pequeño aumento de temperatura (de 1° a 2°C) puede reducir el rendimiento de los cultivos, lo que aumentaría el riesgo de hambruna.

En el caso de los glaciares, particularmente los del Himalaya, por ejemplo, su derretimiento dañará el suministro de agua a China e India, comprometiendo su agricultura y agravando la inseguridad alimentaria en los dos países más poblados del mundo. Lo mismo debe suceder en los países africanos, que dependen de la agricultura irrigada por las lluvias” [57].

El aumento de la frecuencia de ocurrencia de días con temperaturas superiores a 34°C, considerado un punto de inflexión en la producción agrícola, conducirá a la pérdida de productividad, aborto de flores de café, naranja y frijol, aumento de la frecuencia de olas de calor, causando la muerte de pollos, los abortos en cerdas, la reducción de la producción de leche y, finalmente, la reducción de áreas con bajo riesgo climático [58].

También es importante enfatizar que todos los impactos mencionados en la agricultura afectarán a las personas más pobres del mundo de manera mucho más severa, no solo en términos de inseguridad alimentaria y nutricional. Se espera que las áreas rurales sufran los mayores impactos con respecto a la disponibilidad y el suministro de agua, la seguridad alimentaria, la infraestructura y los ingresos agrícolas, incluidos los cambios en las áreas de producción de cultivos (alimenticios o no). Los hogares encabezados por mujeres con acceso limitado a la tierra, la infraestructura y la educación son un grupo particularmente vulnerable.

BOX 2.4 > Impactos en la agricultura en América Latina

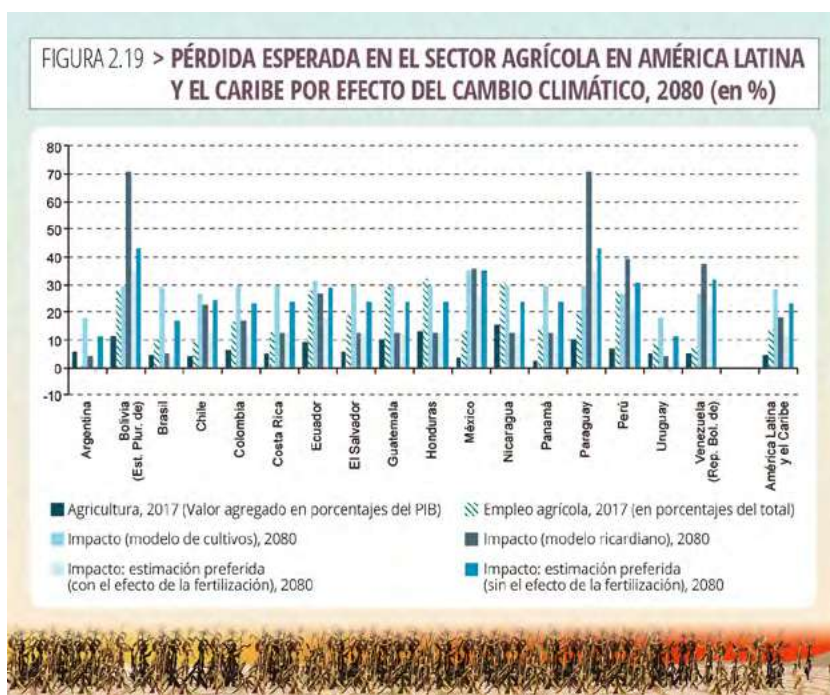
Las actividades agropecuarias son particularmente sensibles al clima y, por lo tanto, al cambio climático. Aunque el peso del sector en el PIB de la región viene reduciéndose, el sector agropecuario de América Latina y el Caribe representaba alrededor del 5% del PIB en 2017, concentraba el 14% de la población ocupada y originaba alrededor del 29% de las exportaciones regionales. Además, alrededor del 20% de la población vive en las zonas rurales. Las actividades agropecuarias son también fundamentales para la seguridad alimentaria, el dinamismo económico y la reducción de la pobreza, además de desempeñar un papel como amortiguador de los choques macroeconómicos y de la incidencia de estos en las condiciones sociales.

Continúa en la próxima página.

Continuación

Hay una relación negativa entre los fenómenos climáticos extremos (días de calor o precipitación extremos, sequías, inundaciones o fenómenos naturales extremos) y el rendimiento agropecuario, así como una creciente preocupación por los procesos de desertificación y degradación de las tierras, intensificados por el cambio climático. Además, este impacto difiere según el tipo de unidad productiva; por ejemplo, si se trata de granjas con irrigación o sin ella.

Las diferentes condiciones socioeconómicas en las distintas regiones agrícolas hacen que el impacto del cambio climático sea heterogéneo según la región y el país. Las pérdidas potenciales que el cambio climático puede ocasionar en las actividades agrícolas van a estar afectadas además por factores humanos, como la tenencia de la tierra o la aplicación de diversas políticas públicas en el sector agropecuario. En lo que respecta al primer factor, cuando la propiedad está dissociada del uso, disminuyen los incentivos para invertir en adaptación. En la Figura 2.19 aparece la estimación de dichas pérdidas hacia 2080 [25]. Estas pérdidas se estiman según diferentes modelos, además de considerar o no el efecto de fertilización, que es el fenómeno por el que el aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera puede estimular la fotosíntesis y aumentar así la productividad agrícola.



Continúa en la próxima página.

Continuación

Estos cambios podrían afectar los rendimientos y la seguridad alimentaria en la región. En un estudio del Banco Interamericano de Desarrollo para la región de LAC [59], un modelo económico estima que, en un escenario sin cambio climático, la producción agrícola total, el área, la demanda y el comercio aumentan a medida que cambian los patrones de población y consumo. Sin embargo, con el cambio climático, donde las temperaturas máximas aumentan entre 1 y 4 grados y las precipitaciones disminuyen un 30% de media en la región de LAC, se reduce el crecimiento promedio en los rendimientos, el área total y la producción en 7,5 puntos porcentuales (pp), 1,2 pp y 5,2 pp, respectivamente, a nivel de LAC. A nivel mundial, también con el cambio climático se proyecta que los precios de frijoles, maíz, arroz, soja y trigo aumentarán para el año 2050 en 14,6 pp, 15,4 pp, 10,1 pp, 0,5 pp y 1,7 pp, respectivamente.

Los incrementos en los precios y los déficits comerciales en varias regiones de LAC sugieren la posibilidad de una mayor exposición a la inseguridad alimentaria en la mayoría de los países, siendo el Cono Sur una notable excepción. Dadas estas circunstancias, la mayoría de las regiones de América Latina simplemente alcanzarán o caerán por debajo de la relación crítica oferta/demanda de alimentos. Es evidente que las regiones Andina, México, Centroamérica y el Caribe enfrentarán dificultades sustanciales. Mientras tanto, se proyecta que la región Sur, más templada, tendrá un superávit que podría reforzar la seguridad alimentaria [59].

• ZONAS COSTERAS

En todo el mundo, más de 600 millones de personas (aproximadamente el 10% de la población) viven en zonas costeras ubicadas a menos de 10 metros sobre el nivel del mar. Casi 2.400 millones de personas (alrededor del 40% de la población mundial) viven a menos de 100 km de la costa [60]. En la zona costera se encuentran buena parte de los principales centros económicos y ciudades más grandes del mundo - como Londres, Nueva York, Tokio, Shanghái, Bombay y Rio de Janeiro.

La gama de riesgos costeros relacionados con el cambio climático incluye el aumento del nivel del mar. Como ya se mencionó, el nivel medio global del mar aumentó 17 cm en el siglo XX y podría alcanzar 1 metro a fines del siglo XXI. El aumento relativo del nivel del mar puede causar una variedad de impactos tales como niveles extremos más altos del mar, erosión costera, salinización de aguas superficiales y subterráneas y degradación de hábitats costeros como los manglares. Según las condiciones locales, es posible que

haya que desplazar grandes extensiones de tierra y millones de personas debido al aumento del nivel del mar [61].

Las regiones costeras ya son tradicionalmente vulnerables a eventos como tormentas y ciclones. Cada año, alrededor de 120 millones de personas están expuestas a los riesgos de los ciclones tropicales. En 1970, al menos 300.000 personas murieron en Bangladesh a causa de un solo ciclón. De 1980 a 2000, un total de más de 250.000 muertes estuvieron asociadas con ciclones tropicales en el mundo, de las cuales el 60% ocurrió en Bangladesh. En 2008, el ciclón Nagris en Myanmar causó al menos 138.000 muertes. El cambio climático agravará estos peligros y se espera que cause pérdidas aún mayores en el futuro [62].

Una de las mayores preocupaciones con respecto al aumento del nivel del mar son algunas de las 52 naciones ubicadas en pequeñas islas, los llamados SIDS (*Small Island Developing States*), donde se concentra casi el 1% de la humanidad y una enorme biodiversidad. Es muy probable que en los próximos 50 años el océano borre algunas de estas islas del mapa y afecte seriamente a las demás. Sobre todo, los atolones (islas de coral) están condenados. Se espera que desaparezcan las islas de Micronesia y Polinesia como Tuvalu, Kiribati y las Islas Marshall, con una población total de 180.000 habitantes.

En el Océano Índico, la mayoría de las islas Maldivas, con sus 329.000 habitantes que viven por debajo de los 2 metros sobre el nivel del mar, deberían desaparecer a mediados de este siglo. Un grupo de investigadores en Francia proyecta que entre el 5 y el 12% de las 1.269 islas francesas desaparecerán en un futuro próximo, amenazando de extinción a unas 300 especies endémicas [63]. La mayoría de las islas del Caribe también forman parte de los SIDS y están amenazadas por el problema.

FOTO 6 > NACIONES ISLAS PEQUEÑAS - RIESGO DE DESAPARICIÓN (FOTO DE LAS ISLAS MALDIVAS)



Isla Vakarufalhi - Atolón Ari Sur - Maldivas

Foto: Civi [16]

BOX 2.5 > Impactos en la zona costera de América Latina

“Las costas de América Latina y el Caribe tienen más de 70.000 km de longitud y albergan muchas de las mayores comunidades de LAC. El transporte marítimo en LAC representa alrededor del 90% del comercio en volumen y el 80% en valor de la región. Este sector es vital para el suministro de alimentos y el turismo en el Caribe, ya que más del 45% de los cruceros del mundo tienen lugar en la zona. El Canal de Panamá también permite el paso de unos 14.000 barcos al año por el Mar Caribe” [64].

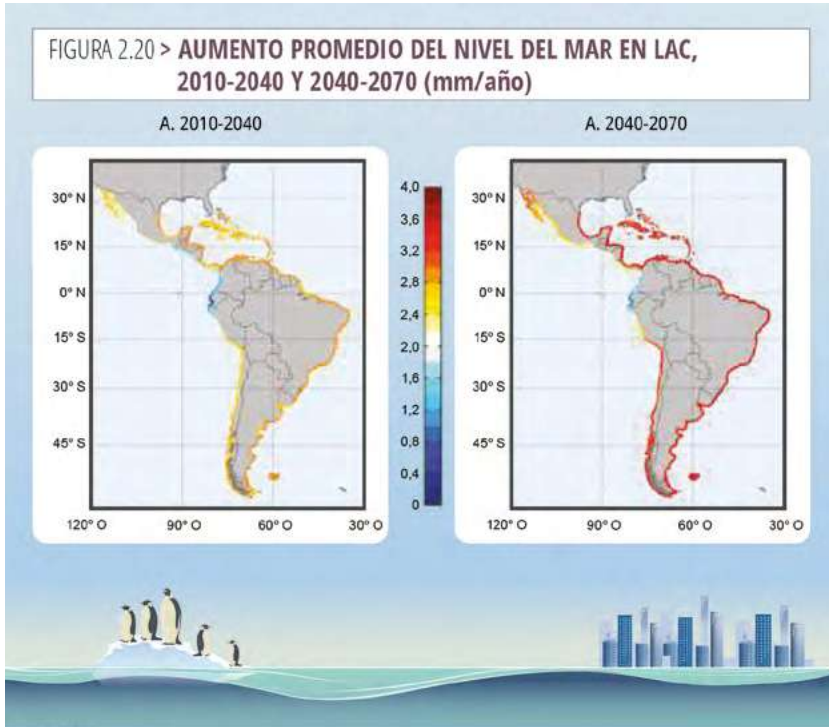
“A medida que aumentan las concentraciones de gases de efecto invernadero, se acumula un exceso de energía en el sistema terrestre, de la que aproximadamente el 90% es absorbida por el océano. Al aumentar su temperatura y calentarse el agua, el océano se expande. Esta expansión térmica, combinada con el aumento de la pérdida de hielo de los glaciares y las capas de hielo, contribuye al aumento del nivel del mar” [65].

Desde principios de 1993, la tasa media mundial de aumento del nivel del mar ha sido de una media de 3,3 mm/año. El nivel medio global del mar aumentó 0,20 m (20 centímetros) entre 1901 y 2018. Pero la tasa media fue de 1,3 mm/año entre 1901 y 1971, de 1,9 mm/año entre 1971 y 2006, y aumentó a 3,7 mm/año entre 2006 y 2018. Esto significa que cada año el nivel del mar sube más que el año anterior.

Los datos también muestran que el ritmo de subida no es geográficamente uniforme. En la región de LAC, las tasas de cambio del nivel del mar en el lado del Atlántico son más altas que en el lado del Pacífico. En América Central y el Caribe, las tasas de aumento del nivel del mar también son mayores en el Mar Caribe y el Golfo de México en comparación con el lado del Pacífico. Las tasas de aumento en el Pacífico han sido del orden de 2,95 mm/año, mientras que en el Atlántico han sido de 3,60 mm/año, aproximadamente un 20% más. El aumento del nivel del mar en las costas del Mar Caribe/Golfo de México é de 3,7 mm/año y en la costa atlántica de Sudamérica 3,6 mm/año [65].

En cuanto al futuro, “las proyecciones realizadas por el Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria indican que, entre 2010 y 2040, el mayor aumento ocurrirá en la costa atlántica, particularmente en la costa del norte de América del Sur y en las islas caribeñas. Asimismo, se proyecta que entre 2040 y 2070 el ritmo de subida del nivel promedio del mar se acelerará y podrá llegar a los 3,6 milímetros al año” – Figura 2.20.

Continuación



Fuente: [25]

Junto con el alza del nivel del mar van cambiando el oleaje y su altura, la penetración en tierra, la temperatura superficial del agua, la salinidad, el componente meteorológico de las mareas y la dinámica de los fenómenos extremos. Esto aumentará la complejidad del impacto y la vulnerabilidad de los sistemas socioeconómicos y ecológicos de la región. Así, se espera un aumento de la erosión costera, un mayor blanqueamiento de los corales, la reducción de algunos usos turísticos y de la defensa de costa de las playas, una menor operatividad de las infraestructuras portuarias y seguridad de las obras marítimas, y mayor inundación de los ecosistemas.

Las características físicas y socioeconómicas de la región, donde hay numerosos países insulares en desarrollo y un alto porcentaje de población asentada en zonas costeras, y donde es probable que aumente la construcción de infraestructura en zonas vulnerables, pueden intensificar los efectos del alza del nivel del mar. Esto debiera motivar a que se actualicen los procedimientos de autorización para construir en la zona de influencia de la subida del nivel del mar.

Continúa en la próxima página.

Otra importante consecuencia de la subida del nivel del mar es la operatividad de los puertos y los daños a la infraestructura. Estos tienen costos económicos, sociales y ambientales, y se deberá reevaluar la funcionalidad y operatividad de parte importante de la infraestructura portuaria a los efectos de adaptarla. “Este problema se da también en las ciudades costeras, donde la mayor parte de la infraestructura de defensa, transporte, abastecimiento de agua, energía y saneamiento ha sido diseñada para condiciones climáticas que van a cambiar sustancialmente. Por su parte, el sector turístico puede verse afectado por la erosión, el retroceso de las playas, los fenómenos extremos y la aparición de especies invasivas, como sucede ya con la proliferación del sargazo en amplias zonas del Caribe. A su vez, el impacto del cambio climático en los ecosistemas marinos y costeros se da en un contexto de vulnerabilidad preexistente, fruto de las actividades humanas que se llevan a cabo en torno a ellos (el turismo, la expansión urbana no planificada, la contaminación por fuentes terrestres y la acuicultura), lo que amenaza los recursos pesqueros, los corales y los manglares. Algunos de estos efectos ya son patentes, por ejemplo, el mencionado blanqueamiento del coral mesoamericano, asociado al aumento de la temperatura y la acidificación del mar, y la pérdida de manglares en Centroamérica y América del Sur” [25].



Mujer de los Andes, Perú



CLIMA FUTURO, VULNERABILIDADES Y RIESGOS A LARGO PLAZO

Proyecciones climáticas futuras y sus incertidumbres

Como ya se mencionó, el conocimiento sobre el cambio climático está sujeto a muchas incertidumbres, aunque no existen dudas científicamente aceptadas que cuestionen su existencia. Tales incertidumbres se refieren principalmente a:

- la ciencia del clima en sí: nuestro conocimiento limitado de los procesos de la naturaleza, el clima, la física y la química atmosférica;
- las inexactitudes de los modelos matemáticos que hacen las proyecciones climáticas futuras; plantean dudas sobre el alcance del cambio climático (no sobre los cambios en sí);
- el comportamiento de la economía mundial y las actividades humanas: ¿Qué estaremos haciendo dentro de 100 años y cómo?
- los impactos del cambio climático en los ecosistemas, en la economía y en nuestras vidas.

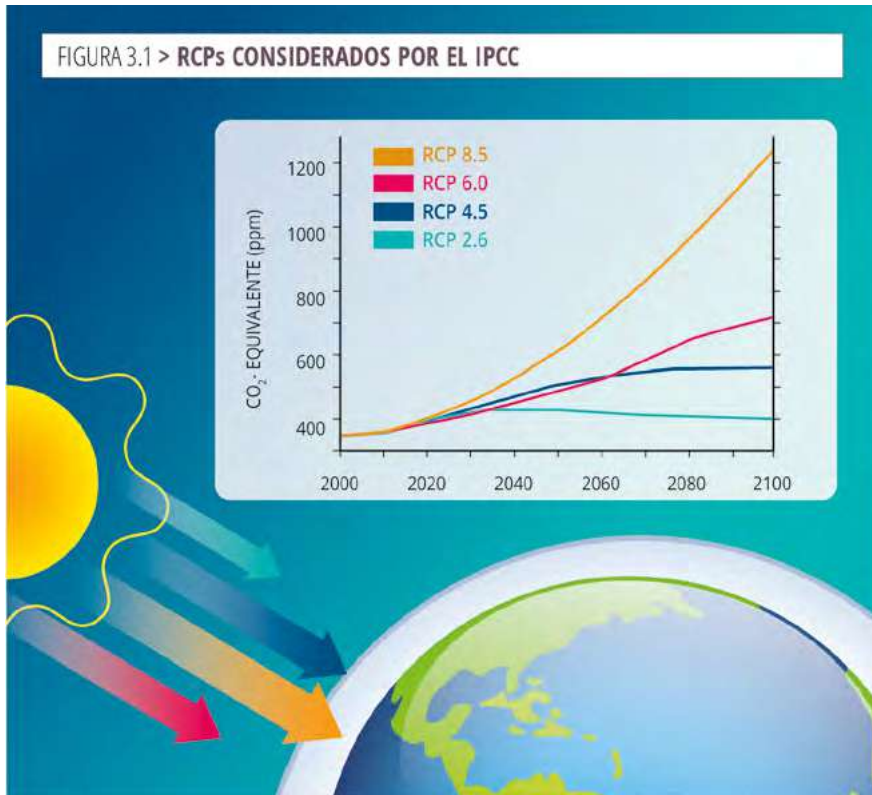
Debido a estas incertidumbres, los estudios sobre el clima futuro plantean algunas hipótesis, creando escenarios que parecen más razonables, y cuyas conclusiones se limitan a estas hipótesis. Hay tres escenarios principales u opciones que deben tomarse en los análisis del cambio climático:

- 1) escenarios de emisiones,
- 2) modelos climáticos y
- 3) escenarios de impacto.

ESCENARIOS DE EMISIONES Y CONCENTRACIONES DE GEI EN LA ATMÓSFERA

La concentración de GEI en la atmósfera depende de la cantidad que se emitirá cada año. En su Informe de Evaluación (AR5), el IPCC optó por trabajar simultáneamente con los posibles niveles de estas emisiones, las concentraciones de CO₂ en la atmósfera y los efectos de cada concentración en términos de calentamiento global. Se definieron cuatro RCP (de la sigla en inglés: *Representative Concentration Pathways* o trayectorias representativas de concentraciones). Estos RCPs (RCP8.5, RCP6, RCP4.5 y RCP2.6) reflejan la diferencia entre la energía solar que ingresa a la Tierra y la que se emite de regreso al espacio [1], [2] y [3].

En el escenario RCP8.5, por ejemplo, el más pesimista, la diferencia es de 8,5 vatios por metro cuadrado en 2100. Se asume que las emisiones globales seguirán creciendo sin ningún control, lo que provocará un aumento de la temperatura global de 3,7°C en 2100. El RCP 2.6 supone un aumento de solo 1°C en 2100, lo que ya es prácticamente imposible. Estas trayectorias se muestran en la Figura 3.1 para todos los GEI en términos de CO₂ equivalente.



Fuente: [4]

MODELOS CLIMÁTICOS

El pronóstico del tiempo (que es el estado meteorológico momentáneo de la atmósfera) ya lo conocemos por las noticias. El clima representa el promedio de cómo se comporta la atmósfera durante un período determinado (relativamente largo). La predicción de ambos se realiza mediante modelos matemáticos, que reproducen los principales factores que influyen en ellos. Las incertidumbres involucradas en estos modelos dan lugar a algunos errores de predicción, aunque cada vez menos frecuentes. Podemos considerar la ciencia meteorológica y la ciencia del clima como primos entre sí, que han ido mejorando y volviéndose cada vez más precisos y fiables.

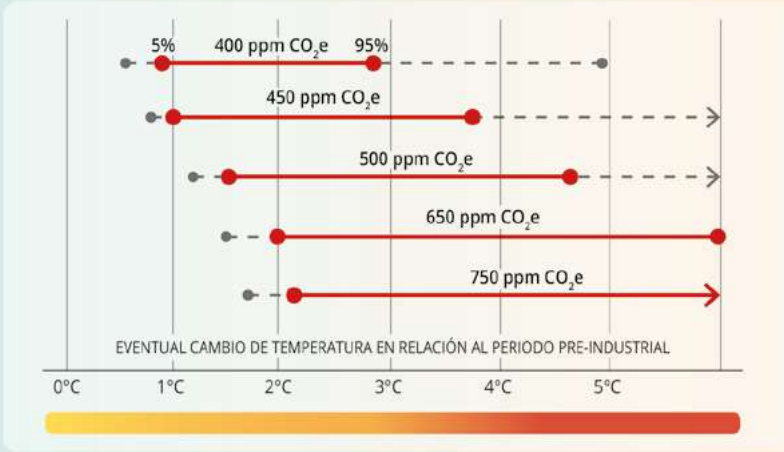
Es fácil ver que los modelos capaces de predecir el comportamiento climático futuro durante los próximos 100 años son extraordinariamente complejos. Por esta razón, solo unos pocos centros de investigación avanzada en el mundo tienen sus propios modelos climáticos, llamados GCM (de la sigla en inglés: *global circulation models* - modelos de circulación global). Los GCM representan procesos físicos en la atmósfera, los océanos, la superficie terrestre, entre otros, y son la herramienta más moderna disponible para simular cómo reacciona el sistema climático global al aumento de la concentración de GEI en la atmósfera [5].

Todos los modelos predicen el calentamiento global, con pequeñas diferencias entre las temperaturas, dónde y cuándo se alcanzarán. Sin embargo, existen diferencias más significativas entre los modelos con respecto a los cambios en las precipitaciones. El problema, ya abordado en el primer capítulo, es de hecho una limitación importante para la toma de decisiones en el mundo real. Sin convergencia y acuerdo entre los modelos, es difícil decidir qué medidas deben tomarse, en qué momento y en qué lugar específico.

ESCENARIOS DE IMPACTO

La tercera incertidumbre relacionada con el cambio climático se refiere a la relación entre el crecimiento económico, las emisiones de GEI, el aumento de su concentración en la atmósfera y, finalmente, el aumento de temperatura resultante en la Tierra. Más tarde, aún existen incertidumbres sobre los efectos de los cambios en el sistema climático sobre los ecosistemas, la economía y la vida de las personas. La Figura 3.2 relaciona las posibles concentraciones de GEI en la atmósfera (medidas en términos de CO₂ equivalente) con los aumentos de temperatura esperados. Debido a las incertidumbres de estas relaciones, el diagrama presenta un rango de concentraciones de GEI para cada aumento de temperatura (en relación con el período Preindustrial).

FIGURA 3.2 > CONCENTRACIONES DE GEI EN LA ATMÓSFERA Y AUMENTOS DE TEMPERATURA EN LA TIERRA



Fuente: [6]

¿Dos grados, cuatro grados o más? Vulnerabilidades y riesgos a largo plazo

MUNDO MÁS CÁLIDO: 1,5°C x 2°C

Un parámetro fundamental en el intento de limitar el calentamiento global es el “límite aceptable” de aumento de la Temperatura Media de la Tierra (TMT). La temperatura de la Tierra varía “naturalmente” a lo largo del tiempo, existe un rango en el que estas variaciones no producen efectos fuertes y se encuentran levemente por encima o por debajo del promedio histórico. Pero es fácil ver que, si una variación de 0,5°C puede no ser significativa, una de 3°C podría ser profundamente disruptiva para el sistema climático global, produciendo grandes impactos, y posiblemente irreversibles.

Recientemente se han realizado análisis de los diferentes efectos y riesgos planteados por diferentes aumentos de TMT. Se desarrollaron dos importantes estudios, uno por el Banco Mundial en 2012, evaluando los riesgos de un mundo con un aumento de TMT de 4°C [7]; el otro, más reciente, del IPCC en 2018, y que comparó las diferencias entre un mundo más cálido de 1,5°C y 2,0°C [8]. Además de ellos, Carbon Brief, que es un sitio web dedicado al tema, resumió y comparó los resultados de numerosos trabajos académicos reconocidos que evalúan las diferencias entre el mundo más cálido de 1,5°C y 2°C [9].

El Informe del IPCC fue diseñado para mostrar las grandes diferencias que existen entre dos mundos con solo medio grado Celsius de diferencia, y para mostrar también que se deben hacer todos los esfuerzos posibles para no alcanzar un mundo 2°C más cálido. La razón de esto es que los impactos básicamente no son “lineales” con los aumentos de temperatura. Es decir, si duplica la temperatura de 2 a 4 grados Celsius, la intensidad de la mayoría de los impactos será más del doble.

Se esperan diferencias sustanciales de temperatura y eventos extremos si el TMT se eleva 2°C en lugar de 1,5°C por encima del período preindustrial. Los promedios y los extremos son más altos a 2°C en comparación con 1,5°C en la mayoría de las regiones terrestres. Algunos extremos aumentan 2-3 veces en comparación con TMT. La Tabla 3.1 compara las diferencias en los impactos en un mundo más cálido de 1,5°C o 2°C.

TABELA 3.1 > **IMPACTOS DEL AUMENTO PROMEDIO DE TEMPERATURA DE 1.5°C Y 2°C EN 2100**

IMPACTO	+1,5°C	+2°C
Aumento del nivel del mar	+ 48cm	+ 56cm
Población expuesta a escasez de agua	271 millones	388 millones
Probabilidad de que no haya hielo en el Polo Norte en un año	3%	16%
Número de días calurosos	> 16%	> 25%
Duración de los límites máximos de calor	> 17 días	> 35 días
PIB per cápita mundial en 2100	- 8%	- 13%
Blanqueamiento de corales	90% en riesgo	98% en riesgo
Disminución de la producción de trigo	9%	16%

Fuente: [9]

Otros efectos no cuantificados del calentamiento global a 1,5°C, según el Informe del IPCC [8], incluyen menores riesgos de: a) morbilidad y mortalidad relacionadas con el calor, particularmente en áreas urbanas, debido a islas de calor; b) precipitación intensa en varias regiones; c) riesgos de sequías y estrés hídrico en algunas regiones; d) pérdidas y posible extinción de especies locales; e) impactos sobre el turismo, especialmente el que depende de condiciones climáticas y meteorológicas estables y predecibles; y f) múltiples riesgos esperados en las pequeñas islas del mundo. “La pequeña diferencia de medio grado en la temperatura limitará los enormes impactos económicos y sociales esperados en todo el planeta y que dependen directamente del aumento de temperatura observado” [8].

EL MUNDO 4°C MÁS CALIENTE (basado en [7])

Un mundo 4°C más cálido traería olas de calor sin precedentes, sequías severas e inundaciones masivas en muchas regiones, con graves impactos en los ecosistemas y los servicios asociados. Ese nivel de calentamiento, con la consiguiente elevación del mar de 0,5 a 1 metro o más, para el 2100, no sería el punto final: durante los próximos siglos, sería probable un calentamiento adicional a niveles superiores a 6°C, con varios metros de aumento del nivel del mar.

Los efectos del calentamiento a 4°C no se distribuirían uniformemente en todo el mundo. Las consecuencias no serían simplemente una extensión de los efectos que se sienten a los 2°C de calentamiento. El mayor calentamiento se produciría en los continentes, con variaciones de 4°C a 10°C. Se esperaría un aumento de 6°C o más en las temperaturas medias mensuales de verano en grandes regiones del mundo, incluido el Mediterráneo, el norte de África, Oriente Medio y Estados Unidos.

Las proyecciones para un mundo 4°C más cálido muestran un aumento dramático en la intensidad y frecuencia de las altas temperaturas extremas. Es probable que Sudamérica tropical, África central y todas las islas tropicales del Pacífico experimenten regularmente olas de calor de magnitud y duración sin precedentes. En este nuevo régimen climático, es probable que los meses más fríos sean sustancialmente más cálidos que los meses más cálidos de finales del siglo XX.

FOTO 7 > OLA DE CALOR EN PARIS, 2008



Foto: Chris Walts [7]

Además del calentamiento del sistema climático, una de las consecuencias más graves se debe al aumento de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera cuando se disuelve en el océano, haciéndolo más ácido. Se ha observado un aumento sustancial de la acidez del océano desde la época preindustrial. Un calentamiento de 4°C o más, para 2100, correspondería a un aumento de alrededor del 150 por ciento en acidez oceánica.

El hecho es que las tasas de cambio observadas y proyectadas en la acidez del océano durante el próximo siglo parecen no tener paralelo en la historia de la Tierra. Ya existen evidencias de sus consecuencias adversas para los organismos y ecosistemas marinos, combinadas con los efectos del calentamiento y la sobrepesca.

Los arrecifes de coral, en particular, son extremadamente sensibles a los cambios en la temperatura del agua, en el pH del océano y en la intensidad y frecuencia de los ciclones tropicales. Los arrecifes brindan numerosos servicios ecosistémicos, ya que nos protegen de las inundaciones costeras, las tormentas y los daños causados por las olas, además de servir como viveros y hábitats para muchas especies.

El crecimiento de los arrecifes de coral puede detenerse cuando la concentración de CO₂ en la atmósfera se acerca a 450 ppm. Cuando alcanza las 550 ppm (lo que corresponde a un calentamiento de aproximadamente 2,4°C), es probable que los arrecifes de coral desaparezcan en muchas áreas. La extinción regional de arrecifes de coral enteros tendría profundas consecuencias para las especies que dependen de ellos, incluidas las personas que los utilizan para la alimentación, los ingresos, el turismo y la protección de las costas. Es probable que muchas especies aún desconocidas desaparezcan para siempre

FOTOS 8 > CORALES SALUDABLES Y BLANQUEAMIENTO



Coral del
Mar Rojo

Foto: Francesco Ungaro [F8.A]



Blanqueamiento de
corales en el atolón de
Lisianski, Hawái

Foto: Courtney Couch [F8.B]

Los impactos proyectados sobre la disponibilidad de agua, los ecosistemas, la agricultura y la salud humana podrían dar lugar a un desplazamiento de poblaciones a gran escala, con graves consecuencias para la seguridad humana y para los sistemas económicos y comerciales. Si bien aún no se ha evaluado el alcance total del daño en un mundo de 4°C, su intensidad genera dudas sobre si sería posible la adaptación a un mundo más cálido de 4°C.

En este mundo más cálido, es probable que las comunidades, ciudades y países sufran graves trastornos, daños y desplazamientos, con muchos de estos riesgos distribuidos de forma desigual. Es probable que los pobres sufran más y que la comunidad mundial se vuelva más fragmentada y desigual de lo que es hoy. El calentamiento proyectado de 4°C simplemente no debe aceptarse como un escenario para el planeta.

Jugando con fuego: problemas catastróficos que no quería saber, pero ahora lo sabrá

Del enorme conjunto de consecuencias que trae el cambio climático sobre la Tierra y nuestras vidas, hay un subconjunto que preocupa más. El concepto de punto de inflexión, presentado en el primer capítulo, se refiere a cambios muy abruptos en un sistema, provocados por un pequeño cambio en él. Es como un juego de niños, cuando intentamos construir una torre con cubos uno encima del otro, intentando alcanzar la mayor altura posible. La torre aguantará, inclinándose un poco, hasta que ponemos un determinado cubo que hace que toda la torre se derrumbe. Se ha alcanzado el punto de inflexión. En realidad, los puntos de inflexión pueden ser los determinantes de la gravedad del cambio climático y todos los impactos resultantes.

Hay partes del sistema climático de la Tierra que tienen el potencial de cambiar abruptamente por un pequeño aumento de temperatura. Un ejemplo interesante ocurre en la floración de plantaciones agrícolas. Las plantas necesitan una cierta cantidad de agua para crecer, y esta necesidad en la germinación (etapa inicial) es diferente a la etapa de llenado del grano (por ejemplo, en el caso de la soja). En este escenario, la falta de lluvia en el corto período de floración provocará un pequeño déficit hídrico para las plantas, capaz de acabar simplemente con toda la producción.

Algunos sistemas terrestres tienen puntos de inflexión muy bajos en relación con el calentamiento global, y en algunos casos no están lejos de ser alcanzados. Además, no se sabe si los cambios son reversibles o no. En cualquier caso, la literatura identifica alrededor de diez problemas principales,

cuatro de los cuales se presentan a continuación, con base en la publicación de Carbon Brief [10]. Uno de los puntos de inflexión global más importantes y siempre presente en la lista de los más preocupantes es la *sabanización* del Amazonas ya discutido en el capítulo 2. No se repite aquí, pero es esencial mencionarlo como parte de esta lista de los principales puntos de inflexión climáticos.

1. INTERRUPCIÓN DE LA CIRCULACIÓN OCEÁNICA DEL ATLÁNTICO NORTE

La circulación oceánica juega un papel fundamental en el clima del planeta, ya que es responsable de la transferencia y redistribución del calor, actuando como regulador del clima global. La circulación está impulsada por las diferencias en la densidad de las aguas oceánicas. A su vez, son el resultado de diferencias de temperatura y salinidad entre una parte superficial y otra profunda del océano. Las corrientes profundas modulan el transporte de calor de las regiones tropicales más cálidas a las regiones templadas más frías, que se encuentran en latitudes más altas (hacia los polos). Sin esta circulación, los polos y las regiones templadas serían más frías y la zona ecuatorial más cálida.

El Océano Atlántico es fundamental para el funcionamiento de la circulación global, ya que transporta aguas cálidas desde el Atlántico ecuatorial y sur al Atlántico norte (Figura 3.3). El calor del océano es absorbido por la atmósfera y calienta la costa oeste de Europa, lo que explica por qué países como Irlanda e Inglaterra tienen un clima más cálido que Canadá, a pesar de estar en el mismo rango de latitud. El deshielo del Ártico, especialmente en Groenlandia, ha hecho que el agua de esa región sea menos salina, afectando toda la circulación del Atlántico Norte y la consiguiente distribución de calor en el planeta [11].

Investigaciones recientes sugieren que la circulación oceánica en el Atlántico norte se ha debilitado en aproximadamente un 15% desde mediados del siglo 20. La pregunta es: ¿hasta qué punto un debilitamiento puede convertirse en una interrupción total de la circulación? Este estancamiento puede ocurrir porque la circulación es un sistema que se refuerza a sí mismo y que solo puede llevarse hasta “un límite”. Demasiada agua dulce en el Atlántico norte ralentiza la circulación, lo que evita que el agua salada salga desde el fondo hacia el sur. Por lo tanto, el Atlántico norte tiene sus aguas superficiales aún más dulces y frías, lo que debilita aún más la circulación, y así sucesivamente. Todavía hay muchas incertidumbres sobre dónde se encuentra exactamente este punto de inflexión. “Dependiendo de la naturaleza exacta de la estabilidad de la circulación, podría apagarse indefinidamente, durante miles de años” [10].

FIGURA 3.3 > CIRCULACIÓN OCEÁNICA DEL ATLÁNTICO NORTE



Fuente: [12]

2. DESINTEGRACIÓN DE LA CAPA DE HIELO DE LA ANTÁRTIDA OCCIDENTAL

La Capa de Hielo de la Antártida Occidental (CHAO) es una de las tres regiones que componen la Antártida. Aunque es mucho más pequeño que su vecino del este, el AO todavía contiene suficiente hielo para elevar el nivel del mar global en unos 3,3 metros. Por lo tanto, incluso una pérdida parcial de este hielo sería suficiente para cambiar drásticamente las costas de todo el mundo (ver Figura 3.4).

La estabilidad a largo plazo del CHAO es de particular preocupación, ya que funciona como una especie de capa de hielo “marina”, lo que significa que, debido al contacto con el calor del océano, se vuelve vulnerable a la pérdida rápida e irreversible de hielo. En los lugares donde el hielo se encuentra con el océano, se forman plataformas de hielo flotantes, que contienen gran parte del hielo de la tierra. Sin embargo, estas plataformas corren el riesgo de derretirse desde arriba, por la acción del aire caliente, y desde abajo, por la acción del agua más caliente.

A medida que las plataformas de hielo flotan sobre el agua, su colapso no provoca directamente el aumento del nivel del mar. Pero su adelgazamiento y/o colapso podría desencadenar una pérdida rápida e irreversible de hielo terrestre para el océano, lo que elevaría el nivel del mar. Esta teoría se llama “Inestabilidad de la capa de hielo marino”.

La contribución de la Antártida al aumento global del nivel del mar está directamente relacionada con la pérdida de hielo de los glaciares en el



mar de Amundsen. En general, la evaluación del IPCC del colapso parcial de la capa de hielo de la Antártida Occidental es que, como es potencialmente abrupto, causaría “daños irreversibles durante décadas o milenios”. Sin embargo, las observaciones aún no son suficientes para determinar si estos cambios marcan el comienzo de un retroceso irreversible [10].

3. PERMAFROST E HIDRATOS DE METANO

Permafrost es el nombre que se le da al suelo que contiene hielo o material orgánico congelado que ha permanecido a 0°C o menos durante al menos dos años. Cubre aproximadamente una cuarta parte de la tierra no glaciada en el hemisferio norte, incluidas grandes franjas de Siberia, Alaska, el norte de Canadá y la meseta tibetana, y puede tener hasta un kilómetro de espesor. En el hemisferio sur, el permafrost se encuentra en partes de la Patagonia, la Antártida y los Alpes del Sur de Nueva Zelanda.

Este suelo helado contiene una gran cantidad de carbono, acumulado de plantas y animales muertos durante miles de años. ¡Hay aproximadamente el doble de carbono en el permafrost que actualmente en la atmósfera de la tierra! A medida que el clima se calienta, existe un riesgo creciente de que se descongele. Esto eliminaría los microbios presentes en el suelo de su hibernación, lo que les permitiría descomponer el carbono orgánico. Este proceso liberaría el CO_2 y, en menor medida, el metano que, como hemos visto, es un GEI muy potente. Por lo tanto, el deshielo a gran escala del permafrost tiene el potencial de causar un mayor calentamiento del clima.

Ya hay evidencia de calentamiento del permafrost. Según el informe del IPCC [13] sobre el océano y la *criósfera*, “ya se han documentado altas temperaturas, a unos 10–20 m de profundidad, en muchos sitios de monitoreo a largo plazo en el permafrost cerca del Polo Norte”. Estas temperaturas alcanzaron 2°–3°C por encima de lo que se midió hace 30 años”, lo que sugiere que la desaparición generalizada del permafrost cerca de la superficie del Ártico, aún en este siglo, es muy probable. Dependiendo del escenario climático, se espera que se liberen a la atmósfera hasta 240 mil millones de toneladas (240 Gt) de carbono del permafrost, en forma de CO₂ y metano, con el potencial de acelerar el cambio climático, recordando que hoy hay alrededor de 850 Gt de CO₂ en la atmósfera, y la emisión global anual ha sido de alrededor de 35Gt de CO₂.

El informe y sus autores también advierten que el carbono contenido en los suelos se ha acumulado durante “períodos de tiempo asombrosamente largos”. Una vez perdido en la atmósfera, no hay forma de recuperarlo. Incluso si paramos el calentamiento, las emisiones de permafrost deberían detenerse, pero devolver este carbono al permafrost es pragmáticamente imposible.

FOTO 9 > PERMAFROST, ISLA DE HERSCHEL, CANADÁ



Foto: Boris Radosavljevic [F9]

4. DESINTEGRACIÓN DE LA CAPA DE HIELO DE GROENLANDIA

La capa de hielo de Groenlandia es la segunda masa de hielo más grande de la Tierra. Como ya se vio en el Capítulo 2, contiene suficiente agua para elevar el nivel del mar global en 7,2 metros y, como resultado, su desintegración cambiaría la forma de las líneas costeras del mundo. El derretimiento de la capa de hielo de Groenlandia se está acelerando y actualmente agrega aproximadamente 0,7 mm al nivel del mar global cada año. Es poco probable

que el derretimiento sea brusco, pero está claro que habrá un umbral más allá del cual su eventual colapso será irreversible.

Aproximadamente la mitad del derretimiento de la capa de hielo de Groenlandia ocurre en la superficie. El resto ocurre al derretirse en la base de la capa de hielo y romper los icebergs desde su borde. El punto de inflexión probablemente más importante es la retroalimentación de la altura: a medida que la capa de hielo desciende debido al derretimiento, hay más áreas en altitudes más bajas, que son más cálidas, lo que lleva a un mayor derretimiento.

El informe AR5 del IPCC concluyó que era “excepcionalmente improbable” que la capa de hielo de Groenlandia se desintegre casi por completo en el siglo XXI (menos del 1%). Sin embargo, una investigación más reciente sugiere que la capa de hielo está en riesgo si consideramos períodos de tiempo más largos. Un calentamiento de 1.8°C por encima de los niveles preindustriales sería suficiente para desencadenar ciclos de retroalimentación en disminución de partes de la capa de hielo en verano

El destino de la capa de hielo de Groenlandia todavía depende en gran medida de las futuras tasas de emisión de gases de efecto invernadero. Un estudio de 2019 [15] realizó simulaciones en este manto hasta el año 3000, bajo diferentes escenarios de emisión. “En mil años, se verá significativamente diferente al de hoy. La capa de hielo de Groenlandia habrá perdido hasta un 25% (escenario optimista), 57% (escenario intermedio) o 100% (escenario pesimista) de su masa actual, contribuyendo, respectivamente, con 1,9 metros, 4,2 metros o 7,3 metros para aumento medio global del nivel del mar”.

Otros puntos de inflexión. Además de los cinco puntos de inflexión mencionados, hay otros que son igualmente amenazantes para la integridad del clima global o regional. Entre ellos destacan los siguientes:

- Desaparición de los arrecifes de coral marinos en todo el planeta, fenómeno que ya se observa en todas las regiones debido a la fragilidad de los corales;
- Cambios en el régimen de los monzones en la India y África Occidental, con importantes impactos en los regímenes de lluvias en ambas regiones y los consiguientes impactos en la agricultura y la economía locales;
- Desplazamiento de los bosques boreales (ecosistema que ocupa la mayor superficie del planeta) o incluso su desaparición;
- Pérdida de glaciares en los Alpes;
- Creación de un agujero en la capa de ozono sobre el Polo Norte;
- Pérdida de oxígeno en diferentes partes de los océanos;
- Disminución del hielo marino del Ártico.

Presupuesto de carbono: ¿cuánto podemos emitir todavía?

Una cuenta clave para que los países trabajen en el tema climático es saber cuánto CO₂ aún podemos emitir, si queremos alcanzar un calentamiento máximo de 1,5°C o 2°C, etc.

Como primera aproximación, este cálculo no es tan difícil: a partir de las cifras presentadas hasta ahora, existe una buena cantidad de información que nos permite hacer este cálculo. Sabemos cuánto CO₂ emitimos cada año, sabemos cuántas de estas emisiones se acumulan en la atmósfera y también conocemos el efecto de diferentes concentraciones en términos de aumento de la temperatura promedio de la Tierra. Estos tres parámetros básicos le permiten estimar el número de años que nos quedan de emisiones en los niveles actuales.

De hecho, estos números son más o menos fáciles de calcular, pero cuando comenzamos a mirarlos más de cerca, profundizando algunas hipótesis sobre el clima y los sistemas terrestres, y definiendo todos los términos con mayor precisión, nos enfrentamos a numerosas incertidumbres. Por lo tanto, el balance de carbono se presenta típicamente en rangos de certeza, como 33%, 50% y 66%. Por ejemplo, con un 33% de certeza todavía podemos emitir durante 30 años, o con un 66% de certeza podemos emitir durante 15 años. El Informe de Evaluación IPCC AR5 de 2014 mencionado anteriormente [2] hizo este cálculo y alcanzó cifras alarmantes.

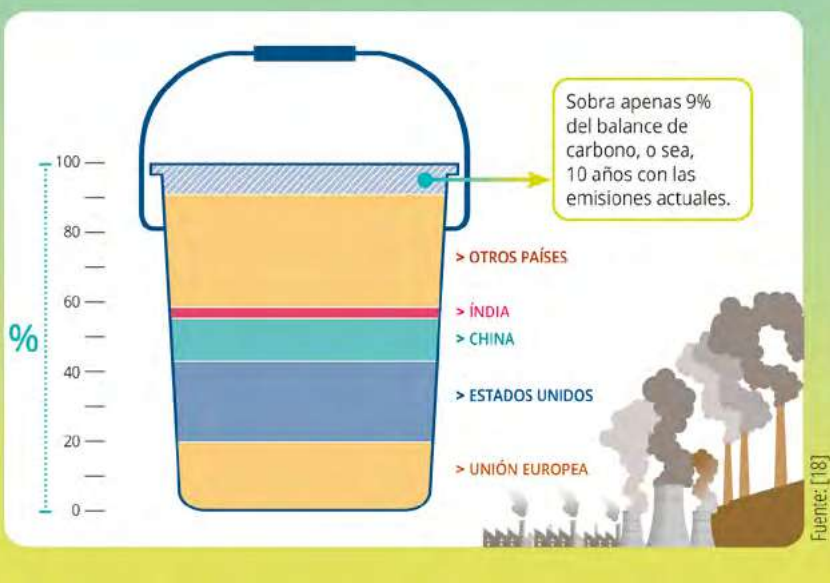
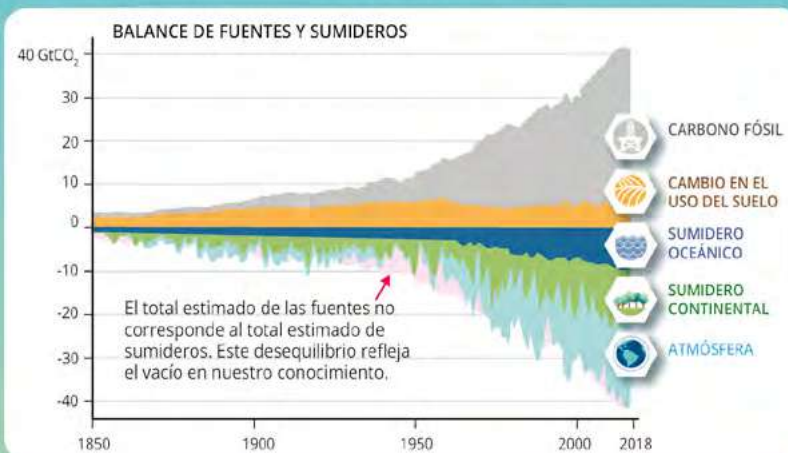
Según ese informe, quedarían alrededor de 120 mil millones de toneladas de CO₂ (120 GtCO₂) desde principios de 2018, aproximadamente tres años de emisiones de ese año, para un 66% de posibilidades de evitar un calentamiento de 1,5°C. Para una probabilidad del 50% de superar los 1,5°C, el presupuesto sería un poco más flexible, equivalente a unos 7 años de emisiones de 2018.

Debido a la importancia del presupuesto de carbono, esta cuenta ha sido objeto de mucha atención por parte de muchos científicos climáticos y gobiernos. El Informe del IPCC sobre el calentamiento de 1,5°C ([8]), de 2018, presenta una cuenta actualizada y un poco menos dramática que la AR5. El presupuesto de evasión de 1,5°C aumenta en un 66% a 10 años con seguridad, según las emisiones actuales. Asimismo, el presupuesto para una probabilidad del 50% de superar los 1,5°C se aumenta a 14 años, también en función de las emisiones actuales [16].

Como se mencionó, ciertamente hay muchas inexactitudes e incertidumbres en estos cálculos. Sin embargo, el recuento apunta inevitablemente

a unos pocos años de emisiones si queremos limitar el calentamiento global en 2°C. La Figura 3.5 ilustra la evolución de las emisiones de CO₂ de diferentes fuentes y cómo son absorbidas por los océanos y por los suelos y las plantas. La diferencia entre los dos termina en la atmósfera. El presupuesto de carbono, que indica cuántos años de emisiones aún queda por delante, aparece en el dibujo a continuación.

FIGURA 3.5 > **BALANCE DE EMISIONES DE CO₂ POSITIVAS (POR ENCIMA DEL EJE) Y ABSORVIDAS (POR DEBAJO DEL EJE)**



A photograph of an industrial facility, likely a refinery or chemical plant, during sunset or sunrise. The sky is a deep golden yellow, and a massive, billowing plume of white smoke or steam rises from a tall, dark smokestack on the left side of the frame. The smokestack is the central focus, with the smoke plume extending towards the top of the image. In the foreground and middle ground, there are various industrial structures, including pipes, scaffolding, and smaller smokestacks. Some of these structures are emitting smaller plumes of white smoke. The overall scene is one of intense industrial activity and environmental impact.

Emisiones
Industriales

Foto: **Chris LeBoutillier** [FA4]

IV.

¿QUIÉN ES REALMENTE RESPONSABLE?

Para intentar solucionar o minimizar el calentamiento global, es necesario identificar sus causas. Aunque algunas ya se han mencionado anteriormente, es necesario comprenderlas mejor, especialmente en lo que respecta a los responsables de las emisiones; solo entonces podremos elegir acciones más efectivas para controlarlos. Si bien el capítulo 5 trata con más detalle las estrategias para combatir el calentamiento global, este capítulo busca comprender sus causas.

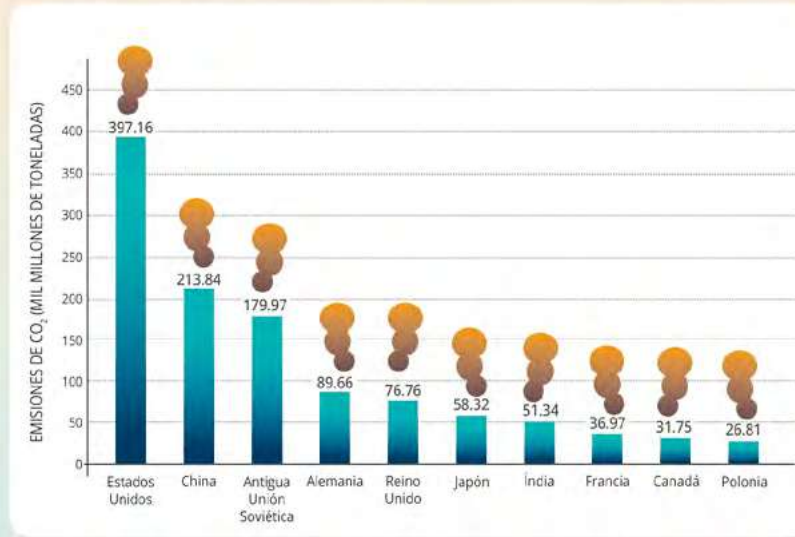
De dónde provienen las emisiones: países, sectores económicos, clases de renta

Existen numerosas formas de contabilizar las emisiones; dos de ellas pueden desglosarse por países emisores y por sectores económicos. En el caso de los países emisores, también se debe considerar si son emisiones actuales o emisiones históricas. Teniendo en cuenta que el CO₂ y otros gases de efecto invernadero permanecen en la atmósfera durante más de 100 años, es necesario considerar todas las emisiones de todos los países a lo largo del tiempo.

De hecho, el calentamiento global y el cambio climático que vivimos hoy son consecuencia de la acumulación de más de 200 años de emisiones de CO₂ a la atmósfera. Incluso si un país no es actualmente responsable de cualquier problema seguirá siendo responsable de sus problemas anteriores. Por ejemplo, el Reino Unido es responsable del 5% de las emisiones acumuladas, aunque su carga de emisiones ahora es inferior al 1%.

La Figura 4.1 a continuación muestra las emisiones históricas de los principales países, en los que se destacan las emisiones de Estados Unidos. Las emisiones de China son todas recientes y coinciden con las estadounidenses. Rusia y la ex Unión Soviética ocupan el tercer lugar, seguidos por el bloque europeo.

FIGURA 4.1 > DIEZ PAÍSES HISTÓRICAMENTE CONSIDERADOS COMO MAYORES RESPONSABLES POR EL CALENTAMIENTO GLOBAL

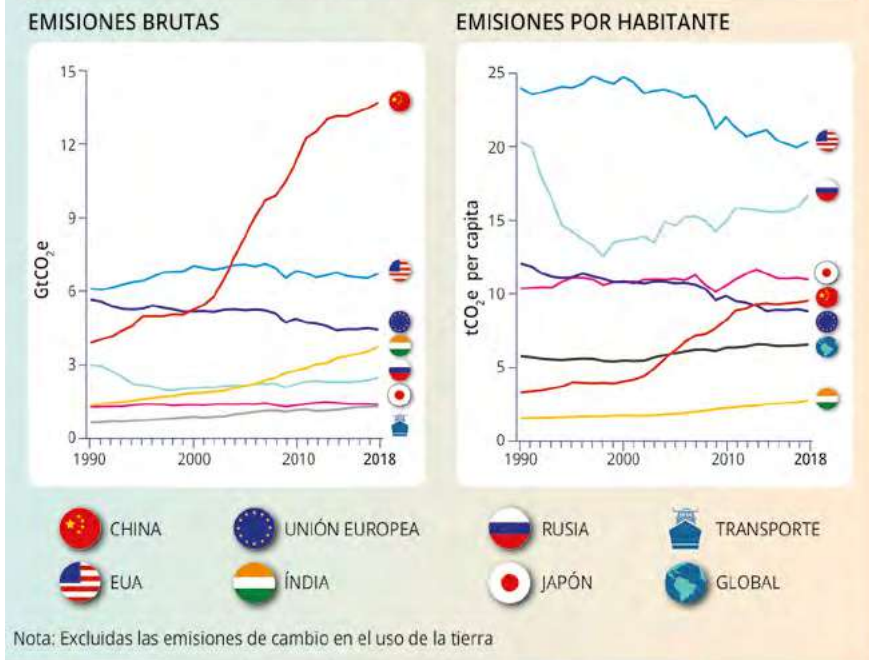


Fuente: [1]

Conociendo las emisiones históricas, es necesario estar atentos a dos factores adicionales: primero, la evolución de las emisiones de cada país (si un país está aumentando o disminuyendo sus emisiones, especialmente en períodos más recientes); según el tamaño de la población de cada país. Si Brasil tiene emisiones iguales a las de India, por ejemplo, pero su población es una sexta parte de ese país, resulta que cada persona en Brasil emite un promedio de 6 veces más que una persona en India. Por lo tanto, el cálculo de las emisiones por persona (emisiones per cápita) también es importante, como se muestra en la Figura 4.2.

La figura a continuación muestra que actualmente el mayor emisor del mundo es China, que tuvo un aumento gigantesco en las emisiones desde principios de la década de 2000, superando incluso a Estados Unidos, anteriormente el mayor emisor. Sin embargo, en valores per cápita, Estados Unidos sigue como el mayor villano, seguido por Rusia, que tiene altas emisiones debido a su petróleo y gas. China tiene bajas emisiones per cápita debido a su enorme población. Brasil, que se encuentra entre los 10 mayores emisores, no aparece en la Figura 4.2 porque no se contabiliza la deforestación, sin la cual las emisiones brasileñas caen mucho.

FIGURA 4.2 > PRINCIPALES PAÍSES EMISORES DE CO₂, APENAS POR FUENTES DE ENERGÍA, 1990-2018



Fuente: [2]

En cuanto a las actividades económicas que generan emisiones, hay tres fuentes principales: a) los sectores de generación de electricidad y producción de calor (25% de las emisiones globales); b) emisiones de agricultura, bosques y deforestación (24%); y c) emisiones de procesos de industrias (21%). Estos tres sectores juntos emiten el 70% del total de gases de efecto invernadero (GEI). Las otras tres fuentes principales son el transporte (14%), otras formas de energía (10%) y los edificios (6%). Tenga en cuenta que la gran mayoría de las emisiones (76%) provienen de la producción y las industrias de energía [3].

Finalmente, existe otra forma de comparar las emisiones entre países, lo cual es importante desde el punto de vista económico. Las industrias muy modernas y eficientes generan productos más sofisticados y costosos. Sus emisiones, por lo tanto, aportan un alto rendimiento económico, generando una gran cantidad de renta. Otras emisiones, sin embargo, provienen de usos que agregan poco valor económico o incluso generan desperdicios. Los incendios forestales accidentales, por ejemplo, generan emisiones de las que no se gana nada, lo que sólo genera pérdidas.

Al intentar controlar las emisiones humanas, es importante estar atentos a la cuestión de cuánto se está produciendo. Idealmente, se deberían favorecer las emisiones que generen un mayor valor económico, mientras que se deberían prohibir las que aportan una baja rentabilidad. Lamentablemente, como era de esperarse, las emisiones más rentables provienen de los países más industrializados y ricos, porque impulsan actividades de alto valor económico. En los países más pobres, con tecnologías más antiguas e ineficientes, quemar la misma cantidad de energía genera más emisiones y menos ingresos. Este es un aspecto determinante de la desigualdad entre países en lo que respecta al tema climático. El Cuadro 4.1 compara las emisiones de algunos países desarrollados con las de los países en desarrollo en términos de renta generada.

TABELA 4.1 > **EMISIONES PER CÁPITA Y POR US\$ DEL PIB
(AJUSTADO POR EL PODER DE COMPRA – PPP*)**

	Kg CO₂ / \$PPP del PIB	%EMISIONES TOTALES	% POBLACIÓN GLOBAL
África subsahariana	0,22	2,3	14,2
Unión Europea	0,17	9,0	6,8
EE.UU. y Canadá	0,30	16,0	4,8
Brasil	0,16	1,5	2,8
Mundo	0,32	100	100

*\$PPP = dólar estadounidense ajustado al poder adquisitivo, dólar de 2014.

Fuente: elaboración propia, a partir de [4]

El Cuadro 4.1 muestra la desigualdad antes mencionada entre países ricos y pobres en el tema climático. Si bien los países ricos son responsables de alrededor del 36% de las emisiones globales, solo el 16% de la población mundial vive en ellos. Por otro lado, África, por ejemplo, emite el 2,3% de las emisiones, teniendo más del 14% de la población. Juntos, Estados Unidos, Canadá y la Unión Europea emiten el 25% de las emisiones, pero tienen menos del 12% de la población mundial. Brasil, en este sentido, está bien posicionado: tiene emisiones (1,5%) proporcionalmente más bajas que su población (2,8%).

Generación y consumo de energía

Teniendo en cuenta que el consumo de energía es el gran villano del CO₂ y otras emisiones de GEI, es importante identificar los combustibles utilizados para generar esta energía. En el transporte, por ejemplo, los camiones y autobuses queman diésel, los coches queman gasolina o alcohol, mientras que los trenes utilizan electricidad y diésel.

Asimismo, la generación de electricidad, que en muchos países de América Latina proviene principalmente de centrales hidroeléctricas, en otros países proviene de centrales termoeléctricas, que queman gas natural, aceite combustible o carbón mineral.

El carbón es la mayor fuente de energía para generar electricidad en todo el mundo: alrededor del 38% de toda la energía eléctrica del mundo proviene de su combustión. En China, este porcentaje alcanza el 53%. El carbón se usa raramente en Brasil porque sus reservas son pequeñas y de baja calidad. Otros países de América Latina que utilizan el carbón para la generación de electricidad son principalmente Chile, Colombia y México.

Los combustibles generan diferentes cantidades de CO₂ cuando se queman. Aquí, es fundamental distinguir la energía de los combustibles fósiles - como el petróleo, el gas natural y el carbón mineral - de la energía procedente de fuentes renovables - como la solar, la eólica (del viento), la leña, la caña de azúcar y otros productos agrícolas, además a la energía hidráulica de los ríos.

Las energías renovables no emiten CO₂ (ver la discusión a continuación en el Cuadro 4.1), mientras que los combustibles fósiles son los grandes villanos del calentamiento global. Para la producción de 1 Watt de energía, por ejemplo, se emiten 183 kg de CO₂ cuando el combustible es gas natural, porcentaje que casi se duplica cuando se utiliza carbón (antracita). La emisión de diésel y gasolina está en el rango de 250 kg de CO₂.

El hecho de que el carbón sea el más contaminante - y al mismo tiempo el combustible más importante para la generación de electricidad - lo coloca como estratégico en el intento de controlar el calentamiento global. Sigue utilizándose masivamente principalmente en las economías de más rápido crecimiento del continente asiático (China e India), ya que es el combustible más barato y abundante. Este es un aspecto crítico que impide o retrasa el uso de combustibles más limpios para reducir las emisiones de CO₂: el más contaminante sigue siendo el más barato, aunque esta situación está cambiando.

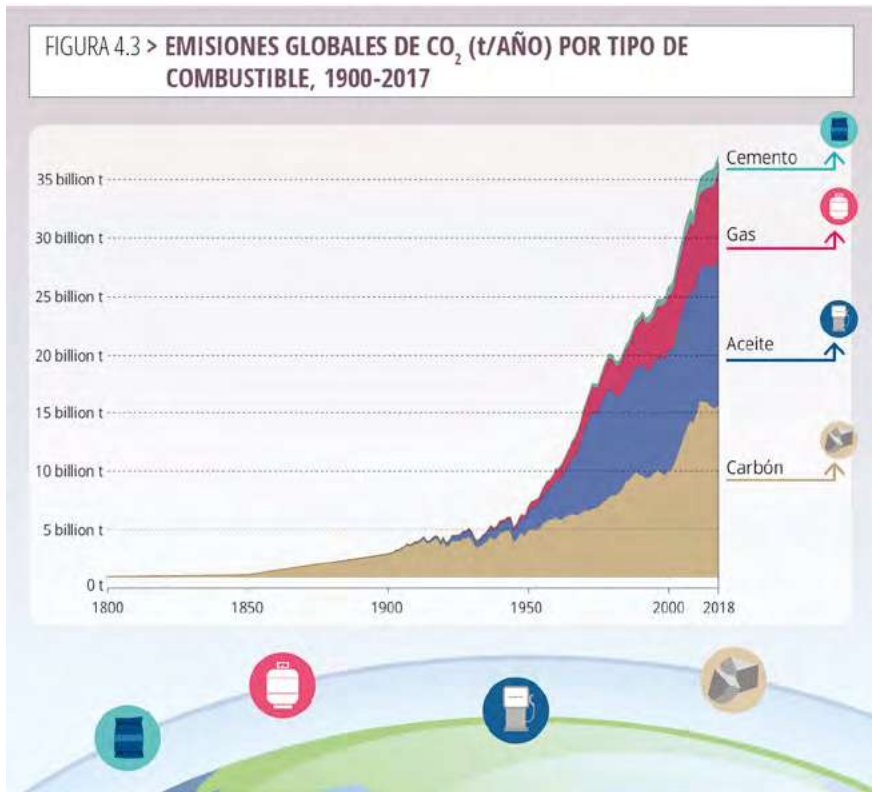
De hecho, la abundancia de carbón en Inglaterra estuvo en la base de la Revolución Industrial a partir de la década de 1750. Durante casi 200 años, el carbón siguió siendo la principal fuente de energía, hasta que, en la segunda mitad de la década de 1900, el petróleo emergió como la principal fuente de energía. Las emisiones acumuladas de ambos combustibles se muestran en la Figura 4.3, junto con las de las emisiones específicas del sector del gas natural y del sector cementero.

FOTO 10 > CONTAMINACIÓN INDUSTRIAL



Fábrica de acero en Benxi, China, 2013

Foto: **Andreas Habich** [F10]



Fuente: [3]

El consumo como causa subyacente: países y consumidores ricos frente a los pobres

La Figura 4.1 destacó la importancia de China como el mayor contribuyente actual a las emisiones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero (GEI). Sus emisiones son más del doble que las de Estados Unidos, el segundo mayor emisor, y representan alrededor de un tercio de las emisiones en todo el mundo. La pregunta es: ¿por qué China emite tanto? La respuesta es simple, ya que casi todo lo que consumimos y usamos está “hecho en China”. De hecho, China produce “de todo”, no solo para su propio consumo gigantesco, debido a su población gigantesca, sino también porque produce para todos los demás países. Y eso es porque es más barato producir en China.

Esta obvia explicación nos lleva a pensar que, entonces, China es el gran villano del calentamiento global simplemente porque es más barato producir todo allí. Pero aquí viene la pregunta: si China fabrica un producto, digamos una camiseta o una computadora – que será consumida o utilizada en Brasil y su fabricación implica un alto uso de energía y emisiones de CO₂. ¿Quién es responsable de las emisiones: Brasil o China?

Suponiendo que el principal beneficiario del producto sea Brasil, ¿no sería Brasil responsable de estas emisiones? Al contar cuánto emite un país, es importante considerar qué se exporta y qué se importa. Dado que todos los países importan y exportan productos, podemos restar las emisiones de las exportaciones y sumar las asociadas con los productos importados. Esto no cambia drásticamente la imagen de los mayores emisores del mundo: lo que cuenta es que los consumidores ricos son responsables de la mayoría de las emisiones. La foto 11 traduce visualmente este concepto (según la famosa máxima de que una foto vale más que mil palabras).

El hecho de que los consumidores ricos sean los grandes emisores implica que un consumidor rico en Brasil tiene emisiones similares a las de un estadounidense de clase media, y no igual al promedio de los ciudadanos del propio Brasil. Asimismo, un ciudadano pobre en los Estados Unidos emite cantidades de CO₂ más similares a las de un ciudadano de un país de renta media que un estadounidense “promedio”. Entonces debemos pensar en términos de consumidores ricos y pobres en lugar de entre países ricos y pobres.

La gran mayoría de las emisiones están relacionadas con el nivel de ingresos y riqueza de las personas (su consumo). La Tabla 4.2 a continuación muestra las emisiones medias de carbono de los ciudadanos en algunas regiones del mundo, según producción o consumo. La Figura 4.4 muestra

las emisiones por diferentes clases de ingresos en el mundo, es decir, desde el 10% más pobre del mundo, desde el 20%, etc., hasta las emisiones del 10% más rico del mundo.

FOTOS 11 > CONSUMO SEMANAL DE FAMILIAS DE PAÍSES CON DIFERENTES NIVELES DE RENTA



Familia Sturm, Hamburgo, Alemania, en su sala con suministro de alimentos para una semana.



Familia Batsuuri en su casa de una habitación, sub-alquilado de un apartamento más grande, en Ulaanbaatar, Mongolia.

FOTOS: © Peter Menzel / menzelphoto.com [F11]



La familia Ayme en la cocina de su casa en Tingo, Ecuador, pequeña ciudad en el Andes centrales..

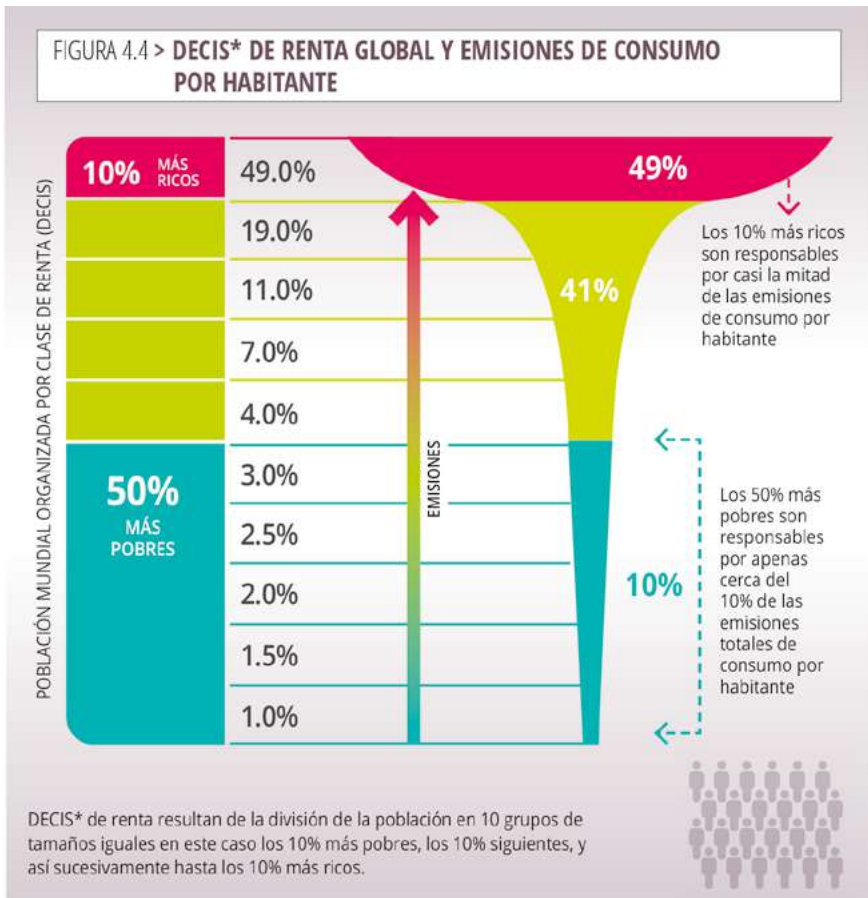


Familia Aboubakar de la provincia de Darfur, Sudán, frente a su carpa en Campo de Refugiados de Breidjing en el este de Chad.

TABLA 4.2 > EMISIONES PROMEDIO DE CO₂ POR CONSUMO

REGIÓN O GRUPO	% DE POBLACIÓN GLOBAL	% DE EMISIONES DE CO ₂	
		Producción	Consumo
América del Norte	5%	17%	19%
Europa	10%	16%	18%
América Latina y el Caribe	9%	6%	6%
Asia	60%	56%	52%
África	16%	4%	3%

Fuente: [5]



Fuente: [6]

Se puede ver en la Figura 4.4 que el 50% más pobre del mundo representa, en su consumo, solo el 10% de las emisiones globales, mientras que el 10% más rico representa casi el 50% de las emisiones, una relación completamente injusta. Para empeorar las cosas, cuando miramos hacia el futuro, a medida que los países pobres se desarrollan y se hacen más ricos, sus ciudadanos querrán consumir más, emitiendo más carbono, exactamente como ya lo hacen los países ricos hoy. Este “derecho” de consumo futuro, sin embargo, simplemente ha desaparecido, porque los países ricos han agotado la cantidad de carbono que se puede emitir. Es como una mujer nacida en un barrio pobre completó un curso de ingeniería y el día de la graduación le dijeron que no se contratarían más ingenieros durante los próximos 30 años. Y finalmente, a pesar de ser causado principalmente por personas ricas, el calentamiento global afecta a todos por igual, o de una manera mayor a los más pobres, haciendo que el problema sea más “perverso” y desigual.

Contribución de América Latina y el Caribe: uso de energía, agricultura y deforestación

La diversidad de países de la región de América Latina y el Caribe, específicamente sus condiciones geográficas, ambientales, sociales y económicas, hace que tanto las vulnerabilidades como las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) sean muy diferentes entre países. Los tres principales sectores responsables de las emisiones de GEI son la producción y el uso de energía (que incluye el transporte y la industria), el sector agrícola (tan importante para la economía y el empleo de tantos países de la región) y la deforestación, los usos de la tierra y cambios de uso de la tierra (que incluyen el sector forestal). Los pesos de cada uno de estos sectores en las emisiones nacionales son muy diferentes entre países.

En términos generales, la contribución de la región de LAC al calentamiento global es menos que proporcional al tamaño de su población. Según el Banco Mundial [7], las emisiones globales de CO₂ por uso de energía en 2018, por ejemplo, fueron de 34 Gt CO₂-eq, mientras que las de América Latina y el Caribe fueron de 1,7 Gt CO₂-eq, lo que representa el 5% del total. En términos de población, la región con sus 652 millones de habitantes tenía el 8% de la población mundial [7], por lo que el promedio de emisiones por persona es mucho más bajo que el promedio mundial.

Las emisiones de los países del Caribe, en particular, y también de Centroamérica son muy pequeñas a nivel mundial, tanto por su muy pequeña población, como también, en términos generales, por el nivel y tipo de actividad económica. A pesar de esto, es una de las regiones más vulnerables a los efectos del cambio climático en el planeta. Este hecho convierte a la región en “un ejemplo perfecto de la asimetría entre las emisiones de GEI y la vulnerabilidad climática” [8]. La Figura 4.5 muestra las emisiones de GEI de los principales países de la región, identificando su origen por sector económico, así como las emisiones por habitante de cada país, para el año 2018.

Las emisiones de uso de la tierra que se muestran en la Figura 4.5 representan el balance neto entre las emisiones positivas causadas por la deforestación y las actividades de uso de la tierra y las cantidades absorbidas por los bosques y otros ecosistemas. Países como Chile, Costa Rica y Cuba tienen emisiones netas negativas en este sector, porque los bosques absorben más CO₂ del que emiten las actividades de uso de la tierra y los cambios en la tierra. Por otro lado, tomando el caso de Brasil, por ejemplo, las emisiones presentadas de 388 Mt de CO₂-eq corresponden al balance entre emisiones de 788 Mt de CO₂-eq y absorción de 400 Mt de CO₂-eq. Considerando sus emisiones brutas, Brasil comenzaría a emitir 1820 Mt en lugar de 1420 Mt.

FIGURA 4.5 > EMISIONES DE GEI DE LOS PAÍSES DE LAC EN MEGATONELADAS DE CO₂-eq, 2018

	ENERGIA Y OTROS	AGRICULTURA	USO DEL SUELO*	TOTAL	PER CAPITA
Brasil	536	496	388	1420	6,8
México	583	97	15	695	5,5
Argentina	235	130	30	395	8,9
Venezuela	194	40	43	277	9,6
Colombia	120	63	84	267	5,4
Perú	70	26	90	186	5,8
Bolivia	30	27	69	126	11,1
Paraguay	20	30	46	95	13,7
Ecuador	54	12	25	91	5,4
Chile	79	11	-58	51	2,8
Nicaragua	8	11	19	38	6,0
Guatemala	25	10	3	38	2,4
Cuba	31	11	-4	38	3,4
Rep. Dominicana	30	9	-2	37	3,5
Uruguay	10	26	-2	34	10,0
Honduras	15	7	6	28	2,9
Trinidad e Tobago	23	--	--	23	16,6
Panamá	14	4	4	22	5,4
Guyana	3	2	14	19	24,5
Surinam	3	1	9	13	22,8
El Salvador	10	2	1	13	2,1
Haití	6	4	--	10	1,0
Jamaica	9	1	--	10	3,5
Costa Rica	12	4	-8	8	1,7
Belice	2	--	4	6	17,8
Otros**	10	--	-2	8	9,0

* - Incluye emisiones de uso de la tierra, cambios de uso de la tierra y deforestación.

** - Barbados, Bahamas, Granada, Antigua y Barbuda, Santa Lucía, San Vicente y las Granadinas, San Cristóbal y Nieves y Dominica



Fuente: [9]

Como se mencionó anteriormente, la composición de las emisiones en cada país es bastante diferente entre los diferentes sectores. Incluso las agregaciones subregionales o de nivel de ingresos no permiten identificar patrones. Entre las economías más grandes, Brasil tiene sus mayores emisiones por deforestación, particularmente de la Amazonía y partes del Cerrado. Las emisiones de la agricultura y la ganadería son mayores que las de la energía, la industria y el transporte, y la mayoría de ellas proviene de la ganadería. México, Argentina y Colombia tienen mayores emisiones en el sector energético, pero Colombia también tiene altas emisiones por deforestación. Perú, Bolivia y Paraguay, que forman parte de la cuenca del Amazonas, también tienen altos porcentajes de emisiones por deforestación. Chile es una excepción notable en el contexto latinoamericano, con reducciones significativamente mayores en sus bosques que las causadas por la deforestación, al igual que Uruguay, que tiene absorciones ligeramente superiores a sus emisiones de uso de la tierra, pero altas emisiones de la agricultura, principalmente de ganado.

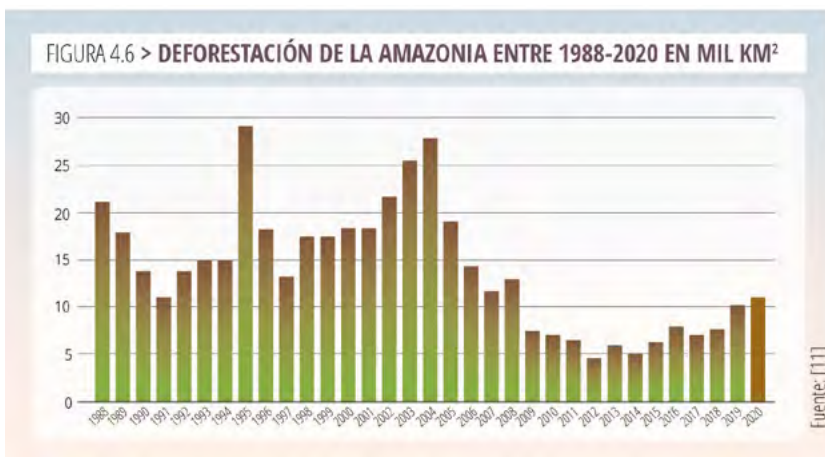
Entre los países centroamericanos, las emisiones provienen principalmente del consumo de energía y solo en Nicaragua son más significativas las emisiones del uso de la tierra. Como se mencionó, Costa Rica se destaca en el contexto regional en su conjunto, por su reconocida política de conservación ambiental y forestal. Los pequeños países insulares del Caribe tienen emisiones similares, concentradas en el uso de energía. Finalmente, en términos per cápita, los resultados son igualmente diferentes entre países, ya que además de las ponderaciones de emisiones entre sectores, también entra el tamaño de la población. Esto tiende a reducir las emisiones de países como Brasil y México, pero en el caso de países pequeños como Guyana, Surinam, Belice y Trinidad Tobago, las emisiones son altas debido a la deforestación o las emisiones de energía.

De cara al futuro, la región presenta tanto desafíos como oportunidades. En conjunto, uno de los mayores problemas es la deforestación acelerada de la Amazonía brasileña. A pesar de una fuerte caída desde 2005, los niveles comenzaron a crecer nuevamente, especialmente después de 2019 – ver Cuadro 4.1. Además de las emisiones directas involucradas en la tala y quema del bosque, el eventual alcance del punto de inflexión de la sabana amazónica es un tema de gran preocupación, un tema que ya se discutió en el Recuadro 2.3.

BOX 4.1 > Deforestación en la Amazonía brasileña y emisiones de GEI

Se sabe que la deforestación en la Amazonía es una fuente importante de emisiones de GEI. De hecho, es la causa de una enorme serie de eventos biológicos, ecológicos, climáticos, sociales y económicos, que han sido condenados durante décadas en Brasil y en todo el mundo. La deforestación es la forma tradicional de convertir tierras originalmente boscosas en campos para la producción agrícola y ganadera. Tales acciones involucran la tala y / o quema de árboles. Cuando estos árboles se pudren en el suelo o se queman, el carbono almacenado en ellos se libera, que luego pasa en forma de CO₂ a la atmósfera.

Las emisiones resultantes de la deforestación de los bosques tropicales son los grandes villanos de las actividades que involucran el uso de la tierra, el cambio de uso de la tierra y las actividades forestales, cuyo acrónimo en inglés es LULUCF (*land-use, land-use change, and forests*). En Brasil, las emisiones de LULUCF provienen principalmente de la deforestación, principalmente en la región amazónica, pero con un aumento significativo en las áreas del Cerrado, particularmente en la región conocida como MATOPIBA, la nueva frontera agrícola entre los estados de Maranhão, Tocantins, Piauí y Bahía. La inmensa mayoría de las áreas deforestadas en la Amazonía se convierten en pastos para la producción ganadera [10]. El Amazonas tiene hoy un tercio de todo el ganado brasileño, y la mayor parte del crecimiento del rebaño nacional tiene lugar en el Amazonas. La Figura 4.10 muestra la evolución de la tasa de deforestación en la Amazonía entre 1988 y 2019.



Continúa en la próxima página.

Continuación

FOTOS 12 > DEFORESTACIÓN DE LA AMAZONIA Y LOS PASTOS



Incendios en la región entre los estados de Amazonas, Acre y Rondônia, Brasil

Foto: Daniel Beltrá [F12.A]



Agricultura de subsistencia en Colombia, 2007

Foto: Matt Zimmerman [F12.B]

Con el nivel máximo de la deforestación en 2004, el gobierno decidió combatirlos con más firmeza, creando el Plan de Acción para la Prevención y Control de la Deforestación en la Amazonía Legal (PPCDAM). El PPCDAM fue una de las principales acciones que invirtió la tendencia de crecimiento que venía teniendo lugar hasta ese año, con una caída significativa en los 8 años que siguieron, hasta 2012, cuando alcanzó un mínimo de 4.600 km². Las emisiones de CO₂ siguieron las tasas de deforestación *pari passu*.

En el caso de Centroamérica, “su cobertura forestal en 1990, dejando de lado la consideración del estado en el que se encontraba, totalizaba 27 millones de hectáreas. Una disminución casi lineal en esta área la ha reducido a 20 millones de hectáreas para 2016. Esto sugiere una tasa promedio de deforestación de 27.000 hectáreas por año en el período 1990-2016. La reducción de la cubierta forestal no ha sido uniforme en toda la región, pero ha diferido mucho entre países. Por ejemplo, la deforestación acumulada en El Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua desde 1990 ha sido particularmente alta. La tendencia opuesta se puede observar en Costa Rica, donde la deforestación a una tasa de 18.800 ha / año entre 1990 y 2000 dio paso a la reforestación a una tasa de aproximadamente 25.600 ha / año en el período 2001-2016” [8].

El otro desafío de la región tiene que ver con el sector energético, de donde provienen la mayoría de las emisiones regionales. Según un trabajo reciente del BID [12], “la principal área de acción para reducir las emisiones de LAC es regular el sector energético. Al reemplazar directamente los combustibles fósiles con fuentes de energía renovables, se reducen las emisiones de GEI. Las fuentes de energía renovables son particularmente relevantes en relación con la creciente demanda de energía. En América Latina, se espera que la demanda de energía primaria y electricidad aumente entre un 25% y un 40% para 2040. Las necesidades energéticas son impulsadas por los ingresos, el crecimiento de la población, la urbanización y un mayor acceso a la electricidad.

La segunda área de acción importante es la descarbonización del sector del transporte. En LAC es responsable del 35% del total de emisiones de GEI por combustión de combustibles fósiles. Las políticas efectivas de transporte masivo pueden ayudar a reducir las emisiones de la región al tiempo que reducen las desigualdades sociales y económicas. El progreso en la integración de los sistemas de transporte público y su mejora puede aumentar significativamente el crecimiento económico al tiempo que se reducen las emisiones” [12].

En este aspecto específico, Brasil vuelve a ofrecer un ejemplo pionero en el mundo y de gran interés y relevancia en el contexto latinoamericano, que es la producción y consumo de biocombustibles, en particular de origen agrícola - BOX 4.2.

BOX 4.2 > Uso de biocombustibles en Brasil e implicaciones para las emisiones de GEI

Desde mediados de la década de 1970, cuando sufrió la primera crisis del petróleo, Brasil lanzó la primera experiencia mundial de hacer que los automóviles funcionen con alcohol etílico en lugar de gasolina. En ese momento, los automóviles funcionaban con alcohol o gasolina. El programa tuvo una buena aceptación, pero fue en la segunda crisis del petróleo en 1979–80 cuando recibió un gran impulso. En 1986, el 90% de los automóviles fabricados en Brasil funcionaban con alcohol.

A partir de entonces, los automóviles propulsados por alcohol tuvieron una caída en su participación en el sector del transporte, hasta que, en 2003, se inventó el automóvil *flex*, que permitía el uso combinado de gasolina o alcohol en cualquier proporción. Desde entonces, la mayoría de los automóviles producidos y dos tercios de la flota actual en Brasil son *flex*.

El alcohol también se agrega a toda la gasolina usada en Brasil a una tasa del 22%. La combustión de etanol también genera CO₂, pero mucho menos que la gasolina. Eso es porque tiene un contenido de carbono más bajo, generando menos CO₂ cuando se quema. Pero lo más importante es que el alcohol proviene de la caña de azúcar que, como todas las plantas, necesita eliminar el CO₂ del aire para crecer. Por lo tanto, el CO₂ emitido al quemar etanol en realidad se elimina de la atmósfera para el crecimiento de la caña de azúcar, y ambos más o menos se anulan entre sí.

El resultado es que, al considerar el ciclo de vida completo del etanol, proporciona una reducción del 90% en las emisiones de GEI en comparación con la gasolina. En los últimos 15 años, el uso de etanol ya ha acumulado una reducción de más de 500 millones de toneladas de CO₂. El etanol brasileño, producido a partir de la caña de azúcar, es el biocombustible con menor huella de carbono del mundo.

Es interesante notar que, además de la gran reducción de las emisiones de CO₂, la sustitución de la gasolina por alcohol reduce significativamente las emisiones de partículas, que son un grave contaminante atmosférico local, además de provocar diversas enfermedades respiratorias y cardiovasculares. También hay una reducción de las emisiones de otros contaminantes como el monóxido de carbono y los óxidos de azufre. Las emisiones de aldehídos son más altas que cuando se quema gasolina, pero este es un contaminante menos peligroso que los demás.

Continúa en la próxima página.

Continuación

Con base en la exitosa experiencia con el etanol, en 2004 Brasil lanzó el Programa Nacional de Producción y Uso de Biodiésel, cuyo objetivo es reemplazar parte del diésel proveniente del petróleo por diésel producido a partir de plantas oleaginosas, como palma aceitera, soja y girasol. En el caso del biodiésel de soja, la reducción de las emisiones de CO₂ es del 36% mientras que, en el caso de la palma aceitera, la reducción es del 66%. Sin embargo, más del 80% del biodiésel que se produce actualmente en Brasil proviene de la soja. Sin embargo, la reducción sigue siendo muy bienvenida, especialmente porque aumenta el porcentaje de mezcla de biodiésel en diésel, que comenzó en el 2% en 2004 y ya está en el 12% desde 2020.

Fuente: [13], [14] y [15]

En otro artículo reciente de la Red Bloomberg [16], se propone que “en algunos países de América Latina, como Chile, existe un alto uso de energía solar y eólica para la producción de electricidad, siendo uno de los países más atractivos en el mundo para invertir en energías renovables. Esto sugiere que la generación de electricidad a partir de fuentes renovables es una alternativa para reducir las emisiones de CO₂ sin comprometer el suministro de energía, como lo indica la meta 7.a de los Objetivos de Desarrollo Sostenible”.

Las naciones latinoamericanas podrían aprovechar esta transición acelerada. La región comienza con una de las matrices energéticas más limpias del mundo, casi la mitad de su electricidad proviene de fuentes verdes. Tiene un enorme potencial solar, eólico, hidroeléctrico y geotérmico, desde el desierto de Atacama en Chile hasta los vientos del noreste de Brasil y los vientos de la costa norte de Colombia, desde los bosques inundados de Costa Rica hasta las cadenas montañosas que atraviesan México y Centroamérica” [16].



Cumbre de Chachani, Cordillera de los Andes, Perú - cada vez menos nieve

V.

¿ES POSIBLE FRENAR EL CALENTAMIENTO GLOBAL?

El título del capítulo hace una pregunta cuya respuesta es: sí, es posible detener el calentamiento global, aunque no sea posible detenerlo por completo. En cualquier caso, la respuesta plantea de inmediato tres preguntas mucho más complicadas: a) ¿cómo hacerlo? b) ¿cuáles son las implicaciones? y c) ¿a qué costo?

Ya hemos visto que el calentamiento global resulta principalmente de las emisiones de la quema de combustibles fósiles con fines energéticos y, en menor medida, de la agricultura y los cambios en el uso de la tierra, de la deforestación. Así, frenar el calentamiento global, en principio, implica reducir o ralentizar estas actividades, o bien mantener su ritmo, pero con mejoras en los procesos productivos y ganancias en la eficiencia, con el fin de reducir las emisiones, sin cambiar el nivel de producción.

Por otro lado, también se debe considerar que la generación de energía – y obviamente los productos de la agricultura – existen esencialmente para satisfacer las demandas de la población humana. La producción de alimentos es directamente para nuestro consumo. La generación de energía sirve para transportarnos o para mover industrias, y en ambos casos también sirve para satisfacer nuestras necesidades como consumidores, directa o indirectamente.

Por lo tanto, esencialmente hay tres grandes grupos en la cadena de actividades económicas que conducen a emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), en los que podemos y debemos enfocarnos para reducir las emisiones:

- a) la cantidad de energía y los productos agrícolas producidos;
- b) las tecnologías y los procesos productivos, observando su eficiencia; y
- c) el tipo de cosas y el volumen de lo que consumimos.

Existe todavía otro factor fundamental, especialmente en la determinación del nivel de actividades emisoras: el precio de los productos. Desde los principios

básicos de la economía, sabemos que, al mover los precios, la producción y el consumo se ajustan hacia arriba o hacia abajo. Sin embargo, ¿conoce usted el precio del carbono que se consume o se emite? ¿Alguna vez le han cobrado por el carbono que emite cuando se sube a un autobús o automóvil, por ejemplo? Ni usted ni nadie más conoce este precio, porque simplemente no existe.

Debido a este desconocimiento, consumimos muchos más productos que implican emisiones de CO₂ sin pagar nada por ello. ¿No se siente usted mal? Ahora que sabemos que hay un gran problema asociado con el consumo del carbono - el calentamiento global - podemos interferir en este proceso a través de los precios - y esta es una de las buenas formas de reducir el nivel de actividad y, por lo tanto, también el de emisiones.

La Figura 5.1 resume la relación entre los cuatro factores discutidos, que sirven de base para estructurar el capítulo. Los cuatro “puntos de entrada” para minimizar las emisiones están marcados con un número rojo en un círculo, y corresponden a cada una de las siguientes secciones.

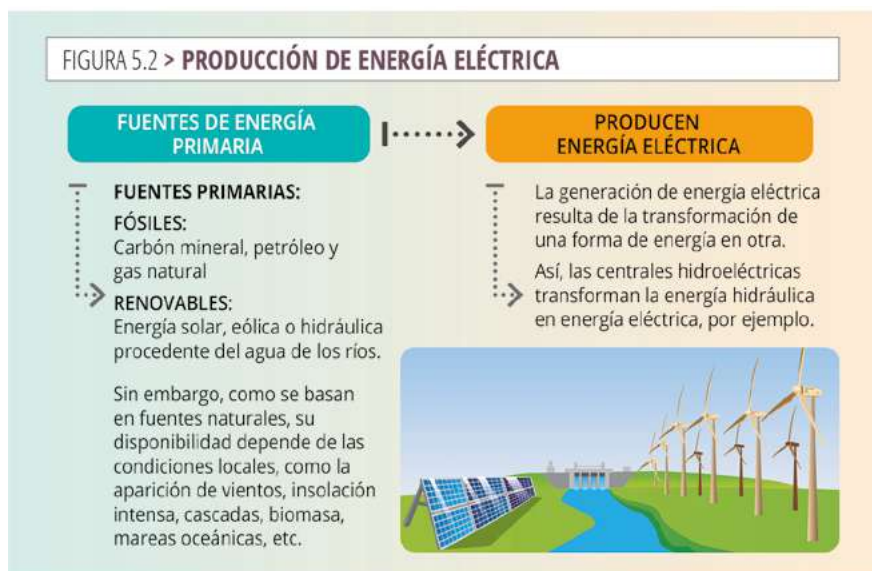


Fuente: Elaboración propia

Además de intentar reducir las emisiones de CO_2 , que es el objetivo de las cuatro estrategias anteriores, también es posible intentar reducir directamente las concentraciones de CO_2 en la atmósfera. Hay dos tipos principales de acciones en esta dirección: la primera es acelerar los procesos naturales existentes de eliminación de carbono de la atmósfera (por ejemplo, aumentando la absorción de CO_2 por las plantas, a través de la reforestación) o utilizar procesos químicos para capturar CO_2 directamente del aire y almacenarlo en depósitos subterráneos o en el fondo de los océanos (por ejemplo, depósitos de petróleo). La segunda son los intentos de la geoingeniería de utilizar la radiación solar que entra y sale de la Tierra, de modo que el equilibrio reduzca la energía absorbida aquí. Se trata de experimentos muy complejos y controvertidos desde el punto de vista de la propia ciencia, teniendo en cuenta que los efectos quizás sean más peligrosos que el cambio climático en sí. Por lo tanto, existe una gran renuencia a considerarlos como posibles soluciones para reducir el calentamiento global.

Energías limpias

Ya hemos visto que la mayor parte de la energía consumida en todo el planeta proviene de fuentes fósiles, principalmente carbón y petróleo. Ambos tienen mucho carbono, por lo que su combustión genera mucho CO_2 entre otros gases. Siguen siendo los principales combustibles porque son más baratos de extraer y procesar. Sin embargo, en los últimos años esta lógica se ha invertido.



Hay otros dos usos principales de la energía primaria además de la producción de energía eléctrica. El primero es para la producción de calor, fundamental para que la mayoría de las industrias transformen y mezclen química y físicamente sus productos. El otro uso importante proviene de la producción de combustibles para el transporte, que es lo que hacen las refinerías, por ejemplo.

En ambos casos, los fósiles siguen siendo generalmente más baratos que las fuentes renovables. Un contraejemplo es el alcohol, que puede reemplazar a la gasolina a un precio competitivo. En cualquier caso, conseguir producir tanto calor industrial como combustibles para el transporte y otros fines a partir de fuentes renovables y a precios competitivos se ha convertido en una de las principales carreras tecnológicas del sector energético.

El Box 5.1 presenta las principales fuentes de energía renovable con potencial de uso en los próximos años, además de incluir una breve discusión sobre la energía nuclear, que tiene una posición curiosa en relación al calentamiento global. Luego, la Tabla 5.1 presenta los costos de generar electricidad a partir de fuentes renovables.

BOX 5.1 > Fuentes de energías renovables

Biomasa. Es la materia orgánica contenida en plantas y animales, incluidos productos agrícolas, árboles, residuos forestales, gas de vertedero y alcantarillado, etc. La biomasa se puede quemar directamente para generar calor, como la energía de la cocina o el calor industrial, y también se puede quemar para producir energía eléctrica mediante turbinas.

Energía eólica. Es la energía de los vientos, utilizada durante milenios para impulsar carabelas y barcos, y también para hacer girar los molinos, que muelen el grano para producir harina o bombear agua. Hoy, casi la mitad de la electricidad de Dinamarca proviene de la energía eólica. Recientemente, se han desplegado molinos de viento en alta mar, a pesar de ser más costosos de construir que los molinos de viento en tierra, pero aprovechando los vientos marinos más fuertes.

Solar. ¡El sol emite más energía en una hora que todo el consumo humano en un año! Obviamente, no aprovechar esta energía es un gran desperdicio. Hay dos formas básicas de utilizarlo: las células fotovoltaicas, que transforman químicamente la luz solar en electricidad, y los paneles solares para calentadores de agua, que se pueden utilizar en hogares, edificios e industrias para calentar el agua y el medio ambiente. La energía solar también se

Continúa en la próxima página.

Continuación

puede concentrar utilizando espejos, calentando agua y generando vapor para producir electricidad. Los costos de la energía fotovoltaica cayeron más del 80% entre 2010 y 2019.

Geotérmica. Como su nombre lo indica, este tipo de energía se refiere al calor que proviene de la Tierra. Sabemos que el interior de la Tierra es muy caliente, con capas de lava que eventualmente explotan de los volcanes. Existen regiones donde esta lava está más cerca de la superficie, sin grandes riesgos de explosión, siendo capaz de generar altas temperaturas que calientan el agua, la cual, a su vez, hace funcionar turbinas para generar electricidad.

Hídrica. Es la energía de las aguas de los ríos, capaces de hacer funcionar grandes turbinas, dependiendo del volumen de agua, que a su vez generan electricidad. Para aprovechar mejor esta energía, las centrales hidroeléctricas se construyen en un punto por donde haya una caída de agua de río, donde, en general, se forman grandes depósitos de agua, para garantizar el abastecimiento en períodos de sequía.

Mareas y olas. Las mareas altas y bajas son el resultado de la acción de la gravedad lunar y solar, que atraen y retienen el agua del mar cuando están más cerca de la Tierra. La diferencia en la altura del mar, así como la fuerza de las olas, provocadas por los vientos, pueden utilizarse para hacer girar turbinas. Estas tecnologías ya existen, pero los costos y la interferencia en las playas y en la zona costera traen serios impedimentos.

Hidrógeno. Considerada una fuente prometedora, el hidrógeno se puede obtener rompiendo la molécula de agua, es decir, pasando energía eléctrica para separar el oxígeno del hidrógeno que contiene. El problema es la energía eléctrica que se requiere para esta disrupción: como el consumo es elevado, sería fundamental que esta energía fuera renovable, y que tampoco implique emisiones de GEI. Este es el desafío actual para la generación de este importante combustible potencial.

Energía nuclear. Es una fuente de energía no renovable que, desde el punto de vista medioambiental, siempre ha sido objeto de mucha controversia. La energía nuclear es probablemente la fuente más eficiente de energía, en el sentido de que se necesita una cantidad muy pequeña de un mineral, el uranio, para generar una gran cantidad de energía. Además, su fisión es muy limpia en términos de gases y contaminantes atmosféricos tradicionales, así como de CO₂. En otras palabras, en términos de calentamiento global, la energía nuclear podría ser una alternativa interesante.

Continúa en la próxima página.

Continuación

Sin embargo, como es bien sabido, genera una gran cantidad de material radiactivo, incluido el uranio, que se utiliza como combustible en la generación de energía eléctrica. Entonces, todo el proceso debe ser completamente controlado, ya que cualquier accidente que involucre radiactividad tiene como resultado impactos gigantescos, y el mundo ya ha experimentado algunos accidentes nucleares muy graves.

Este control extremo sobre el proceso hace que la energía nuclear sea una opción muy cara en comparación con otras fuentes. No hay unanimidad sobre su uso cuando se comparan todos sus riesgos y costos con los de otras fuentes, aunque varios países continúan usándolo. Es poco probable que el crecimiento de las fuentes renovables acabe con el uso de la energía nuclear, que se espera que continúe existiendo, pero con una importancia mundial incluso menor que en la actualidad (ver Figura 5.1).

FOTOS 13 > ENERGÍA SOLAR, EÓLICA, BIOMASA, CAÑA DE AZÚCAR E HIDROELÉCTRICA

Foto: **S64** [13.A]

Granja de energía solar, ciudad de Aikawa, Japón

Foto: **Marco A. Esparza** [13.C]

Finca de Azúcar y Etanol São Martinho, Pradópolis, São Paulo, 2011

Foto: **Leaflet** [13.B]

Parque eólico en Fluvan, Texas, Estados Unidos, 2004

Foto: **Alois Indrich** [13D]

Central Hidroeléctrica Tucuruí, Pará, Brasil

Fuentes: [1], [2]

TABELA 5.1 > **COSTOS GLOBALES DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA RENOVABLE EN 2019 (EUROS/MWH)**

EXPERIENCIA	TIPO DE RENOVABLES	PROMEDIO PONDERADO GLOBAL	VARIACIÓN DE COSTOS 2010–2019
Fuentes más tradicionales	Bioenergía	55	Depende de la fuente
	Geotermia	65	Estable
	Hidroelectricidad	42	+27%
Fuentes más recientes	Fotovoltaica solar	61	-82%
	Solar concentrada	162	-26%
	Eólica marina	103	-28%
	Eólica terrestre	47	-39%

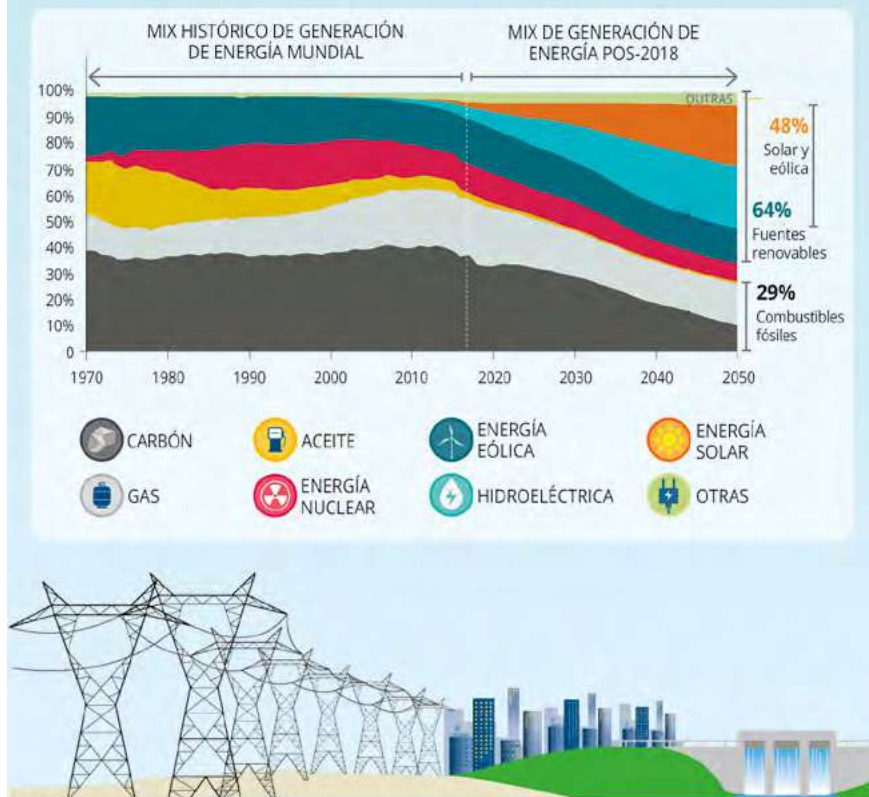
Fuente: [1]

Los resultados de la Tabla 5.1 muestran los costos globales promedio, que considera a todos los países del mundo que utilizan energía renovable. Debe considerarse, sin embargo, que la situación específica de cada país es diferente, dependiendo de la disponibilidad local del recurso y los costos relativos de otras fuentes. Normalmente, la energía eólica marina es relativamente cara, pero en el contexto europeo, por ejemplo, es competitiva. De hecho, es incluso más barata que el carbón, tanto en Estados Unidos como en algunos países europeos.

La Tabla 5.1 también sugiere que existen buenas razones para ser optimistas sobre la posibilidad de que el mundo dependa cada vez más de las fuentes de energía renovables, reduciendo las emisiones de GEI. Sin embargo, hay factores que debilitan este optimismo y posiblemente nos pongan en una situación más preocupante. En primer lugar, incluso si las fuentes renovables se vuelven económicamente competitivas en relación con los fósiles, ¿cuánto tiempo llevará eliminar todo el parque mundial de energía fósil y cambiarlo por energía renovable? Mientras tanto, ¿cuántas toneladas de CO₂ se emitirán y hasta dónde llegaríamos en términos de concentración de CO₂ en la atmósfera y calentamiento global en la Tierra?

Para ilustrar este punto, la Figura 5.3 presenta la proyección de una empresa de renombre en el sector para el escenario de generación eléctrica global en 2050. Según la referencia, en ese año, alrededor del 70% de la electricidad mundial provendrá de fuentes renovables, la mitad de los cuales de fuentes solares y eólicas. El carbón tendrá una caída sustancial, pasando de un nivel del 40% al 10% del total mundial. En cualquier caso, la pregunta sigue siendo: ¿esta tendencia es suficiente para lograr las reducciones deseadas en las emisiones y concentraciones de GEI en la atmósfera?

FIGURA 5.3 > **ESCENARIO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA MUNDIAL EN 2050**



El segundo punto se refiere a la economía política. Todos sabemos que las empresas energéticas de todo el mundo son gigantes económicos que ejercen un enorme poder económico y político. Empresas como Exxon y Shell, junto con Petrobras y otros gigantes como BP, Chevron, China Sinopec y Arab Aramco, entre otros, forman parte del segundo sector industrial más grande del mundo.

Aunque muchos de ellos han estado invirtiendo en energías renovables – todos son conscientes de la inexorable tendencia a la baja del sector petrolero a largo y corto plazo –, solo les interesa prolongar la vida del petróleo como principal fuente de energía. Esta posición, totalmente contraria a los objetivos de mitigar el cambio climático, es comprensible desde una perspectiva empresarial. Las acciones y políticas para intentar retrasar la entrada de fuentes renovables han sido más o menos agresivas, según el país o la empresa.

Finalmente, cabe mencionar la existencia de numerosas investigaciones sobre tecnologías capaces de minimizar las emisiones por combustión de fuentes fósiles. Como se mencionó en el capítulo 4, las emisiones de CO₂ de la quema de gas natural representan aproximadamente la mitad de las de la quema de carbón, por ejemplo. Además, el impacto ambiental de la minería del carbón es mucho mayor que el del gas natural.

Tiene sentido, por lo tanto, sustituir el combustible utilizado por las fábricas, sustituyendo el carbón mineral por gas natural y así obtener reducciones de emisiones, aunque esto suponga el intercambio de un fósil por otro. Asimismo, existen varias tecnologías en investigación o ya comercializadas que buscan “limpiar” y mejorar el desempeño del combustible, con el fin de generar menos CO₂ en la quema. Todas estas tecnologías y alternativas se buscan de forma complementaria y todas ayudan a reducir las emisiones, que es el objetivo final.

Mayor eficiencia productiva, nuevas tecnologías y prácticas

El uso de energía limpia es una forma segura de reducir las emisiones. Pensando en las emisiones de un automóvil, si quema hidrógeno o alcohol, o si funciona con electricidad, sus emisiones serán mucho menores que si funciona con gasolina. Pero si el coche es más eficiente, también ayudará. Si hace 20 km por litro de combustible, en lugar de 10 km, ese coche estará emitiendo la mitad de GEI para cubrir cada kilómetro. Lo mismo ocurre con industrias, máquinas, electrodomésticos y otros recursos que utilizamos y que consumen energía: cuanto más eficientes, menores son las emisiones.

INDUSTRIAS

En las industrias, tomando la producción de acero, por ejemplo, puede haber reducciones en las emisiones, ya sea aumentando la eficiencia energética (utilizando hornos y calderas más eficientes) o haciendo cambios en el proceso de producción de acero en sí, de modo que requiera menos energía para producir la misma tonelada de acero, ya sea manteniendo el mismo proceso de producción, pero volviéndose más eficiente, utilizando menos energía y materiales.

BIENES DE CONSUMO

Por el lado del consumidor, se aplica el mismo principio. Las estufas más modernas consumen menos energía para generar la misma cantidad de calor que las estufas más antiguas. Los coches nuevos también son más

“económicos”, en el sentido de que consumen menos litros de combustible. Las bombillas LED consumen menos energía y duran más que las bombillas normales. Y varios electrodomésticos, como refrigeradores y batidoras, por ejemplo, pueden ser mucho más eficientes y económicos en el consumo de electricidad - ya existen precintos que indican su eficiencia. A menudo, estos equipos más eficientes son más costosos, lo que penaliza a las poblaciones más pobres, que no pueden adquirirlos y terminan, a la larga, consumiendo y pagando más energía que las personas más ricas, que pueden invertir en estos equipos más eficientes y modernos.

TRANSPORTES

El sector del transporte representa el 23% de las emisiones mundiales de CO₂ relacionadas con la energía. Desafortunadamente, el sector automotriz no ha mostrado mejoras importantes en la eficiencia del consumo de gasolina, y es probable que la demanda de transporte aumente. Los coches eléctricos ya son una alternativa a los coches de combustión, pero siguen siendo caros debido a las baterías necesarias para almacenar energía. Para que el uso de coches eléctricos alcance una gran escala, necesitaremos baterías y tecnologías de carga mucho más eficientes [4]. En este ámbito, hay una gran carrera tecnológica, con una tendencia de fuerte entrada de vehículos eléctricos en la próxima década.

FOTOS 14 > TRANSPORTE ELÉCTRICO



Foto: the rabbit * lapin [14.A]

Carga de vehículos eléctricos en Fremont, California, 2015



Foto: Rafael-CDHT [14.B]

Carro eléctrico en São Paulo, Brasil, 2008



Foto: Fernando Frazão [14.C]

Tranvía de Rio de Janeiro, Brasil, 2016



Foto: Joachim Kohler Bremen [14.D]

Camión eléctrico mediano, Zurich, Suiza, 2015

PECUARIA Y CARNE BOVINA

La carne de res tiene una enorme marca de carbono, por lo que la carne de res que consumimos está asociada con enormes emisiones de gases de efecto invernadero. No es difícil entender, como dijo Bill Gates en 2013, que “no hay forma de producir suficiente carne para 9 mil millones de personas”. Dejando el cambio de hábitos de la gente para más adelante, “una de las alternativas es comenzar a producir carne cultivada en laboratorio y producir sustitutos que se vean, sepan y se sientan como carne de res real.

Esto ya no es ciencia ficción, tanto es así que la hamburguesa vegetariana ya existe comercialmente en varios países. Las grandes empresas y los grandes inversores se están tomando el problema muy en serio, dado que existe un amplio margen para reducir las emisiones mediante la producción y el consumo de alimentos con una marca de carbono mucho menor” [4].

EDIFICIOS

Otra fuente importante de emisiones de CO₂ son los edificios. Necesitan iluminación, electricidad, calefacción y refrigeración, ya sean residenciales, comerciales, en escuelas u hospitales. Las emisiones combinadas de estas fuentes representan casi el 20% de las emisiones globales. Parte de la respuesta es construir ciudades más inteligentes y sostenibles [4], y construir edificios que sigan estándares ambientales más estrictos, especialmente en lo que respecta al consumo de energía y agua.

Dichas prácticas sostenibles incluyen el uso de materiales livianos y reciclables, ventanas que se aclaran y oscurecen según sea necesario para la iluminación y calefacción o refrigeración, sistemas de reciclaje de agua, techos verdes que absorben el agua de lluvia y temperaturas frescas de los techos, sistemas de ventilación e iluminación natural, etc.

AGRICULTURA DE BAJO CARBONO

La agricultura, como ya se ha comentado, es una de las actividades responsables de las grandes emisiones de GEI. Brasil se ha destacado mundialmente en la búsqueda de tecnologías y alternativas de producción más eficientes desde el punto de vista económico y que generen menos emisiones de GEI. La Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria (Embrapa) ha estado liderando varias actividades a través del Programa de Agricultura Baja en Carbono (ABC). Las tres actividades del Programa con mayor potencial de reducción de emisiones son:

- A. Recuperación de pastos degradados. Hay áreas gigantes de ganadería en Brasil cuyos suelos no pueden producir buenos pastos. La

recuperación de estos suelos aumenta la absorción de carbono y, en consecuencia, se convierte en una forma importante de eliminar grandes cantidades de CO₂ atmosférico [5];

- B. Integración cultivo-ganadería-bosque y sistemas agroforestales. Es un modelo que integra la producción de diferentes sistemas de producción de granos, fibras, carne, leche, agroenergía, entre otros, en una misma zona. Esta integración puede ser consorciada (simultánea), secuencial o incluso rotacional (cuando se cambia el cultivo en cada plantación). Además de aumentar y fortalecer la producción, el sistema contribuye a mitigar las emisiones de GEI, retener el carbono en la biomasa y el suelo y aumentar la biodiversidad local [6];
- C. Sistemas de plantío directo. Son sistemas que buscan no mover ni perturbar el suelo, conservando carbono y otros nutrientes. Reemplaza el “consagrado” arado, reduce las emisiones de CO₂ y aumenta las reservas de carbono del suelo [7].

También existen otros sistemas de producción de alimentos que generan menos emisiones de GEI. El más conocido de ellos es quizás la agricultura orgánica, que utiliza insumos biológicos y no requiere productos químicos sintéticos. Otras formas de producción buscan producir y, en paralelo, recuperar suelos y ecosistemas degradados.

CAPTURA Y ALMACENAMIENTO DE CO₂

La captura y almacenamiento de carbono busca reducir las emisiones de GEI provenientes de la quema de combustibles fósiles durante los procesos industriales y la generación de electricidad en plantas termoeléctricas. CCS (*Carbon Cap and Storage*) implica la captura, transporte y almacenamiento a largo plazo de CO₂ en reservorios geológicos subterráneos profundos, específicamente, yacimientos de petróleo y gas ya explorados, formaciones de sal subterráneas, rocas porosas llenas de sal de agua e incluso en campos de petróleo en proceso de agotamiento para aumentar su producción [8].

Aparte de los riesgos durante el transporte de CO₂, la gran incertidumbre reside en este almacenamiento a largo plazo: por más seguro que sea, ¿cómo garantizar que no habrá fugas en los próximos 1000 años, por ejemplo? Se han realizado muchas investigaciones tanto para reducir los riesgos e incertidumbres del proceso de almacenamiento como para abaratar el proceso del mismo.

La demanda y el consumo como elementos clave

Básicamente, todas las emisiones causadas por el hombre provienen directa o indirectamente de nuestro consumo de bienes y servicios. Así, todas las actitudes que adoptemos hacia consumir menos cantidad, o consumir menos productos con una alta huella de carbono, ayudarán en la lucha contra el calentamiento global. Como todos sabemos, ni consumir menos ni consumir productos con menor huella de carbono implica empeorar nuestra satisfacción y calidad de vida; quizás sea todo lo contrario.

En el capítulo 4, vimos que son las personas ricas las que tienen una huella de carbono preocupante. Las personas pobres consumen lo estrictamente necesario (o menos) y, por lo tanto, no tienen espacio para reducir sus emisiones, ya sea de transporte, alimentos, electricidad residencial o consumo general – rubro representado por las “compras” que hacemos, que incluyen ropa, muebles, electrodomésticos, libros, etc. Por lo tanto, cuando hablamos de personas que reducen su consumo, nos referimos a la clase media alta y las personas adineradas, que tienen espacio para consumir menos y “mejor”, reduciendo sus emisiones.

Entre muchas clasificaciones posibles, límitese a los cuatro elementos mencionados, a saber:

- a) alimentos;
- b) transporte;
- c) electricidad residencial; y
- d) otros servicios, artículos de consumo y comportamiento.

ALIMENTOS

La acción más eficaz que podemos tomar para combatir el calentamiento global es dejar de comer carne, especialmente de res. Las emisiones de la carne de vacuno son 5 veces superiores a los equivalentes de la carne de pollo, por ejemplo, además de consumir 11 veces más agua. Las emisiones del ganado y los productos lácteos son responsables de casi el 15% de las emisiones globales de GEI.

La recomendación es comer frutas, verduras, cereales y todo tipo de frijoles. Además, es mejor elegir alimentos de temporada, producidos lo más cerca posible de donde vive, preferir los alimentos orgánicos (que no usan pesticidas) y evitar los alimentos importados transportados a largas distancias (reduciendo así las emisiones del transporte). Estas recomendaciones las podría hacer cualquier médico o nutricionista, porque además del beneficio ambiental y climático, son mejores para nuestra salud. Evitar el desperdicio también es importante, ¡y es bueno para su economía! [9].

FOTO 15 > DIETA SOSTENIBLE



Foto: Keith Weller [F15]

TRANSPORTE

La decisión obvia es evitar el transporte impulsado por combustibles fósiles (gasolina o diésel), especialmente el transporte individual, es decir, el automóvil. El transporte público es, obviamente, mucho menos contaminante, ya que compartimos nuestras emisiones con todos los demás pasajeros. Caminar o andar en bicicleta son las mejores opciones (¡incluso desde el punto de vista de la salud!). Si tiene que usar el automóvil, llénelo con etanol y / o compre un automóvil híbrido o eléctrico.

Es curioso comparar el promedio de emisiones de transporte de un ciudadano estadounidense (20 toneladas por habitante / año) con un ciudadano inglés, por ejemplo, ¡solo 7 toneladas! Los niveles de renta de los dos países son muy parecidos, y el hecho de que un ciudadano americano emita mucho más CO₂ que un típico europeo no implica una mejora en la satisfacción ni en la calidad de vida.

Otra acción importante se refiere al transporte aéreo. Las emisiones de las aeronaves son gigantescas, ya que consumen enormes cantidades de querosene de aviación (¡imagínese levantar todo ese acero en el aire, además de todo lo que entra en el avión!). La pandemia de Covid nos ha dado una buena lección: podemos reemplazar sin problemas los viajes de negocios con reuniones virtuales, reduciendo en gran medida las emisiones de carbono. Recordando que estos viajes también implican desplazamientos locales y servicios de transporte y alojamiento, todos asociados al consumo de energía y emisiones de CO₂. Si tiene que viajar, utilice la clase económica y opte por vuelos sin escalas [10] y [11].

ENERGÍA ELÉCTRICA RESIDENCIAL

Hay dos tipos de medidas para reducir el consumo de energía eléctrica en el hogar, la primera es el uso de electrodomésticos más eficientes. La mayoría de los productos electrónicos llevan hoy algún sello de eficiencia energética, siendo Procel el más extendido en Brasil. Los productos más eficientes tienden a ser más baratos a largo plazo. Además de los electrodomésticos, las bombillas incandescentes, aunque más baratas, consumen mucha más energía y acaban siendo más caras a la larga.

El segundo tipo de medidas se refiere simplemente a consumir menos y cambiar los hábitos de consumo: cuando sea posible, ¡batir el huevo con un tenedor y no con una batidora eléctrica!, desenchufar los electrodomésticos cuando no estén en uso (¡ellos consumen energía!), no olvidarse de apagar las luces, usar el aire acondicionado con moderación (su economía se lo agradecerá), colgar su ropa y no usar la secadora, moderar la temperatura del baño caliente, usar las escaleras y evitar el ascensor (su salud también lo agradecerá), etc. [11].

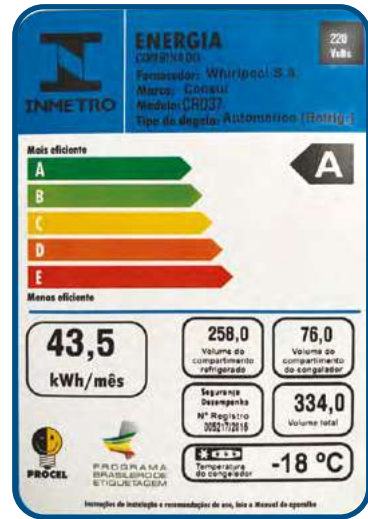


Foto: Arquivo de Autor [F16]

FOTO 16 > SELLO PROCEL Y ELECTRODOMÉSTICOS EFICIENTES

OTROS SERVICIOS, CONSUMO Y COMPORTAMIENTO

Las diferentes opciones de estilo de vida (lo que hacemos, cómo lo hacemos y nuestro comportamiento en general) marcan una gran diferencia en términos de emisiones de GEI y, de manera más general, nuestra huella ecológica. La primera opción es formar familias pequeñas. Aparte de las cuestiones personales, desde un punto de vista ecológico y presencial en el planeta como una especie más, un aumento aún mayor de la población humana es completamente innecesario.

Es fácil ver que cualquier persona más en el planeta, por simple, de bajo consumo y concienzudo que sea, solo habrá contribuido, a lo largo de su vida, a un pequeño aumento en el consumo y degradación de los recursos naturales y las emisiones de GEI, especialmente en países de ingresos más altos. En términos de emisiones de GEI, ¡tener un hijo menos es 25 veces más eficiente que vivir sin un automóvil! [12].

¡Evite el consumismo! A todos nos bombardean la publicidad y los incentivos al consumo y somos conscientes de que una parte sustancial de este

consumo es totalmente innecesario y perjudicial para nuestra propia economía y nuestra salud: ropa, productos desechables, plásticos, envases excesivos, etc. Las empresas y tiendas también están certificadas y / o apoyan abiertamente la lucha contra el calentamiento global, adoptando prácticas sostenibles y otras posturas y acciones “verdes”. Recordar que ser verde o ecológico no debe hacerle consumir un producto en grandes cantidades.

Intente reciclar la basura, separando los materiales reutilizables (como aluminio, papel y plásticos) de la materia orgánica; lleve su bolsa reutilizable al supermercado; rechace publicidad y declaraciones impresas en papel, utilice los servicios electrónicos de bancos, gobierno y empresas, evitando tener que desplazarse físicamente para ser atendido; utilice aplicaciones “inteligentes” que brinden buenos consejos, como mapas de carreteras que eviten los atascos (y las emisiones innecesarias). Pero trate de evitar las aplicaciones de transporte que conducen a desplazamientos individuales. Cuando sea posible, trabaje desde casa, evitando los desplazamientos. Estas son algunas de las ideas y prácticas más conocidas que simplifican la vida y reducen el consumo de energía, que es nuestra mayor fuente de emisiones de GEI.

Muchas de estas recomendaciones familiares se refieren no solo al calentamiento global y la ecología, sino que también se refieren a nuestra propia economía personal, nuestra salud y bienestar, buenas prácticas sociales, etc. Aun así, sentimos cierta inercia ante la necesidad de romper con prácticas conocidas como dañinas. Detener la carne es un ejemplo clásico. Vivir en una cultura donde “el asado de los amigos” es un momento de celebración y alegría nos impulsa a comer carne. Pero si dejar de comerlo por completo es difícil, es posible disminuir su consumo. Podemos establecer objetivos de reducción y tomar esto en serio, lo que ya será una contribución importante.

También existe la famosa afirmación de que “cambiar mi consumo no hace ninguna diferencia” y que “solo estaré haciendo un sacrificio inútil mientras todos los demás sigan con su consumo tradicional”. ¡Es difícil imaginar una postura más incorrecta! Todos tenemos que cambiar, y es la suma de todas las contribuciones, incluida la suya, lo que puede salvar al planeta del calentamiento global y sus otros problemas ambientales.

Es posible que su vecino simplemente no esté informado o que ya esté participando en el proceso de cambio; usted es el que no se ha dado cuenta. Dé el primer paso en la dirección correcta. Y disfrute y hable con su amigo y familia: sin esta acción individual, cada uno haciendo su parte, ¡seguro que fracasaremos en la lucha contra el calentamiento global!

Para estar más informado y saber mejor sobre qué y exactamente cómo hacer su parte, existen miles de sitios web en Internet, que contienen toda la información que necesitamos. Pero nada salvará su sentido común y su fuerza de voluntad; todos tenemos que revisar nuestros hábitos no solo en términos de nuestras emisiones de CO₂, sino también en términos de consumo de recursos naturales, apuntando a la sostenibilidad del planeta.

Por último, los gobiernos también pueden echar una mano. Los gobiernos pueden impulsar la superación de esta inercia de adoptar posturas más firmes sobre la sostenibilidad y el calentamiento global a través de campañas educativas, difusión de información, provisión de material, creación de eventos y espacios dedicados, etc. Numerosas ONG y organizaciones de diversa índole están interesadas en ayudar con la difusión de información y campañas “pro-clima”, y el gobierno definitivamente tiene mucha capacidad para ayudarlas y apoyarlas.

Fijación de precios al carbono para reducir las emisiones

Como se mencionó, a pesar de todos los efectos que causa, nadie es penalizado por sus emisiones de carbono. Si por cada tonelada de carbono emitida se cobrara una cierta cantidad, digamos, un precio, racionalizaríamos nuestras emisiones y las reduciríamos, de acuerdo con el precio cobrado.

Esta idea de fijar precios a las emisiones no es tan nueva, pero claramente encuentra mucha resistencia, especialmente porque afecta a la economía de todos. A pesar de ello, también se puede considerar una de las acciones fundamentales para afrontar el cambio climático.

Lo importante es controlar las emisiones de CO₂. Pero como no es posible medir las emisiones de cada actividad humana, es necesario utilizar algunas aproximaciones. Por ejemplo, un litro de gasolina tiene un contenido de carbono más o menos fijo, lo que nos permite saber cuánto CO₂ estaremos emitiendo cuando quememos ese litro. Por lo tanto, es posible agregar un valor al precio de la gasolina para capturar el efecto de las emisiones de carbono. La gran dificultad es encontrar cuál sería el valor adecuado a nivel mundial, capaz de hacer que las emisiones caigan a niveles deseables. Para cada objetivo de reducción, hay un precio del carbono asociado, por difícil que sea calcularlo.

Desde el punto de vista de la teoría económica, la gran ventaja de fijar precios de las emisiones es el hecho de que permite alcanzar el nivel deseado de reducción de emisiones al menor costo total. La explicación del porqué de esto es simple (ver BOX 5.2).

BOX 5.2 > Fijar el precio de las emisiones es la forma más económica de reducir las

El precio del carbono es un coste que se aplica a la contaminación provocada por las emisiones de este carbono con el fin de animar a los contaminadores a reducir la cantidad de gases de efecto invernadero que emiten a la atmósfera. Los economistas están de acuerdo en general en que introducir un precio del carbono es la forma más eficaz para que los países reduzcan sus emisiones.

Un precio sobre el carbono no solo tiene el efecto de fomentar un menor uso del carbono (p. ej., usar una bicicleta en lugar de conducir un automóvil), sino que también recauda dinero, que puede utilizarse en parte para financiar la limpieza de actividades “sucias” “. (p. ej. inversión en investigación sobre energías limpias).

Hay dos formas principales de establecer el precio del carbono. Primero, un gobierno puede imponer un impuesto al carbono sobre la distribución, venta o uso de combustibles fósiles, en función de su contenido de carbono. Esto aumenta el costo de estos combustibles y de los bienes o servicios creados con ellos, lo que alienta a las empresas y a las personas a cambiar a una producción y un consumo menos intensivos en carbono.

El segundo enfoque está vinculado a la creación de un sistema de cuotas llamado *cap-and-trade* (“límite e intercambio”). En este modelo, se establece un límite máximo o valor máximo permitido de emisiones (CAP) y, en consecuencia, se crean las licencias para las emisiones de CO₂. A continuación, las licencias se asignan o subastan entre empresas. Pueden intercambiar permisos entre ellos (TRADE), introduciendo un mercado de contaminación donde los contaminadores reducen las emisiones cuando es más barato, o comprar permisos de emisión cuando su costo de reducción de emisiones es demasiado alto. El costo total de lograr reducciones de emisiones será, por lo tanto, lo más bajo posible.

Para lograr una reducción gradual de las emisiones, el precio fijado por el gobierno puede aumentar gradualmente con el tiempo. Asimismo, el número de asignaciones se puede reducir con el tiempo, por lo que los dos mecanismos son equivalentes, pero no idénticos.

La renta recaudada, a través de precios subastados o licencias, puede ir al gobierno, en caso de que necesite aumentar su renta, pero puede “volver” a los contribuyentes, ya sea compensándolos directamente o reduciendo otros impuestos (por ejemplo, impuesto de renta y salud).

Continúa en la próxima página.

Continuación

Esta renta también puede destinarse a disminuir el impacto en las familias pobres, a ayudar a financiar industrias, con el objetivo de controlar sus emisiones, o a financiar la investigación sobre tecnologías limpias. Es importante recordar que el objetivo de la fijación de precio del carbono es cambiar el comportamiento y reducir las emisiones, y no aumentar la carga fiscal sobre los ciudadanos y las empresas, siendo esta la forma de medir su eficacia.

Fuente: Basado en [13]

Varios países ya están fijando el precio del carbono. Los niveles de precios todavía son demasiado bajos para inducir a las personas y las industrias a reducir sus emisiones de manera más significativa. Pero lo importante es que ya están empezando a mostrar la importancia de la fijación de precio y que, en algún momento, este nivel de precios puede (o debería) ajustarse para forzar realmente una reducción en el nivel de emisiones de GEI. Hay que tener en cuenta que esta iniciativa siempre será preferible desde un punto de vista económico (como se muestra en el BOX 5.2) a que simplemente se imponga una reducción igual de emisiones para todos.

Si por un lado poner precio al carbono es una forma posible de “penalizar” su consumo, la actitud opuesta es subsidiarlo. Los subsidios son transferencias que realizan los gobiernos para abaratar la producción o el consumo de determinados productos o actividades. Por ejemplo, si el gobierno subsidia la producción de arroz, el cereal llegará más barato al supermercado y lo consumiremos más. Esto es lo contrario de poner un impuesto al arroz, lo que lo encarecería y reduciría nuestro consumo.

A pesar de que la idea de fijar el precio del carbono para reducir las emisiones es buena, en el mundo real, ¡lo que se observa es todo lo contrario! En lugar de fijar el precio del carbono, los gobiernos han subsidiado las fuentes de energía fósil y los combustibles fósiles, lo que aumenta el consumo de fósiles y dificulta que las fuentes renovables compitan y entren.

Aunque también hay subvenciones a las fuentes renovables, nuestro mundo loco “pone un pie en el freno y el otro en el acelerador”. En 2017, los subsidios otorgados para la generación de energía a partir de fuentes renovables, incluidos los biocombustibles, totalizaron alrededor de US\$ 166 mil millones. ¡En el mismo año, los subsidios otorgados a los fósiles fueron casi 3 veces mayores: US\$ 447.000 millones [3]! En Brasil, los subsidios a los fósiles fueron de US\$ 23 mil millones en 2018 [14].

La razón por la que los gobiernos subsidian el petróleo y sus derivados es que estos insumos afectan a toda la economía. Por lo tanto, la bajada de precio hace crecer la economía, además de hacer que la energía sea más accesible para los más pobres. Con el calentamiento global, estos subsidios comienzan a tener un efecto muy negativo, ya que aumentan las emisiones de CO₂.

Entonces, antes de fijar el precio del carbono, ¿no parece más razonable eliminar los subsidios otorgados a los fósiles? Si lo está pensando, recuerde que esto aumentaría el precio del gas para cocinar, la gasolina, los pasajes de autobús y una serie de otros bienes que involucran energía y emisiones de CO₂, y eso puede afectar a su economía.

Eliminación del carbono atmosférico y soluciones de ciencia ficción: acercándose a algo peor

Una alternativa para minimizar directamente el calentamiento global sería eliminar el CO₂ y otros GEI de la atmósfera, o intentar interferir con el flujo de energía que entra y sale de la Tierra mediante procesos y técnicas de geoingeniería.

En cuanto al primer grupo, la idea de eliminar el CO₂ es simple en principio. Pero, ¿cómo limpiar toda la atmósfera? Hay dos tipos principales de procesos de eliminación: mejorar los procesos naturales existentes que eliminan el carbono de la atmósfera (por ejemplo, aumentar su absorción por algas, plantas, árboles, suelos u otros “sumideros de carbono”) o utilizar procesos químicos para capturar el CO₂ directamente del aire y almacenarlo en otro lugar (por ejemplo, bajo tierra). Todos estos métodos se encuentran en diferentes etapas de desarrollo, con diferentes potenciales y costos de remoción.

La reforestación y la restauración forestal han recibido una enorme atención recientemente como una de las opciones más interesantes para eliminar el carbono de la atmósfera a gran escala, almacenándolo en la biomasa forestal y en los suelos. Las Naciones Unidas declararon la década de 2020 como “la década de la restauración de ecosistemas”, haciendo un llamado a los países para que inicien procesos de recuperación de tierras degradadas como mecanismo para mitigar el cambio climático. Estudios muy recientes sugieren que este potencial de mitigación se ha subestimado en gran medida. Nuevas estimaciones sugieren que “...la extracción de forestación tropical entre 2020 y 2050 podría incrementarse en 5,7 GtCO₂ (5,6%) a un precio de carbono de US\$ 20 por tonelada de CO₂, o en 15,1 GtCO₂ (14,8%) a un precio de US\$ 50 por tonelada. Diez países tienen el 55% del potencial de reducción de bajo costo de la reforestación tropical” [15].

FOTOS 17 > REFORESTACIÓN Y RESTAURACIÓN FORESTAL



Foto: Agostinho Vieira [F17.A]

Proyecto de reforestación ITPA. Miguel Pereira, Rio de Janeiro, Brasil, 2019, Publicación original del Proyecto #Colabora



Foto: Archivo de autor [F17.B]



Foto: Archivo de autor [F17.C]

Resultado de la reforestación de Morro Dois Irmãos, Rio de Janeiro, Brasil, 1994-2021



Fuente: Elaboración propia

Otra categoría de técnicas utiliza procesos químicos para capturar CO_2 del aire y almacenarlo en escalas de tiempo muy largas dentro de formaciones geológicas profundas ubicadas bajo tierra. La conversión de material vegetal residual en una sustancia similar al carbón vegetal (llamada *biochar*) y enterrarlo en el suelo también se puede utilizar para almacenar carbono lejos de la atmósfera, durante décadas o siglos [16].

Otro proceso consiste en estimular la producción de microalgas en mar abierto. En alta mar, la producción de microalgas fotosintéticas es extremadamente baja, debido a la reducida disponibilidad de nutrientes. Un nutriente particularmente importante para la producción de microalgas es el hierro soluble, cuya introducción artificial podría fertilizar los océanos, promoviendo una intensa remoción de CO_2 de la atmósfera. El hierro soluble debería distribuirse en los océanos desde grandes veleros (que no emiten CO_2), ya que las emisiones de los motores marinos serían muy grandes y no compensarían la acción.

El segundo grupo de medidas se denomina “gestión de la radiación solar” (GRS); vean la Figura 5.5 y el BOX 5.3.



Fuente: Elaboración propia

BOX 5.3 > **Geoingeniería: ¿ciencia ficción para minimizar el calentamiento global?**

Difundir aerosoles de sulfato en la atmósfera. Situado en Filipinas, el monte Pinatubo hizo erupción en 1991 con una fuerza tremenda, expulsando enormes cantidades de dióxido de azufre (SO_2) que llegaron hasta la estratosfera. Este SO_2 reaccionó con el agua para formar una capa turbia de partículas de aerosol sulfuroso. Durante los próximos dos años, los fuertes vientos estratosféricos dispersaron estas partículas por todo el mundo, lo que resultó en un enfriamiento mensurable de la superficie de la Tierra.

Con base en esta experiencia, se consideró arrojar grandes cantidades de partículas de azufre en la estratosfera, creando “volcanes artificiales”. Este sería probablemente el Plan B más “aceptable” para hacer frente al calentamiento global. Sin embargo, existen numerosos riesgos asociados al proceso, incluyendo influencias en todo el proceso de fotosíntesis en la Tierra, cielos blanquecinos, impactos en el ciclo hidrológico, intensificación de eventos extremos, creación de lluvia ácida, probable daño a la capa de ozono, entre otros desconocidos efectos. Como ocurre con otras tecnologías, existen dudas sobre cómo detener el proceso abruptamente, si es necesario, y cuáles serían los impactos de esta discontinuidad.

FOTO 18 > ERUPCIÓN DE MONTE PINATUBO, 1991



Foto: Dave Harlow [F18]

Servicio Geológico de Estados Unidos, Filipinas, 1991

Continúa en la próxima página.

Continuación

Espejos en el espacio. La idea de este esquema es enviar a la órbita espejos gigantes (55.000 espejos, a cada 100 km²) hechos de malla de alambre; o enviar billones de espejos de luz y espejos diminutos (del tamaño de un DVD) para desviar la luz solar hacia el espacio. Equivaldrían a innumerables mini-eclipses artificiales para oscurecer el sol. Esta opción, considerada poco realista, tiene un costo prohibitivo, así como un potencial de enormes consecuencias no deseadas, con difícil reversibilidad.

Aumento de la cobertura de nubes. Sabemos que el color blanco refleja la radiación de la luz, mientras que el color negro la absorbe (por eso usamos ropa clara en verano, y el pavimento negro, como el asfalto, calienta más que un pavimento blanco). Debido a esto, las nubes, a pesar de retener el calor, reflejan la radiación solar. La intención es introducir vapor de agua y partículas de aerosol, que sirven como núcleos de condensación y formación de nubes.

Limpieza las de nubes marinas. Esta propuesta tiene la intención de hacer que las nubes del océano sean aún más blancas, lo que las haría más reflectantes de la luz solar. Esto se haría a través de barcos, que rociarían agua de mar en el aire, elevando la concentración de sal marina (un importante núcleo de condensación de las nubes), aumentando aún más la condensación de vapor de agua dentro de las nubes y haciéndolas más grandes y blancas.

Fuentes: [17], [18], [19] y [20]

Todas las técnicas descritas en el Box 5.3 tienen numerosas limitaciones como posibles alternativas para combatir el calentamiento global. Estas técnicas pueden impactar el balance de radiación que ingresa y sale del planeta, alterando los procesos de fotosíntesis, formación de nubes y ciclos hidrológicos, incendios forestales, además de intensificar eventos extremos. Se desconocen los impactos regionales de estas intervenciones; no se sabe cuánto tiempo tardarían en comenzar sus efectos o el calentamiento repentino que se produciría si tuvieran que interrumpirse; y podrían contribuir a destruir la capa de ozono que depende de la incidencia de la radiación cósmica, entre otros innumerables efectos posibles y desconocidos.

De hecho, lo que se sabe es que el uso de estas técnicas conduciría a una acidificación aún mayor de los océanos (ya que no habría remoción de CO₂ de la atmósfera) y contribuiría a destruir la capa de ozono, que depende de la incidencia de radiación cósmica. También se produciría una disminución de la radiación solar disponible, además de efectos poco conocidos sobre

la fotosíntesis, la formación de nubes y la producción de varios efectos ambientales que modifican los procesos relacionados con la presencia de aerosoles en la atmósfera.

No hay duda de que todas estas técnicas extremadamente controvertidas y arriesgadas parecen mucho más una interferencia de la ciencia ficción. De hecho, el calentamiento global en sí debe verse como una respuesta ambiental a las lentas y graduales intervenciones humanas de las emisiones de CO₂ a la atmósfera que, a la larga, comienzan a resultar desastrosas. Cualquier solución que experimente una interferencia aún mayor con la naturaleza y sus procesos debe ser ignorada desde el principio. La única forma de controlar el problema es reducir las emisiones. También conviene recordar que las “soluciones mágicas” desalientan los esfuerzos encaminados a reducir las emisiones (en la medida en que nos relajamos, pensando que hay una solución para revertir el problema). Además, una cuestión geopolítica fundamental: incluso si estas técnicas se utilizan en algún momento, ¿quién sería el responsable de realizarlas: los países ricos? ¿quién controlaría el proceso y quién lo supervisaría? Estos temas se tratan en parte en el capítulo 7.



Plantío de manglares
en Filipinas

VI.

ADAPTÁNDOSE AL CAMBIO CLIMÁTICO

De lo que ya se ha presentado, está claro que algunos de los impactos “iniciales” del calentamiento global ya se están sintiendo, y que tendremos que adaptarnos a ellos. Además, incluso si somos capaces de frenar rápidamente nuestras emisiones a muy corto plazo, existe una cierta inercia del clima y del sistema terrestre, por lo que aún están por llegar otros efectos, algunos de los cuales durarán mucho tiempo antes de revertirse. Así, todo nos lleva a la necesidad de adaptarnos al cambio climático.

La definición del IPCC sobre qué es exactamente la adaptación climática es muy intuitiva: podemos entenderla como el proceso de adaptación al clima, o al clima esperado y sus efectos. Este proceso de ajuste puede implicar algunas acciones muy simples y baratas y algunas muy complejas y muy costosas.

La buena noticia es que la gran mayoría de las medidas de adaptación son bien conocidas y al mismo tiempo, aportan numerosos beneficios que van mucho más allá de la adaptación estricta, en términos sociales, ambientales e incluso económicos, a menudo mayores que la propia adaptación.

Contexto y marco para comprender la adaptación

Para comprender el contexto y el marco general de la adaptación al cambio climático, tomamos el ejemplo de las ciudades, como países, empresas, particulares o familias. Para ello, utilizamos un enfoque conocido como PER - Presión-Estado-Respuesta - cuya ventaja es separar claramente los factores involucrados en la secuencia causal.

Según PER, los factores de presión son la primera causa de problemas: es el caso de los eventos climáticos. Cambian el estado del sistema, representado por las condiciones de la ciudad. La respuesta a los factores de presión es, en nuestro caso, realizar posibles acciones de adaptación. Además,



Fuente: Elaboración propia. Presentado originalmente en [1]

existen ciertos factores y condiciones que facilitan o favorecen la ocurrencia de impactos, que son las condiciones locales existentes que determinan la intensidad de los impactos y las posibilidades de respuesta. La Figura 6.1 ilustra este esquema para las ciudades, incluidos ejemplos de cada elemento.

Como se sugiere en la Figura 6.1, los factores de Presión son los probables cambios climáticos que afectarán a la ciudad, particularmente los eventos climáticos extremos, que incluyen temperaturas extremas, olas de calor y frío, sequías prolongadas, tormentas y vendavales, tornados y ciclones, entre otros. Los factores que posibilitan o permiten la ocurrencia de impactos (Box naranja) incluyen las condiciones socioeconómicas, físicas, geográficas y ambientales de la ciudad, y son los que dictan la intensidad de los impactos. Los ejemplos incluyen la proximidad a la costa, el estado de conservación de la infraestructura y los recursos naturales, el nivel de renta de las personas, la existencia de alternativas de suministro de agua y energía, la existencia de factores como redes de solidaridad y emergencia, etc.

La etapa del PER correspondiente al Estado consiste en los impactos del cambio climático. Como se indica en la Figura 6.1, son efectos en ancianos y niños (poblaciones más vulnerables), inundaciones, deslizamientos de

tierra, impactos en los servicios de transporte, suministro de energía y agua, con efectos en la producción, impactos en las zonas costeras, etc.

La última etapa del PER corresponde a las Respuestas y consta de las propias medidas de adaptación. Estas medidas varían enormemente entre sectores. En el propio diagrama se ilustran las medidas de adaptación para cada tipo de impacto. Otras medidas generales de adaptación se presentan en la Tabla 6.1.

TABLA 6.1 > EJEMPLOS DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

CATEGORÍA		EJEMPLOS DE OPCIONES
ESTRUCTURA FÍSICA	Ingeniería y áreas urbanizadas	Rompeolas, picos y estructuras de protección costera; presas contra inundaciones; sistemas de drenaje; almacenamiento de agua; ensanchamiento de playas; refugios contra inundaciones y ciclones; códigos de construcción; adecuación de la infraestructura vial y de autopistas.
	Tecnológico	Almacenamiento de agua de lluvia; instalaciones de almacenamiento y conservación de alimentos; sistemas de alerta temprana; aislamiento de edificios; nuevas variedades de cultivos agrícolas; modificación genética de granos; riego eficiente.
	Adaptación basada en ecosistemas	Restauración ecológica; aumento de la biodiversidad; repoblación forestal; conservación y replantación de manglares; ordenación pesquera; migración asistida o controlada; corredores ecológicos; manejo de recursos naturales basado en la comunidad; gestión adaptativa del uso de la tierra.
	Servicios	Redes de seguridad social y protección social; bancos de alimentos y distribución de excedentes alimentarios; programas de vacunación, servicios esenciales de salud pública.
SOCIAL	Educacional	Sensibilización e integración en la educación; compartir conocimientos locales y tradicionales; integración en la planificación de la adaptación; comunicación a través de los medios.
	Información	Mapeo de peligros y vulnerabilidades; sistemas de alerta temprana y respuesta; monitoreo sistemático y teledetección; Planes de adaptación basados en la comunidad, que incluyen mejoras comunitarias y construcción de escenarios participativos..
	Comportamental	Alojamiento; planificación de la preparación y evacuación del hogar; diversificación de los medios de vida.
INSTITUCIONAL	Económica	Incentivos financieros, incluidos impuestos y subsidios; seguro climático basado en índices; bonos de catástrofe; fondos rotatorios; pago por servicios ambientales; microfinanzas; fondos de contingencia para desastres; transferencias de dinero.
	Leyes y regulaciones	Legislación de zonificación; normas de construcción; servidumbres; regulaciones y acuerdos de agua; leyes de reducción del riesgo de desastres; leyes para fomentar la compra de seguros; seguridad de la tenencia de la tierra; áreas protegidas, incluidas áreas marinas, lagos y ríos.
	Políticas y programas gubernamentales	Planes de adaptación nacionales y regionales; programas de mejoramiento urbano; planificación y preparación contra desastres naturales; planes directores de ciudad, planes sectoriales, gestión integrada de recursos hídricos, gestión de zonas costeras.

Fuente: [2]

FOTOS 19 > EJEMPLO DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

Foto: Defesa Civil, autor no identificado [F19.A]



Sirenas de alerta de desastres en favelas de Rio de Janeiro, Brasil.



Foto: Archivo de autor [F19.B]

Pared contra el surf en la playa Arpoador, Rio de Janeiro, Brasil, 2018.

Foto: Archivo de autor [F19.C]



Canal de drenaje en Jardim Botânico, Rio de Janeiro, Brasil, 2021.



Foto: droneipir [F19.D]

Los parques verdes minimizan las olas de calor urbano. Parque St. Stephen's Green, Dublín, Irlanda, 2015

La adaptación como problema local

Son los gobiernos nacionales los que lideran el diálogo y participan en los acuerdos climáticos globales (el tema del próximo capítulo). Aunque estos acuerdos se realicen entre países y gobiernos nacionales, todas las acciones acordadas se reflejan en el ámbito local, por lo que los estados, municipios y ciudades - y todos los ciudadanos - tendremos que participar en el esfuerzo.

Si bien la mitigación de las emisiones es una tarea conjunta de todos los países, la adaptación al cambio climático es de interés individual para cada región específica. El problema sigue siendo global, ya que todos los países, ciudades y regiones del planeta se verán afectados: pero si las ciudades, por ejemplo, no se anticipan ni se adaptan al cambio climático, nadie más lo hará, y solo sus ciudadanos sufrirán las consecuencias. Si usted se encuentra en una zona de gran exposición o riesgo y no hace nada para adaptarse, solo sufrirá eventuales consecuencias.

Esta es una diferencia fundamental entre mitigación y adaptación. En mitigación, el esfuerzo de cualquier persona, ciudad, empresa o país beneficia a todos los demás en todo el mundo. Sin embargo, la adaptación es una cuestión de decisión local y su efecto y alcance también son exclusivamente locales. Su decisión de adaptarse o no, solo lo afectará a usted, pero no a mí. Además, sus necesidades de adaptación serán diferentes a las mías. En la mitigación, las acciones que toma benefician a todos.

RESPONSABILIDADES DE DIFERENTES NIVELES DE GOBIERNO

Las distintas naturalezas de las acciones de mitigación y adaptación señaladas están haciendo con que los gobiernos nacionales sean protagonistas en temas relacionados con la mitigación y que los gobiernos locales (estados y municipios) asuman el liderazgo de la agenda de adaptación. Esta distribución de roles no permite que ninguna de las esferas de gobierno se lave las manos de ambas: mitigación y adaptación. Los gobiernos locales deben desempeñar su papel en la mitigación, mientras que los gobiernos nacionales también juegan un papel clave en la agenda de adaptación. Los gobiernos nacionales pueden y deben proporcionar financiamiento y apoyo técnico a los gobiernos locales, y los gobiernos locales, a su vez, deben planificar e implementar estrategias de adaptación, ajustándolas a las condiciones locales específicas.

Vulnerabilidad, pobreza y déficit de adaptación

VULNERABILIDAD Y RESILIENCIA

Todas las personas, ciudades, países y empresas necesitan saber cómo adaptarse a un posible cambio climático y también qué esfuerzos deben hacer en esta cuestión.

La decisión de cuánto adaptarse inicialmente depende de dos factores. El primero se refiere al grado de riesgo al que está expuesta la ciudad. Cuanto más expuestos a los fenómenos meteorológicos, mayor es la necesidad de adaptación. En el caso de la ciudad, por ejemplo, la exposición depende básicamente de su ubicación y de las amenazas climáticas a las que está sujeta. Un pueblo costero puede estar expuesto a los efectos de las resacas más violentas provocadas por el aumento del nivel del mar, mientras que en un pueblo del interior este fenómeno obviamente no ocurre.

El segundo factor es el inverso de la vulnerabilidad, llamado resiliencia. La resiliencia indica qué tan preparada está la ciudad (o la persona o el país) para hacer frente a los fenómenos meteorológicos, especialmente los extremos. En la medida en que una población tenga mayor infraestructura, esté más

informada, sea más rica, más solidaria, entre otros factores, mayor será la resiliencia y menores serán los impactos de los eventos climáticos. La idea de adaptación es, por lo tanto, precisamente aumentar la resiliencia a los eventos climáticos. El problema son los costos involucrados. Si por un lado el interés propio de las ciudades es ser resilientes, también deben ocuparse de la salud, la educación, la seguridad y muchos otros problemas que las afligen. Por lo tanto, es necesario saber qué es lo más importante y urgente en cada momento.

ADAPTACIÓN Y POBREZA

Las personas más pobres se verán afectadas por el cambio climático de formas especialmente preocupantes. Las personas pobres tienden a vivir y trabajar en lugares más expuestos a los riesgos climáticos, sin infraestructura que los reduzcan, en hogares y barrios que enfrentan los mayores problemas cuando son impactados y, además, no cuentan con los medios para tomar medidas de protección inmediatas.

Esto pone de relieve cómo el cambio climático global es un problema socialmente injusto, especialmente cuando recordamos que los principales responsables del problema son las personas, las ciudades y los países más ricos. Estas personas están mejor preparadas para enfrentar el cambio climático, ya que cuentan con infraestructura y servicios más adecuados y, en consecuencia, suman la agilidad y los recursos que demandan situaciones inesperadas. Basta recordar lo que sucede en las inundaciones, cuando afectan a toda una ciudad: los barrios más pobres, los barrios marginales y las familias que viven en zonas de riesgo sufren mucho más que los barrios más ricos y las familias que viven allí.

FOTOS 20 > RESILIENCIA Y CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN DE RICOS X POBRES



Foto: Fernando Frazão [20.A]

Complejo da Maré, Rio de Janeiro, Brasil, 2020.



Foto: Atwater Village Newbie [20.B]

Casa en Holmby Hills, Los Angeles, 2008. En ese momento, la casa más cara de Estados Unidos.

También es importante destacar que esta mayor vulnerabilidad de las poblaciones pobres se aplica de manera más general a las poblaciones y minorías marginadas, incluidos los niños, las mujeres, las personas con discapacidad, las personas sin techo y sin hogar, las personas sin acceso a las redes de seguridad social, las comunidades indígenas, etc. Ellos tienen menos acceso a la información, menos adaptabilidad, menos acceso a los servicios de protección y asistencia social y de salud. En las zonas rurales, la situación de vulnerabilidad se ve agravada por los esfuerzos físicos que implica la recuperación de los impactos de los fenómenos meteorológicos extremos, así como por la propia pobreza, cuya incidencia es mucho mayor, por ejemplo, en familias dirigidas por mujeres y personas afrodescendientes.

DÉFICIT DE ADAPTACIÓN

Las ciudades de los países en desarrollo generalmente no están preparadas para lidiar con las condiciones climáticas actuales, y mucho menos con eventos más intensos. Ya existe un déficit de adaptación en la actualidad, que está en función de su etapa más baja de desarrollo. De hecho, no está claro si el déficit es de adaptación específicamente o si es un déficit de desarrollo de manera más general. En cualquier caso, se espera que la resiliencia climática aumente con el desarrollo.

Las acciones que reducen la vulnerabilidad, especialmente entre los más pobres, son acciones de desarrollo, ya sea en términos de creación de capital físico, social o económico. La reducción de los déficits de servicios básicos y la construcción de sistemas de infraestructura resilientes (suministro de agua, drenaje de aguas pluviales y residuales, electricidad, telecomunicaciones, transporte y respuesta a emergencias) reduce la vulnerabilidad al cambio climático. No existen *trade-offs*² entre la adaptación climática y los objetivos de desarrollo: las estrategias de adaptación son estrategias de desarrollo y viceversa.

Por último, vale la pena señalar que, dado que son más desarrollados, los países ricos son mucho más resistentes a los fenómenos meteorológicos que los países en desarrollo. Esto no significa que no sufran ningún impacto y mucho menos que ya estén preparados para los eventos más intensos que se esperan en el futuro. Pero en comparación con los países más pobres, ya tienen una gran ventaja competitiva y quizás, por eso, pueden enfocarse más en la mitigación que en la adaptación.

² Expresión en inglés que significa que para que tengas uno, debes renunciar a un poco de otro.

Decisiones sobre cómo adaptarse

La adaptación no es un conjunto rígido de acciones y los gobiernos pueden elegir la cantidad o el nivel apropiado de adaptación. Una posibilidad es adaptarse por completo, para que la sociedad esté tan bien como antes del cambio climático. Esto puede resultar imposible de conseguir y, en cualquier caso, resultará muy caro.

En el otro extremo, las ciudades pueden optar por no hacer nada, experimentando todo el impacto del cambio climático. A la larga, esta opción también resultará muy cara, porque los impactos serán muy importantes. En casos intermedios, los países invierten en adaptación, eliminando los problemas más amenazantes y viviendo con algún impacto (tolerable) del cambio climático.

LA ADAPTACIÓN NO RESUELVE EL PROBLEMA, PERO...

Por supuesto, la adaptación no resuelve el problema del cambio climático. Podemos evitar adaptarnos a él, pero no mitigar las emisiones, porque solo así seremos capaces de resolver eventualmente el problema. Entonces, en principio, solo deberíamos invertir en mitigación. Pero hay situaciones en las que es más fácil y económico simplemente adaptarse que mitigar.

También tenga en cuenta que cuanto más invertimos en uno de estos factores, menos incentivo tenemos para invertir en el otro. Teniendo en cuenta que los impactos son específicos de cada lugar, puede haber situaciones en las que la adaptación ya sea absolutamente urgente, mientras que esta urgencia aún no exista en otros lugares.

Un ejemplo clásico, ya mencionado en el capítulo 2, son los pequeños países insulares, principalmente en el Océano Pacífico y las Islas Maldivas (en el Océano Índico). Debido a que son muy bajos, estas regiones corren un grave riesgo de inundaciones y/o de vivir bajo la amenaza constante de inundaciones debido a cualquier cambio en el nivel del mar, lo que hace que la vida local sea prácticamente imposible. Para estas islas, que ya están al borde de los puntos de inflexión del nivel del mar, la adaptación es urgente y no hay tiempo para esperar los resultados de mitigación final.

Cuanto más tiempo pase y más tarde el mundo en reducir a cero sus emisiones de carbono, se alcanzarán más puntos de inflexión de diferentes tipos. Por lo tanto, los países, las ciudades y las personas deberán dedicarse cada vez más a la adaptación, protegiéndose de las crecientes amenazas climáticas.

INCERTIDUMBRE Y RIESGOS

La incertidumbre es una característica central en la adaptación al cambio climático: proviene de la incertidumbre en el conocimiento sobre el problema. Aunque sabemos que las anomalías climáticas ya se están manifestando y se sentirán cada vez más intensamente con el tiempo, es muy difícil precisar dónde y cuándo ocurrirán los diferentes eventos. Hay dos tipos de riesgo inherentes al problema: a) el de no hacer nada y ser sorprendido por fenómenos meteorológicos de alto impacto, con altas pérdidas y daños; b) tomar medidas de adaptación ahora y, con el tiempo, darse cuenta de que estas medidas eran innecesarias o exageradas.

Esta incertidumbre es fundamental para las decisiones a nivel local. Para los ayuntamientos, que ya enfrentan enormes desafíos para satisfacer las necesidades de servicios básicos de la población, la necesidad de adaptación climática se percibe como una acción a largo plazo, presentándose de manera imprecisa por las incertidumbres y la falta de información específica. Una forma de iniciar la agenda de adaptación sin ser rehén de las incertidumbres es implementar acciones “sin arrepentimiento”. Son acciones viables (beneficios mayores que costos) incluso en ausencia del cambio climático.

Dado que las acciones de adaptación son específicas de cada situación, no es posible generalizar medidas apropiadas que se apliquen a todos los contextos. En cualquier caso, ejemplos típicos de acciones de adaptación que “se pagan por sí mismas”, o que generan beneficios superiores a los costos incluso sin considerar el tema climático, incluyen el buen mantenimiento de la infraestructura de una ciudad (alcantarillas, redes de drenaje, redes de abastecimiento de agua, calles), así como la desautorización de asentamientos humanos en regiones muy vulnerables, como zonas de llanura, pendientes muy pronunciadas o sujetas a deslizamientos de tierra.

Otras acciones de muy bajo costo – y con resultados de adaptación muy positivos – resultan de la implementación de sistemas de alerta en áreas vulnerables. Estos sistemas, comunes en varias ciudades de Brasil, son vinculados a Defensas Civiles, que se activan en casos de amenaza inminente, alertando a la población local de la necesidad de redoblar su atención o, si es necesario, de evacuar áreas de riesgo y altamente amenazadas por un evento.

COBENEFICIOS

De la Tabla 6.1 y los ejemplos presentados, se puede ver que las medidas de adaptación consisten esencialmente en acciones conocidas y “tradicionales” tomadas por los respectivos sectores responsables. Por esta razón, ya aportan numerosos beneficios que no están necesariamente

relacionados con el clima, y estos beneficios suelen ser mayores que los beneficios derivados de la adaptación climática.

Un ejemplo muy ilustrativo es el de la reforestación. Además de aumentar la resiliencia de los bosques mismos y ampliar el hábitat de diversas especies, también sirve para capturar carbono de la atmósfera, aumentar la biodiversidad, ayudar a regular el clima, conservar los recursos hídricos, etc. Cada situación es única, pero estos beneficios son igualmente importantes. En el caso de los manglares, éstos también proporcionan alimentos y otros recursos a las comunidades locales; la urbanización de los barrios marginales mejora el drenaje, crea espacios abiertos y mejora la calidad de vida de la población (Foto 21).

FOTOS 21 > COBENEFICIOS

Foto: Helio & Van Ingen [F21.A]



Plantación de manglares en Senegal, proyecto de Livelihood Funds, reproducción autorizada por los autores.

Foto: Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro [21.B]



Programa Morar Carioca, Praça do Conhecimento, Favela Nova Brasília, Complexo do Alemão, Rio de Janeiro, Brasil, 2016

PLANEANDO EL HORIZONTE

Algunas acciones de adaptación pueden tener un alcance a muy largo plazo. Por ejemplo, cuando el aumento del nivel del mar es inminente, puede ser necesario evitar que se construyan nuevos edificios del mismo modelo que los edificios más antiguos o que tengan el mismo diseño de infraestructura. ¡Estas acciones sobre los códigos de construcción, por ejemplo, pueden tener un impacto de cientos de años! – que es la vida útil de un edificio ordinario. Asimismo, calles, puentes, cañerías, todos pueden y deben tener sus diseños ajustados, ante posibles impactos climáticos. Las acciones inviables en un horizonte de planificación más corto pueden ser perfectamente factibles, si el horizonte temporal es más largo. Sin embargo, como sabemos, a los gobiernos les resulta difícil pensar en políticas y proyectos a muy largo plazo, porque son incompatibles con sus intereses políticos a corto plazo.

FIGURA 6.2 > TIPOS DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

Existen varias clasificaciones para las medidas de adaptación al cambio climático. Algunos de las principales incluyen:

• MEDIDAS PROACTIVAS Y REACTIVAS

La experiencia con desastres naturales sugiere claramente que no es aconsejable esperar a que ocurran los desastres para que países, ciudades e individuos adopten medidas de protección y defensa frente a eventos climáticos extremos. La anticipación y la proactividad son mucho más económicas y socialmente indicadas que la remediación. Las medidas de mantenimiento y el buen funcionamiento de los equipos y sistemas son medidas preventivas, con varios beneficios colaterales.



• MEDIDAS 'FÍSICAS' Y DE POLÍTICAS

Algunas medidas son capital-intensivas e involucran obras y construcciones, como diques y presas, mejoras a las redes de drenaje, evacuación de áreas vulnerables, etc. Sin embargo, muchas medidas son "solo" normativas o institucionales, y tienen como objetivo inducir un cambio en el comportamiento de los ciudadanos. Los ejemplos incluyen la zonificación urbana y del uso del suelo, el desarrollo de capacidades, las campañas de capacitación e información, los sistemas de alerta y evacuación, etc.



• MEDIDAS DE ADAPTACIÓN PÚBLICA Y PRIVADA

Las medidas de adaptación pueden ser iniciadas tanto por particulares y empresas, como por diferentes ámbitos del gobierno. Aparte de las situaciones de las poblaciones muy pobres y desfavorecidas, dependerá de cada uno de nosotros adaptar eventualmente sus propios hogares, y no el gobierno. Los edificios, las fábricas e incluso las escuelas y hospitales privados también deberán adoptar sus propias medidas de adaptación. El gobierno será responsable de enfocarse en áreas públicas, infraestructura de la ciudad, etc.



Fuente: Elaboración propia

Adaptación en diferentes sectores

Para muchos de los impactos previstos del cambio climático, no existen medidas viables de adaptación a corto plazo. La acidificación de los océanos, por ejemplo, continuará y probablemente se acelerará mientras continúen aumentando las concentraciones de CO₂ en la atmósfera. En principio, no hay nada que se pueda hacer a escala mundial para revertir esto, aparte de la mitigación. Igualmente, no se puede hacer mucho por el derretimiento del hielo de Groenlandia, los polos y los glaciares, aunque es posible combatir las sequías esperadas con el derretimiento de los glaciares almacenando agua en embalses, especialmente cuando hay poblaciones dependientes de esta agua.

Los impactos sobre la biodiversidad y los ecosistemas son igualmente difíciles de abordar, por ejemplo, en el caso de los bosques. En general, se recomienda eliminar todo tipo de presión humana que pueda debilitarlos aún más y utilizar técnicas de manejo forestal que aumenten su resiliencia. Pero estas soluciones tienen sus límites: los animales y gran parte de la vegetación tendrán que encontrar sus propios mecanismos de defensa y supervivencia para adaptarse al cambio climático. Aquellos que no los encuentren perecerán.

Una técnica que busca fortalecer la capacidad adaptativa de los ecosistemas es la Adaptación Basada en Ecosistemas (ABE). “Este enfoque se basa en la premisa de que los ecosistemas saludables brindan más posibilidades de responder a los factores de estrés climático y, por lo tanto, son más resistentes. Así, además de la adaptación, ABE actúa en la prevención, mitigación y amortiguamiento de los impactos provocados por el cambio climático, pudiendo complementar o incluso sustituir métodos basados en la ingeniería. Es de destacar que la ABE no solo está relacionada con la Agenda Verde, sino que también ofrece opciones para la adaptación de otros sectores, como la salud, el transporte y las zonas costeras” [3].

AGRICULTURA

En el caso de la agricultura, probablemente el sector más directamente afectado por el cambio climático, existe una cierta ventaja que es el hecho de que los agricultores tradicionalmente “respetan” el clima, que es el principal factor determinante para el éxito de la producción.

FOTO 22 > ADAPTACIÓN AGRÍCOLA: EXPERIMENTOS DE MEJORA GENÉTICA



Foto: Nivaldo Schultz [F22]

Sistema de producción orgánica con plantas de cobertura terrestre, Seropédica, Brasil, 2021

Actualmente existen sistemas de información avanzados con datos climáticos y meteorológicos e, incluso en su ausencia, los productores se están adaptando continuamente a las variaciones y eventos climáticos. Las variaciones que se vuelven permanentes dictarán los cambios necesarios en la agricultura, incluidos los cambios de cultivos (por ejemplo, plantar maíz en lugar de arroz), integración cultivo-ganado-bosque, siembra y cosecha en diferentes momentos, riego, mayor fertilización y control de plagas y enfermedades. Una de las técnicas importantes es el mejoramiento genético de semillas, que permite que los cultivos soporten, por ejemplo, temperaturas más altas o estrés hídrico, asegurando la producción.

CIUDADES

Además de su papel principal en los esfuerzos de mitigación, las ciudades son un tema de gran preocupación con respecto a la adaptación climática, debido a las características urbanas de la mayoría de la población. Cabe recordar que es especialmente preocupante la situación de las poblaciones pobres, que tienen menor capacidad de adaptación y, concomitantemente, la situación de las zonas de baja renta, los barrios marginales y las zonas de riesgo en general.

Las ciudades deberían preocuparse inicialmente por los problemas que ya enfrentan en relación con los eventos climáticos (sus déficits de adaptación): lluvias e inundaciones, deslizamientos de tierra, olas de calor, enfermedades por vectores, etc. Algunas medidas son sencillas y deberían haberse llevado a cabo independientemente de la climatología, como el buen mantenimiento y funcionamiento de los sistemas de alcantarillado, abastecimiento de agua, recogida de aguas residuales, redes de transmisión de energía, etc. En muchos casos, es necesario ampliar o fortalecer algunos de estos sistemas.

Pero las ciudades no solo necesitan infraestructura. Las “ciudades verdes” son absolutamente la respuesta de adaptación deseada al calentamiento global. El hormigón y el asfalto, además de ser muy calientes y generar islas de calor urbano, impermeabilizan los suelos, provocando que el agua de lluvia se escurra de forma acelerada, provocando desbordamientos e inundaciones. Si hubiera cobertura vegetal, habría infiltración de gran parte del agua y la escorrentía también sería más lenta. Una parte del agua de lluvia se puede recoger para limpieza de edificios, por ejemplo. Los techos verdes en los edificios también ayudan a enfriarlos y pueden capturar parte del agua de lluvia, minimizando las inundaciones. Plantar árboles y crear espacios verdes y parques urbanos, además de bajar la temperatura y dar sombra a las calles, también son mucho más agradables a la vista. En definitiva, estas infraestructuras verdes pueden acabar prescindiendo de la tradicional infraestructura “gris”, que además de fea, es muy cara e intensiva en emisiones de CO₂.

FOTOS 23 > CIUDADES VERDES



Seattle (Estados Unidos)

Foto: Thom Milkovic [F23.A]



Copenhague (Dinamarca)

Foto: Pudelek [F23.B]



Vancouver (Canadá)

Foto: Thomas Quine [F23.C]



Curitiba (Brasil)

Foto: Mariordo (Mario Roberto Duran Ortiz) [23.D]

RECURSOS HÍDRICOS

Tanto la disminución como el aumento de agua en ríos y cuerpos de agua, que provocan falta de agua o inundaciones, ya están reclamando la atención de los técnicos en la gestión de los recursos hídricos. Los desagües de muchos ríos ya comienzan a mostrar un comportamiento diferente al histórico. La gestión de los recursos hídricos es fundamental, especialmente en casos de escasez, para asegurar un equilibrio entre todas las demandas. Algunas de ellas son: suplir las necesidades de vegetación, ecosistemas y animales, volúmenes suficientes para permitir la navegación - en su caso - abastecimiento de agua urbana, industrias, generación eléctrica y, sobre todo, riego agrícola.

Es evidente que cada caso es diferente: algunos usuarios tienen derechos legales sobre el uso del agua, algunos son usuarios “tradicionales”, algunos tienen poder político y juzgan tener el derecho de uso, otros entienden que se debe priorizar el abastecimiento urbano, finalmente, hay muchos intereses en conflicto, cuya administración no siempre es fácil.

En el caso de la falta de agua en una gran región metropolitana (por ejemplo, como lo vivido por la ciudad de São Paulo en 2014–2016) no es fácil decretar simplemente la interrupción del suministro de agua, ya que las consecuencias son impredecibles y muy serias. En cualquier caso, adaptarse a las variaciones futuras en la disponibilidad de los recursos hídricos implicará tanto una buena gestión del agua entre los consumidores, como posibles medidas para proteger las fuentes de agua, limpiar los ríos, construir embalses para almacenar agua o controlar los caudales, educación y sensibilización de los usuarios, uso de tecnologías eficientes de uso (en riego, por ejemplo, en nuestro consumo doméstico, etc.), entre otros.

ZONA COSTERA

El aumento del nivel del mar es sin duda una de las consecuencias más amenazadoras del calentamiento global. Es casi imposible admitir que las playas y las zonas costeras de todo el mundo algún día quedarán sumergidas. Edificios a lo largo de largas franjas costeras, así como villas junto al mar, que siempre han sido “el sueño del consumo” de todos, calles, parques, diversas infraestructuras construidas en la costa o incluso bajo el nivel del mar, todo podría inundarse. Está claro que “luchar” contra el mar no parece muy viable, salvo en los casos en los que hay mucho que perder.

Las fuertes medidas de ingeniería incluyen la construcción de rompeolas, muros de contención, elevación de áreas edificadas, incluidas calles e infraestructura, para hacer edificios a prueba de inundaciones a corto plazo. La ampliación de las playas y la restauración de la berma (reservorio de arena, ubicado en la parte superior de la playa) resuelven el problema de las regiones más expuestas al oleaje y al aumento del nivel del mar, a pesar de requerir la disponibilidad de material para hacerlo.

Las nuevas reglas y regulaciones de construcción frente al mar asociadas con la zonificación de su ubicación son importantes y deben implementarse de inmediato, con miras a minimizar problemas futuros. También conviene recordar que las medidas de reforestación y la siembra de manglares y vegetación costera son acciones que aportan grandes beneficios ecológicos.

FOTO 24 > PROTECCIÓN COSTERA, ISLA DE MALÉ, MALDIVAS



Foto: Shahee Ilyas [E24]

Isla de Malé, capital de Maldivas

SALUD

En el caso de la salud humana, las medidas de adaptación implican básicamente no solo fortalecer los sistemas generales de salud de las ciudades y sus sistemas de respuesta a emergencias, sino también adoptar medidas para mejorar los hábitos y prácticas de la población. Los centros de salud deben prestar atención a los aumentos en los casos de víctimas de calor extremo, deshidratación y enfermedades cardiovasculares y respiratorias, especialmente en los ancianos. También se debe tener cuidado con el aumento de las enfermedades transmitidas por vectores. Las campañas de información, las redes de servicios comunitarios, los sistemas de alerta, la plantación de árboles, la mejora de los sistemas de abastecimiento de agua, la recolección de aguas residuales y el drenaje de aguas pluviales son también medidas preventivas fundamentales para el sector salud.

VII.

NEGOCIANDO SOLUCIONES PARA EL CALENTAMIENTO GLOBAL

En este punto, debería quedar más que claro que el calentamiento de la Tierra y el cambio climático resultante son problemas absolutamente globales, en los que las acciones (emisiones) de cualquier individuo, empresa, ciudad o país contribuyen al problema. Una tonelada de CO₂ emitida por una gran fábrica en Alemania tiene el mismo efecto que una tonelada emitida por automóviles en una ciudad de China. Por esta razón, la solución al calentamiento global necesariamente tendrá que involucrar a todos los países del mundo, y esto es muy complejo.

Primero, todos los países deben tener la misma comprensión del problema, teniendo como premisa básica el respeto a la evidencia técnica y científica sobre sus causas, efectos y posibles soluciones.

En segundo lugar, todos deben ser conscientes de que el esfuerzo es global y común a todos los ciudadanos del mundo, incluso si las responsabilidades son diferentes. Por mucho que los países ricos, las personas ricas, China, la deforestación o la quema de carbón y petróleo sean los más responsables, todos estamos en el mismo barco, y si ese barco se hunde, todos naufragamos.

Puede que incluso estemos señalando a los más responsables, pero, aun así, es de interés de todos resolver el problema. La actitud de que “no hice nada”, o “hice poco, porque los ricos son los que tienen que solucionar el problema”, simplemente representa un retroceso de sus propios intereses. Sobre todo, porque son precisamente los países ricos y los ciudadanos del mundo los que están más preparados para hacer frente al cambio climático.

Por diferentes responsabilidades, se entiende básicamente la obligación de quién debe pagar la factura. Incluso sabiendo de dónde provienen las emisiones desde que comenzaron, hay muchas complejidades y pequeños problemas en los que podríamos detenernos en profundidad para asignar

responsabilidades. Y esto nunca llegaría a su fin, porque siempre habrá una comprensión diferente del problema, sus causas y lo que es justo para resolverlo. Si los países entran en esta “judicialización” y tratan de impugnar todas las decisiones tomadas por el grupo, las negociaciones no avanzarán, y la solución al problema solo se demora, lo cual es malo para todos.

Finalmente, el interés común y la urgencia por resolver el problema son los principales caminos, aunque las negociaciones climáticas involucren intereses muy diferentes entre países, sectores económicos, ciudadanos de todo el mundo. ¿Cuál es la posición de los países cuyas economías dependen fundamentalmente de las exportaciones de petróleo y gas? ¿Cómo están las empresas de estos sectores?

Los países ricos comprenden su mayor responsabilidad por el problema, pero ¿realmente pagarán la factura? ¿Qué sucede cuando un país cambia de gobierno y el nuevo decide no asumir los compromisos de su antecesor?

Y, sin embargo, ¿qué hacer cuando un país, como fue el caso de Estados Unidos, decide abandonar las negociaciones globales? ¿Cómo solucionar el problema sin ellos?

La mayoría de estas preguntas quedan sin respuesta y, por eso, las negociaciones avanzan aquí, retroceden allá, pero avanzan. Al mismo tiempo, sin lugar a dudas, la velocidad y los resultados en términos de revertir el calentamiento global siguen siendo muy insatisfactorios. El mundo ha superado el punto en el que cualquier emisión de carbono a la atmósfera sería aceptable. Y en lo que respecta a las negociaciones, todavía estamos muy lejos de que eso suceda.

El proceso de negociación global: la UNFCCC, el Protocolo de Kioto y el Acuerdo de París

Fue en el momento de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (ECO-92), celebrada en Rio de Janeiro, que la evidencia científica sobre el calentamiento global se volvió más consistente y el tema entró en la agenda de prioridades del escenario político mundial. La Conferencia dio lugar a la creación de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC), que es un tratado internacional cuyo objetivo es estabilizar la concentración de GEI en la atmósfera. En ECO-92, se estableció que los países se reunirían anualmente para debatir temas climáticos en las Conferencias de las Partes (COPs), que son reuniones con todos los países miembros. Las COPs son hasta el día de hoy el mecanismo formal para las negociaciones climáticas.



Foto: ISD/ENB [F25]

El proceso de discusión de los diversos temas tratados en las COP sigue un estándar estricto, siguiendo los protocolos definidos por la ONU, y es bastante lento. Además, como hay muchos temas que podrían discutirse, hay una selección cuidadosa. El proceso es supervisado por el Órgano Subsidiario de Asesoramiento Científico y Tecnológico de la Convención (SBSTA de la sigla en inglés), que ‘tritura’ el conocimiento y la información científica y los traduce en las necesidades políticas de la Conferencia de las Partes. Los países toman lo acordado en las COP y hacen sus deberes [1].

El primer acuerdo significativo de la UNFCCC fue el Protocolo de Kioto. Firmado en 1997, tardó hasta febrero de 2005 en finalmente entrar en vigor. Para el cumplimiento de su primera fase, entre 2008 y 2012, 37 países industrializados y la Comunidad Europea se comprometieron a reducir sus emisiones de GEI en un 5% respecto a los niveles de 1990. En la segunda fase, de 2013 a 2020, las reducciones deberían estar en menos 18% por debajo de los niveles de 1990. Cada país negoció su propia meta de reducción en función de su capacidad para cumplirla. Ciento noventa y dos países firmaron el Protocolo. De los países ricos, sólo Estados Unidos no lo ratificó. Sin embargo, continuaron con las responsabilidades y obligaciones definidas por la Convención.

El Protocolo de Kioto dividió a los países en dos grupos: los miembros de la OECD (ricos) sumados a los países del antiguo bloque de la Unión Soviética - todos llamados países del Anexo I - y el resto. Si bien los países del Anexo I tendrían compromisos máximos obligatorios de emisiones para el año 2010,

los demás no estarían obligados a promover reducciones. En ese momento, comenzó un enfrentamiento entre países desarrollados y en desarrollo, que resultó en la retirada de los Estados Unidos del acuerdo, alegando desventajas competitivas del crecimiento económico, en detrimento de los países en desarrollo, con la mirada puesta en China [2] y [3].

La salida de Estados Unidos debilitó la acción y la credibilidad del Protocolo de Kioto. Solo años después, en 2015, en la COP de París, se firmó una nueva estrategia de mitigación, conocida como Acuerdo de París. Su objetivo central es fortalecer la respuesta global a la amenaza del cambio climático limitando el aumento de la temperatura global este siglo “muy por debajo de los 2 grados Celsius de los niveles preindustriales, y continuar los esfuerzos para limitar aún más el aumento de la temperatura a 1,5 grados Celsius”. El Acuerdo pone mayor atención al tema de la adaptación, fortaleciendo la capacidad de los países para enfrentar los impactos del cambio climático, incluyendo algunos flujos financieros.

Uno de los principales hitos del Acuerdo de París fueron las NDC (Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional, de su sigla en inglés). Las NDC representan cuánto estaría dispuesto cada país a reducir espontáneamente sus emisiones de carbono. Sumando todos los esfuerzos, sería posible, en principio, alcanzar los objetivos de reducción deseados. Los países se comprometen a informar anualmente sobre sus emisiones y los esfuerzos realizados para tal fin. La abrumadora mayoría de países ha ratificado el Acuerdo de París (186 han presentado sus NDC) y entró en vigor apenas 30 días después de su firma.

El avance del Acuerdo de París en relación al Protocolo de Kioto es que todas las Partes (países desarrollados y en desarrollo) han establecido metas nacionales de mitigación. Los objetivos son para 2030, con miras a que los países se conviertan en cero emisiones de carbono para 2100. Sin embargo, el Acuerdo de París también tuvo sus obstáculos. Dos principales obstáculos resultan de que la suma de las reducciones propuestas por los países, a través de sus NDCs, sería insuficiente para alcanzar un calentamiento de 2°C - y mucho menos de 1,5°C. ¡Las ambiciones combinadas de las NDCs conducen a un nivel de calentamiento global entre 3° y 4°C!

Sumado a este factor, el Acuerdo de París no es vinculante, lo que significa que no pasa nada si un país no cumple con sus propios objetivos de NDC; no hay sanciones legales que puedan ser impuestas por otros países, y los objetivos simplemente no son alcanzados. En parte como resultado de todos estos factores, las emisiones derivadas de la quema de combustibles fósiles siguieron aumentando incluso después del Acuerdo.

Mercados de carbono, reforestación y REDD

Reconocidamente, el Acuerdo de París alentó la creación de varios mecanismos para facilitar la reducción de emisiones en todos los países, crear capacidad en los países menos desarrollados, ayudarlos en sus esfuerzos de adaptación y también para viabilizar el logro de los objetivos. De hecho, el Acuerdo solo dio un mayor impulso a varias iniciativas que ya se habían lanzado en el contexto de la UNFCCC desde su creación.

En el capítulo 5, por ejemplo, vimos que los instrumentos económicos pueden ayudar a inducir a las personas y empresas a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero. Los mercados, que funcionan “correctamente”, son de hecho una forma eficaz y económica de lograr reducciones de emisiones de GEI. La idea, lanzada durante ECO 92, sigue evolucionando, formalizándose a través de varios dispositivos definidos en las COP. Tres mecanismos de mercado principales vinieron a apoyar acciones y acuerdos entre países, en particular el Protocolo de Kioto. El Protocolo definió objetivos de reducción y los mecanismos de mercado vinieron a agilizar y abaratar su alcance [4].

Los tres mecanismos principales son: el Comercio de Emisiones, la Implementación Conjunta y el Mecanismo de Desarrollo Limpio. Los tres se basan en el principio de que controlar las emisiones puede ser mucho más barato para un país A que para un país B. En lugar de exigir que ambos reduzcan el mismo porcentaje, digamos un 30%, puede ser más barato para el país A controlar el 50% y el país B controlar el 10%. Después negocian el pago entre ellos o una compensación, lo que abarata el control en general. Esto genera un Comercio de Emisiones.

Otra forma es establecer un objetivo conjunto para los dos países para que negocien la forma más barata de alcanzar el objetivo juntos (Implementación Conjunta). El tercer mecanismo proviene del Protocolo de Kioto, a través del cual los países en desarrollo no tienen sus propios objetivos de reducción de emisiones, pero a menudo pueden reducirlas de forma más barata que los países más ricos, particularmente controlando la deforestación y conservando los bosques. El Mecanismo de Desarrollo Limpio permite que los países ricos paguen a los países en desarrollo para implementar proyectos de reducción de emisiones, que luego son reconocidos por los objetivos de Kioto.

Además de estos mercados regulados y oficiales, existe un mercado voluntario, en el que empresas, ONG, instituciones, gobiernos o incluso ciudadanos toman la iniciativa de reducir voluntariamente las emisiones. Estas reducciones generan créditos de carbono y son auditadas por una entidad independiente del sistema de Naciones Unidas, aunque los créditos

no cuentan como reducciones “oficiales” en las emisiones de carbono de los países [4]. Su operación es más simple e incluye el mecanismo REDD+, que es de gran interés para países con grandes extensiones de bosque - BOX 7.1.

BOX 7.1 > **Mecanismos REDD y REDD+ y la reforestación**

La palabra REDD proviene del acrónimo en inglés de *Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation*. Su idea básica es compensar a los países dispuestos a reducir las emisiones derivadas de la deforestación, considerando no solo la importancia de las emisiones globales derivadas de ellas, sino también el hecho de que los bosques albergan gran parte de la biodiversidad del planeta, desempeñando un papel clave en una serie de problemas ambientales. los servicios y el clima, además de los países donde se produce la deforestación, siendo Brasil el más importante, necesitan financiamiento para controlarla.

La idea central de REDD de cuantificar las emisiones que ocurrirían si hubiera deforestación es algo controvertida, ya que “aún no ha sucedido”. Por ejemplo, un país como Brasil podría, en principio, declarar que toda la Amazonía podría ser deforestada y que, por lo tanto, debería ser compensada por su conservación. Debido a este entendimiento, ha habido cierta renuencia a utilizar formalmente REDD para contabilizar los objetivos globales.

Al mismo tiempo, sin embargo, todos están de acuerdo en que es fundamental incluir la deforestación y la conservación de los bosques en los intentos de reducir las emisiones globales. La primera versión de lo que se convertiría en REDD se presentó en 2003 en la COP-9, en Milán, y fue formalizada por la UNFCCC en 2013. Los países en desarrollo con bosques tropicales, que logran reducir sus emisiones nacionales por deforestación, reciben la compensación financiera internacional correspondiente. El concepto de REDD se ha ampliado y se conoce como REDD+: el signo “+” incluye el papel de la conservación, la gestión sostenible y el aumento de las reservas de carbono en los bosques, más allá de la deforestación evitada y la restauración forestal. REDD+ permanece activo y Brasil ha sido uno de los mayores beneficiarios, con pagos recibidos por lograr resultados de conservación comprobados.

También en el caso brasileño, la restauración de la vegetación nativa es una de las estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático y cumplimiento del Código Forestal. En 2017, el Gobierno estableció el

Continúa en la próxima página.

Continuación

Plan Nacional de Recuperación de Vegetación Nativa (PLANAVEG), que tiene como objetivo precisamente incentivar y promover la restauración de bosques y vegetación nativa en el país. Si bien el objetivo del Plan no es específicamente mitigar el calentamiento global, en cualquier caso, aún no ha ganado prioridad en la agenda económica y ambiental del país, debido a la falta de una ruta clara de financiamiento.

Fuentes: [5] y [6]

La economía política de la negociación global: países ricos x países pobres

Las negociaciones climáticas son parte de un contexto internacional lleno de temas delicados y lleno de intereses y sensibilidades. Sin duda, el tema más fundamental es resultado de las disparidades entre países ricos y pobres. Aunque se trata de un problema diferente y único, en el que todas las partes tienen el mismo interés, reducir rápidamente las emisiones de GEI y minimizar el calentamiento global, cómo se debe lograr esto y cuál es el esfuerzo justo de cada país, es uno de los temas más difíciles de la agenda política y económica a nivel mundial.

¿Hasta qué punto los países ricos pagarán la factura y ayudarán a los más pobres a adaptarse y también a mitigar sus emisiones? Con más recursos, los países ricos podrán reducir sus emisiones más rápidamente, invirtiendo el equilibrio de responsabilidad sobre el problema. China es ahora, con mucha diferencia, el mayor emisor. A mediados de la década de 1990, las emisiones anuales de los países ricos eran menores que la suma de otros países, y pronto la suma de las emisiones acumuladas de los países en desarrollo será mayor que la de los países ricos. El poder económico también permite que los países ricos impongan sanciones comerciales y de otro tipo a los países más pobres, lo que convierte el problema del calentamiento global en otro problema de disparidad entre países y barreras al desarrollo.

Los países ricos son también los que, en general, tienen mayor conocimiento sobre el problema, lo que les otorga una ventaja sobre los países pobres en cuanto a buscar estrategias de mitigación y adaptación, anticipar problemas, proyectar escenarios futuros y buscar tecnologías adecuadas a sus necesidades específicas. Son ellos quienes, en términos generales, informan el proceso de negociación global, ya que, en los órganos técnicos asesores existe una mayor presencia e influencia de los países ricos [7].

Evidentemente, la reducción de las emisiones de GEI no se conseguirá “poniendo filtros en las chimeneas”. Resolver el calentamiento global requiere cambios en los hábitos de consumo, así como en los sistemas de producción, comercio y finanzas en todo el mundo. Serán necesarias altas inversiones en tecnología y cambios en el comportamiento de poblaciones enteras, lo que presupone la conciencia de un problema de extraordinaria importancia y complejidad en países que ni siquiera son capaces de garantizar el sustento mínimo de miles de millones de sus habitantes.

Este esfuerzo está mucho más allá de la capacidad actual de los países en desarrollo, especialmente los más pobres. Y no se trata solo de transferir recursos, sino de dirigirlos correctamente, de impulsar un desarrollo más general, y de proteger y crear sus propios mecanismos de adaptación para las personas y los países.

Las diferencias en responsabilidades y capacidades entre países ricos y pobres son reconocidas por la UNFCCC, que ha adoptado el principio de “responsabilidades comunes pero diferenciadas”. Como su nombre lo dice, todos los países se comprometen con los esfuerzos de mitigación, pero la responsabilidad de los países ricos es mayor, por lo que sus esfuerzos deben ser mayores. El Principio es reconocido por todos los países, pero el problema es cómo traducirlo en términos concretos de reducción de emisiones.

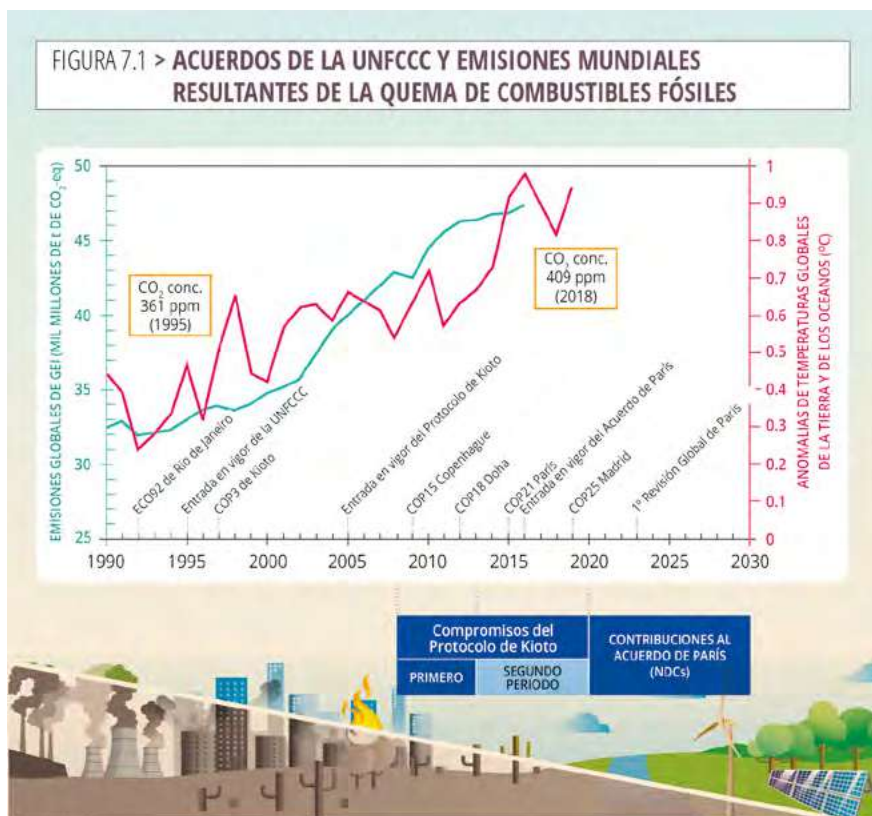
También es importante señalar que en cada uno de los grupos hay subgrupos con intereses y actitudes completamente diferentes. Entre los países ricos, por ejemplo, la Comunidad Europea ha estado muy por delante del resto, mientras que Estados Unidos, en particular, hasta la actual administración, ocupaba una posición conservadora y disonante del proceso de negociación global. El país que es la segunda economía más grande del planeta, con las emisiones históricas más altas y las emisiones de GEI *per cápita* más altas del mundo, durante un largo periodo se negó a participar activamente en las negociaciones globales. Su importancia dentro del grupo de países, junto con su ausencia en los grandes acuerdos globales, recortó drásticamente el incentivo de otros países para colaborar y hacer su parte, tanto ricos como pobres.

En cuanto a la UNFCCC como principal institución en la negociación climática, su lógica y mecanismos para intentar solucionar el calentamiento global siguen un patrón similar al de otras convenciones internacionales, desconociendo la particularidad de la agenda climática y su urgencia. El proceso de toma de decisiones, por consenso entre todos los países, parece justo y democrático, pero, de hecho, por su tamaño, no tiene la agilidad necesaria para la toma de decisiones, además de estar “envuelto” en una

burocracia extraordinaria. “Las dificultades que enfrenta actualmente la comunidad internacional son el resultado de su incapacidad para responder con eficacia al problema que se ha debatido [hace unos 40 años]. No afrontar la crisis supone un desafío aún más complejo para una comunidad que hasta el momento se ha mostrado incapaz de cooperar eficazmente” [8].

La propia idea de tratar de abordar el calentamiento global a través del sistema de agencias multilaterales en la actualidad resulta posiblemente inadecuada. “Inmovilizan la toma de decisiones sobre temas conflictivos que exigen más que el mínimo común denominador. Para hacer frente a un problema tan complejo como el cambio climático, las organizaciones internacionales tradicionales no parecen ofrecer la mejor configuración” [8].

El hecho es que hoy tenemos un sistema de comercio global que es en gran parte incapaz de responder rápidamente a los desafíos urgentes que plantea la cuestión climática. El crecimiento de las emisiones de GEI desde la creación de la UNFCCC sugiere que los acuerdos firmados realmente no han tenido un efecto visible, al menos en el corto plazo – Figura 7.1.



Fuente: [9]

Los países ya comprenden que el proceso de la UNFCCC es demasiado lento. Empresas, personas y sociedad civil en general demandan iniciativas alternativas de sus gobiernos. Fuera del sistema de la ONU, el G-20, que es el grupo de los países más ricos del mundo, ha colocado el tema del clima en el primer lugar de la agenda de discusión. Por su parte, el Fondo Monetario Internacional (FMI) lleva algún tiempo internalizando los desafíos climáticos en los análisis de política macroeconómica. Los ministros de economía de todo el mundo ahora están hablando sobre el tema del clima, revocando el viejo dogma de que la protección del medio ambiente va en contra del desarrollo económico. Mientras tanto, los grandes bancos internacionales de desarrollo - el Banco Mundial y bancos regionales de desarrollo como el BID - han ido incrementando el financiamiento de proyectos relacionados con el clima cada año, reduciendo o eliminando el financiamiento de centrales e industrias de energía a carbón, además de otras medidas en apoyo del Acuerdo de París.

La debilidad de la gobernanza internacional ante la crisis climática ha llevado al surgimiento de diferentes tipos de iniciativas que no son multilaterales y no necesariamente se toman entre gobiernos de países. Por el contrario, la mayoría de ellos ocurren entre ciudades, empresas, sectores económicos, o en torno a temas como bosques, eficiencia energética, transporte, etc. En el box 7.2 se presentan algunos ejemplos.

BOX 7.2 > **Iniciativas climáticas más allá de la UNFCCC**

Iniciativas privadas. BlackRock, el gestor de inversiones más grande del mundo, con más de US\$ 7,4 billones de dólares en inversión, anunció de forma autónoma que ya no invertirá en empresas que obtengan una cuarta parte o más de sus ganancias de acciones que involucren el uso de carbón. Jeff Bezos, fundador y CEO de Amazon, anunció una donación de \$ 10 mil millones para ayudar a combatir el calentamiento global. Microsoft también ha prometido una inversión de mil millones de dólares durante los próximos 4 años a través de su Fondo de Innovación Climática.

DivestInvest es una red global, creada para desinvertir en actividades intensivas en CO₂ e invertir en sectores con energías limpias y soluciones climáticas. La red está formada por fondos de pensiones, particulares, organizaciones religiosas, ONG, entre otros. En mayo de 2018, DivestInvest tenía más de 800 organizaciones, con más de US\$ 6 mil millones en activos, comprometidas a desviar capital de las empresas de combustibles fósiles. La ambición es expandirse a 14 mil millones de dólares en 2040, con 1.200 organizaciones y 58.000 personas.

Continúa en la próxima página.

Iniciativas dentro de las Naciones Unidas. Las agencias del sistema de las Naciones Unidas también han tratado de minimizar las emisiones de GEI de sus actividades principales. Los dos primeros son de la Organización de Aviación Civil Internacional (ICAO) y la Organización Marítima Internacional (IMO). Mientras que la ICAO busca identificar mecanismos para reducir las emisiones del transporte aéreo, responsable del 2,2% de las emisiones globales, la IMO se encarga del transporte marítimo, responsable del 2,9% de ellas.

Anexo de Kigali. El Protocolo de Montreal fue un acuerdo entre todos los países del mundo cuando se descubrió que el gas que entonces se usaba en los refrigeradores (clorofluorocarbonos - CFC) estaba destruyendo la capa de ozono. El Protocolo fue un éxito y rápidamente los CFC fueron prohibidos y reemplazados por hidrofluorocarbonos (HFC). El problema que se descubrió más tarde es que los HFC tienen un enorme efecto invernadero, más de 2000 veces mayor que el del CO₂. Por lo tanto, ¡también es necesario reemplazar estos HFC! El Anexo de Kigali complementa las disposiciones del Protocolo de Montreal, ahora evitando una sustancia que causa un efecto invernadero.

Sector forestal. El *Forest Carbon Partnership Facility* (FCPF) tiene como objetivo apoyar a los países en la implementación de proyectos REDD+ a través de asistencia técnica y financiera. Lanzado en 2008, el FCPF está presente actualmente en 47 países en desarrollo de África, Asia y América Latina. Los fondos ya superan los 1300 millones de dólares, procedentes principalmente de países europeos, Japón y Estados Unidos.

Rainforest Alliance. Es una organización no gubernamental que tiene como objetivo promover la conservación de la biodiversidad y los bosques en pie, mejorar los medios de vida de los agricultores y las comunidades forestales, promover sus derechos humanos y ayudarlos a mitigar y adaptarse a la crisis climática. La iniciativa tiene más de 30 años y tiene un alcance global. Su certificación sostenible ha ayudado a mejorar el comportamiento de los 170 países donde se propaga.

Ciudades. *C40 Cities Climate Leadership Group.* C40 es una red de ciudades influyentes que toman medidas para abordar el cambio climático apoyando el intercambio de conocimientos, la investigación y la comunicación y brindando asistencia, entre otras acciones. Sus 97 ciudades miembros, entre ellas Londres, Nueva York, París, Beijing, São Paulo, Rio de Janeiro, Salvador y Curitiba, concentran el 25% del PIB mundial.

Continuación

El C40 ha ayudado a colocar a las ciudades en una posición de liderazgo en el mundo de las iniciativas climáticas.

Climate Action 100+. Es una iniciativa de cinco años liderada por inversionistas para involucrar a los emisores de GEI sistémicos y otras compañías en la economía global, identificando oportunidades significativas para impulsar la transición a la energía limpia y lograr los objetivos del Acuerdo de París. Lanzado en diciembre de 2017, con 225 inversores y \$ 26 mil millones en activos bajo gestión, *Climate Action 100+* ahora cuenta con el respaldo de más de 360 inversores con más de \$ 34 mil millones en activos bajo gestión. El grupo espera que sus miembros puedan presionar a los directorios corporativos para que cambien y trabajen para reducir sus emisiones netas a cero en 2050, una solicitud con un gran potencial para cambiar la vida de muchas de las empresas más grandes del mundo.

TCFD del G-20. El Grupo de Trabajo de Divulgación Financiera Relacionada con el Clima (TCFD, de la sigla en inglés) fue establecido por la Junta de Estabilidad Financiera (FSB de la sigla en inglés), que es un grupo internacional integrado por ministros de economía y presidentes de bancos centrales para monitorear el sistema financiero, solicitud del G-20, teniendo como presidente, el político y multimillonario estadounidense Michael Bloomberg. Apoyado mayoritariamente por instituciones financieras, a través de una serie de diálogos entre sectores, financieros o no, el Consorcio busca profundizar la discusión sobre la difusión efectiva y eficiente de información relacionada con el clima y su uso por parte de las instituciones financieras.

Iniciativas en América Latina

“Roofs to Reefs” (De los tejados a los arrecifes) de Barbados. Un proyecto innovador que busca integrar la problemática climática con los desafíos del desarrollo. Es una iniciativa notable que integra la mitigación y adaptación climática con las políticas sociales y la resiliencia de la infraestructura a los desastres naturales. El programa fue encabezado por el Ministerio de Hacienda, Economía e Inversiones y, en palabras del ministro del ministerio: “Tradicionalmente, hemos visto una gran cantidad de proyectos diferentes que se limitan a los ministerios de medio ambiente, que están destinados a tener algún impacto en términos de biodiversidad o aumentar la resiliencia climática, pero carecen de escala. En una isla como Barbados, en un contexto donde, como país

Continúa en la próxima página.

entre los trópicos de Cáncer y Capricornio, estamos a la vanguardia de los desastres climáticos, hemos determinado, como Gobierno, que tener estos pequeños proyectos en ubicaciones discretas no nos dará la escala para permitir que nuestra gente sobreviva a la crisis climática. Entonces, Roofs to Reefs fue diseñado para asegurar que nuestra recuperación económica, que nuestro plan económico, no se desarrolle de ninguna manera por separado de nuestra agenda de desarrollo sostenible. Roofs to Reefs son realmente todas las intervenciones reunidas en un programa, todas las intervenciones que son necesarias para una economía resiliente al clima” [10].

Restauración forestal en Costa Rica. Costa Rica demostró cómo la reforestación puede ayudar a lograr los objetivos del Acuerdo de París. Mientras que los bosques ocupaban el 77% de la tierra en 1943, la producción agrícola y ganadera los redujo al 41% en 1986. El gobierno decidió revertir esta situación lanzando un ambicioso programa de restauración que ha tenido excelentes resultados en un período de tiempo relativamente corto.

El éxito del programa se debió a razones económicas. La combinación de la prohibición de la deforestación con la introducción del llamado Pago por Servicios Ambientales (PSA) – que paga a los agricultores para proteger las cuencas hidrográficas, conservar la biodiversidad o mitigar las emisiones de dióxido de carbono– es la razón del éxito. El PSA paga un promedio de US\$ 64 por hectárea por año por protección forestal básica, según FONAFIFO – Fondo Nacional de Financiamiento Forestal. El esquema permite a los agricultores generar ingresos adicionales mediante la extracción selectiva de madera de áreas reforestadas. Los fondos provienen de donaciones, préstamos y un impuesto a los combustibles fósiles, habiendo financiado un total de US\$ 500 millones a propietarios de tierras en los últimos 20 años. FONAFIFO ha firmado contratos con más de 16.000 agricultores, ha salvado más de 1 millón de hectáreas de bosque, equivalente a una quinta parte del área total del país, y ha plantado más de 7 millones de árboles.

Además de incrementar la remoción de carbono de la atmósfera, la restauración forestal incentivó el ecoturismo en Costa Rica, que hoy recibe a 3 millones de turistas, la mayoría buscando descubrir la belleza natural del país, y hoy representa el 8% de su PIB y emplea a más de 200.000 personas. Además, más de 18.000 familias se beneficiaron del Programa PSA entre 1997 y 2019, incluidas 2.788 mujeres, 6.888

Continuación

hombres, 19 comunidades indígenas (303 proyectos) y 8.712 asociaciones familiares - [11] y [12].

Declaración de ex ministros de economía y ex presidentes del Banco Central de Brasil. En una iniciativa única y sin precedentes, estas autoridades firmaron, en julio de 2020, una carta titulada “Una convergencia necesaria: por una economía baja en carbono”. La Carta defiende que “los criterios para reducir las emisiones y el stock de gases de efecto invernadero en la atmósfera, y para la resiliencia a los impactos del cambio climático, se integren en la gestión de la política económica”. Las cuatro líneas de acción recomendadas son: a) apoyar inversiones públicas y privadas destinadas a la transición de la economía brasileña a un estándar de cero emisiones netas de carbono; b) deforestación cero en la Amazonía y en el Cerrado; c) aumentar la resiliencia climática, lo que también trae un gran dividendo social, ya que los extremos climáticos tienden a afectar de manera desproporcionada a las poblaciones más pobres; y d) fomentar la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías.

Fijación de precios del carbono. La mayoría de las economías avanzadas han instituido o están estableciendo precios del carbono, que es la forma rentable de reducir las emisiones de carbono a nivel mundial y se discutió anteriormente. “En el caso específico de América Latina, los impuestos sobre el carbono han sido adoptados por ciertos países. ... Los casos más notables son el de Argentina (inicialmente US\$ 10 por tonelada de CO₂, de US\$ 6,25 a fines de 2019, como consecuencia de la depreciación de la moneda), Colombia y Chile (ambos en US\$ 5 por tonelada de CO₂) y México (US\$ 2,5 por tonelada de CO₂).

El impuesto al carbono de Argentina se aplica a todas las fuentes fósiles excepto el combustible para aviones y el gas natural, y abarca el 20% de las emisiones de GEI totales. México fue el primer país latinoamericano en establecer un impuesto sobre el carbono, en 2013. Sus índices varían dependiendo del contenido de carbono de la fuente fósil en relación con las emisiones de GEI del gas natural, que, como el combustible de aviones, están exentos, cubriendo el 47% de las emisiones de GEI. Chile redactó su impuesto del carbono en 2018 para el sector eléctrico, en particular para grandes calderas y turbinas, representando el 39% de las emisiones de GEI totales. Su recaudación debería ser capaz de financiar la educación y renovar la matriz eléctrica de Chile. Por último, Colombia estableció una reforma al impuesto sobre el carbono en diciembre de

Continúa en la próxima página.

Continuación

2016, que incluye a la mayoría de las fuentes fósiles, incluyendo al gas natural para usos petroquímicos y de refinería, lo que representa 40% de las emisiones de GEI totales. La producción de carbón (mayormente para exportación) está exenta. La ley establece créditos de exención para inversiones en proyectos ecológicos. En términos de la asignación de ingresos, el 25% se destina a preservar diferentes ecosistemas y el 75% para financiar la implementación del acuerdo de paz” [12].

Fuente: [10], [11], [12], [13]

Dos críticas fundamentales adicionales del sistema comercial existente

Además de las críticas al Acuerdo de París y al proceso burocrático de la UNFCCC, hay otras dos críticas que consideramos importantes para el proceso de negociación. La primera es que cualquier acuerdo para reducir las emisiones debería basarse en el presupuesto de carbono.

Como se presentó en el capítulo 3, el balance de carbono indica cuánto aún podemos emitir hasta que la concentración de GEI en la atmósfera alcance el nivel correspondiente a 1,5°C o 2°C de aumento de temperatura en la Tierra. Estos números son bastante conocidos. Por lo tanto, todos y cada uno de los acuerdos entre países que realmente quieran alcanzar estos objetivos, o cualquier otro, deberían tomar el presupuesto de carbono como punto de partida. Sabiendo cuántas toneladas aún podrían emitirse para 2050, por ejemplo, los gobiernos negociarían las emisiones anuales de cada país.

Este relato, tan extendido en la literatura climática, nunca ha sido tomado en serio en las Convenciones Climáticas. ¿Por qué? Cualquiera que sea la respuesta, la falta de voluntad y determinación para limitar realmente las emisiones es clara. Es evidente que el problema sería la determinación de quién podría emitir, cuánto y en qué período. Esta sería otra gran disputa entre países ricos y pobres, pero, a diferencia del sistema actual, no implicaría metas inciertas, contribuciones “posibles” o “aceptables” o acordadas, sino lo que, de manera efectiva o legal, cada uno aún podría emitir.

La otra crítica se refiere a la causa fundamental de las emisiones provenientes del consumo de bienes y servicios, principalmente por parte de los ricos. El consumidor rico, independientemente del país en el que viva, emite muchos más gases de efecto invernadero que un ciudadano pobre. En

este sentido, los objetivos de reducción de emisiones deben estar, directa o indirectamente, dirigidos al alto nivel de consumo de las personas ricas y de clase media alta en todo el mundo. Como se llevan a cabo entre países, las negociaciones eclipsan las grandes diferencias en el consumo de los ciudadanos dentro de cada país. Cuando el gobierno de Brasil, por ejemplo, afirma que el país debería tener objetivos de reducción de emisiones más bajos porque no es un país tan rico, en realidad está protegiendo el consumo de los ciudadanos ricos de Brasil, que también tienen que pagar la factura.

Por supuesto, sería muy difícil crear un esquema de negociación entre ricos y pobres en todo el planeta. El único sistema que permitiría esto sería la fijación de precio del carbono, que se analiza en el capítulo 5. Si el precio de todos los bienes y servicios fuera acorde con su contenido de carbono, los consumidores ricos pagarían mucho más que los pobres, ya que consumen más. Los gobiernos, a su vez, podrían compensar a los más pobres por el aumento en los precios de los productos, de modo que solo los realmente ricos serían penalizados, pagando la factura del calentamiento global.

VIII.

CONCLUSIONES

El libro trató de resaltar la gravedad del problema del calentamiento global y sus diversas implicaciones para el planeta y para toda la humanidad. El nivel de impacto dependerá únicamente del esfuerzo y la velocidad con la que se reducirán las emisiones de GEI. Según la propia ciencia, la decisión de eliminarlos rápidamente y no incurrir en los escenarios de impactos más dramáticos o trágicos sigue en nuestras manos. Todos los puntos de inflexión comienzan a llamarnos amenazadoramente. Solo la negación de la ciencia puede desviarnos de ver esto claramente.

Es imposible precisar cuáles de estos puntos de inflexión son más inminentes y cuáles tendrán el mayor impacto. Pero solo tenemos este planeta, y aunque la *sabanización* del Amazonía afecte más directamente a América del Sur, al final todo el planeta sentirá sus efectos, de una forma u otra. Es como un cáncer en el cuerpo humano: puede comenzar donde sea, pero en algún momento todo el cuerpo lo sufrirá. Ambos son sistemas únicos, con todos sus procesos vinculados e interdependientes.

El libro también dejó en claro que no existe un Plan B. No hay un planeta alternativo al que ir, no hay recursos imaginables para hacer frente a los peores escenarios climáticos, no hay evidencia científica que sugiera que los impactos sean reversibles o que el planeta podría aguantar un poco más de lo que pensamos.

El calentamiento es un problema global único, en el sentido de que ningún otro ha puesto al planeta en tal riesgo. Nuestra historia de lidiar y enfrentar estos problemas ha tenido sus altibajos. Poner fin a la pobreza y la desigualdad sigue siendo, sin duda, el mayor desafío de la humanidad. Todos los ciudadanos del mundo aspiran a esto.

El mundo se ha vuelto asustadoramente rico en los últimos 50 años. La economía mundial pasó de 19 mil millones de dólares en 1970 a 85 mil millones

de dólares en 2019. En el mismo período, el número de personas que vivían en la pobreza extrema se redujo de 1.800 millones (35% de la población mundial) a 770 millones (11% de la población mundial) [1]. Estos resultados, aunque alentadores debido a su tendencia, siguen siendo inaceptables. La pobreza es inaceptable. Las mejoras se han producido en paralelo con un aumento de la desigualdad entre personas y países.

“La desigualdad de la renta ha aumentado en la mayoría de los países desarrollados y en algunos países de renta media desde 1990. En los países donde la desigualdad ha aumentado, vive más de dos tercios (71%) de la población mundial. Si bien no es una tendencia universal, la renta y la riqueza se concentran cada vez más en la parte superior. En las áreas con datos disponibles, la proporción de renta que va al 1% más rico de la población mundial aumentó en 46 de 57 países durante el período 1990–2015. Mientras tanto, el 40% de la base ganó menos del 25% de la renta de los 92 países con datos” [2].

Mientras que la desigualdad de renta aumenta y una minoría se enriquece cada vez más, el calentamiento global es diferente, porque nadie se beneficia de él. Todos pierden, aunque hay quienes aún se benefician de las emisiones. Son precisamente los principales emisores de la actualidad, ya sean países, sectores económicos, determinadas clases de ingresos, empresas, etc. Algunos de ellos quieren impulsar la decisión de eliminar las emisiones lo más adelante posible, creando una especie de supervivencia de las condiciones actuales. Pero esto nos llevará, como hemos visto, al borde del precipicio, incluidos estos propios agentes, afectando al resto de ciudadanos, países y empresas. Y más aún para las generaciones futuras.

¿Qué lecciones podemos aprender de este libro?

- Es necesario un mayor respeto al planeta, debido a su limitada capacidad para resistir las presiones humanas en todas sus formas de consumo depredador de recursos naturales, contaminación, falta de respeto a otras especies animales, ocupación de áreas frágiles y vulnerables, destrucción de ecosistemas, bosques y hábitats naturales. El calentamiento global es la entrada más reciente en esa lista y la más amenazante de todas. El aumento de las concentraciones de CO₂ en la atmósfera, producto de las emisiones humanas, alcanzó niveles nunca alcanzados en los últimos 800 mil años o más.
- La Tierra ha atravesado un período de gran estabilidad climática en los últimos 10.000 años y casualmente, en este corto período se produjo un extraordinario desarrollo de la especie humana. No es posible ignorar las favorables condiciones de la naturaleza. Ciertamente, cambiar el equilibrio actual de ese sistema no conducirá a mejores condiciones.

Y la supervivencia y el desarrollo del hombre en la Tierra también se verán obstaculizados.

- El calentamiento global es un problema muy complejo y existen muchos vacíos en el conocimiento. Pero las incertidumbres sobre todos los procesos climáticos no eliminan la gran certeza sobre su existencia y sobre su origen en las emisiones humanas de CO₂. Dado que la evidencia científica apunta a enormes riesgos para toda la vida en la Tierra, es completamente inaceptable que apostemos en su contra. No hay otro planeta y, de hecho, estamos poniendo en riesgo una gran parte de todo lo que la humanidad ha construido hasta ahora. Arriesgarse a que las predicciones de la ciencia estén equivocadas y luego darse cuenta de que eran correctas será un error dramático, con consecuencias incalculables. Sin duda, es mejor dedicar esfuerzos ahora, incluso si más tarde resultan exagerados. Este suele ser el caso en el que prevenir es infinitamente mejor que curar.
- Los fenómenos meteorológicos extremos proyectados son los que más nos asustan, ya que provocan eventos de alto impacto, alta visibilidad y graves consecuencias. De hecho, quizás sean las mayores preocupaciones. Pero no solo ellos. Los cambios climáticos no aparecen de forma notoria, son lentos y graduales y se han ido produciendo en todo el mundo, determinando un nuevo patrón meteorológico. Adaptarse a estas nuevas condiciones será difícil, especialmente para las poblaciones más vulnerables y pobres, en las áreas rurales, en los países y ciudades más pobres.
- Nuestro consumo es una causa fundamental del calentamiento global, siendo estrechamente dependiente y vinculado a nuestra renta y riqueza. Todo tipo de cosas que consumimos y servicios que utilizamos (energía, alimentos, ropa, transporte) están relacionados con las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera. Las personas, las ciudades y los países pobres consumen menos de estas cosas y, por lo tanto, emiten menos CO₂ y otros gases de efecto invernadero. Solo los más ricos pueden modificar y reducir sus consumos y emisiones. Los pobres y los países pobres también tienen que ayudar, pero no deberían ser ellos los que paguen la factura. Los ricos de América Latina también están en el grupo de pagadores y no están protegidos porque viven en un país de renta media.
- América Latina y el Caribe tienen países muy diversos con responsabilidades muy diversas en relación al calentamiento global. Los dos principales en términos de emisiones y población son Brasil y México. A pesar de que sus posiciones pasadas han sido reconocidas en el escenario mundial, en los últimos años ambos han sido malos ejemplos a seguir en la solución del problema, especialmente Brasil. México ya tiene un impuesto

al carbono, Brasil aún está lejos de algo similar. Otras economías importantes, como Argentina, Chile, Perú y Colombia, han buscado acompañar a otros países del mundo en el contexto del Acuerdo de París. Los países de Centroamérica y el Caribe son sui-generis en el contexto global por ser uno de los menos responsables del calentamiento global y, por otro lado, por ser de los países más impactados por los consecuentes cambios climáticos. Los países andinos también enfrentan un serio desafío en términos de su futura disponibilidad de agua. En cualquier caso, la región en su conjunto tiene un gran potencial para los recursos naturales y puede descarbonizar su economía de manera relativamente rápida y económica.

- Las soluciones al calentamiento global pasan por un conjunto de acciones de diferentes tipos. Por un lado, las personas más ricas tienen que reducir su consumo. Esto incluye prácticamente todas las actividades, desde la comida hasta el transporte, el entretenimiento y la vivienda. Entonces, la matriz energética global tiene que volverse neutra en carbono, lo que implica inversiones masivas en energías renovables y una mayor eficiencia en tecnologías de producción (industrias, agricultura) y consumo (automóviles, energía residencial, etc.). También es necesario que se fije el precio del carbono para que podamos pagar por nuestras emisiones. Esto las reducirá, porque comenzarán a afectar a nuestra economía. Además de fijar el precio del carbono, existe una necesidad urgente de recortar los subsidios a las fuentes fósiles: carbón y petróleo. Esto puede tener un impacto en los países pobres y las poblaciones que dependen de estas fuentes de energía y requerirá la transferencia de recursos de los países ricos a estos países y poblaciones.

- La adaptación al cambio climático debe resolverse caso por caso, ya que los impactos son diferentes en cada lugar. Las poblaciones pobres son una gran preocupación, porque ya suelen vivir en las zonas más vulnerables, con servicios de infraestructura precarios o inexistentes, incapaces de protegerse y adaptarse, como refrigerar hogares o trasladarse a lugares menos expuestos. Como hoy, los eventos climáticos futuros traerán mayores impactos a poblaciones pobres, barrios marginales, regiones periféricas, y también a minorías y grupos más excluidos como mujeres, ancianos, poblaciones aisladas, indígenas, ribereños, entre muchos otros.

- En lo que se refiere a las negociaciones globales entre países en un intento de resolver conjuntamente el problema, el proceso existente, liderado por Naciones Unidas a través de la UNFCCC, ha sido fundamental, pero al mismo tiempo limitado e insuficiente. Es fácil comprender la complejidad de llegar a un acuerdo que satisfaga a todos los países. Quizás ahí es donde

comienza el problema: los países más ricos del mundo, que componen el G-20, representan alrededor del 75% de las emisiones globales y una cantidad similar del ingreso mundial (PIB). Un consenso entre ellos, por ejemplo, sería mucho más fácil de alcanzar y eventualmente resolvería el 75% del problema.

- Tampoco parece posible llegar a las reducciones necesarias sin tomar como base el presupuesto de carbono: es necesario saber cuánto podemos emitir aún para no superar los 20C, para poder definir quién emitirá, cómo y cuándo. Sin el presupuesto de carbono detrás de ellos, los países solo reconocen las responsabilidades comunes, pero diferenciadas, entre ellos. Aun así, los países ricos aún no han tomado las riendas para resolver definitivamente el problema, en su mayoría causado por ellos. Independientemente, solo ellos pueden pagar los cambios y adaptaciones necesarios. El tiempo pasa, las negociaciones no van a la par con la velocidad del problema y el pago de la factura se trasladará a las generaciones futuras.

Las malas noticias en la agenda climática se ven contrarrestadas por un conjunto no coordinado de acciones e iniciativas de países, empresas, ciudades, individuos y ONG: compromisos de empresas y bancos con el clima y la sostenibilidad en general, los cortes de financiamiento a la energía fósil, alcaldes que promueven ciudades verdes, reciclaje, boicot de productos insostenibles, disminución del consumo de animales, especialmente carnes rojas, tareas a través de internet sin la necesidad de desplazamientos a oficinas, en fin, una lista afortunadamente larguísima de iniciativas.

También son alentadores varios avances en ciencia y tecnología. La energía solar y eólica son realidades hoy en día, económicamente viables y entrando con fuerza en los mercados energéticos. Automóviles eléctricos, automóviles de uso compartido, baterías capaces de almacenar energía durante largos períodos, bombillas eficientes, enfriamiento eficiente de ambientes, materiales reciclables, biodegradables y originarios de plantas, aplicaciones que ayudan a reducir las emisiones, finalmente una lista igualmente extensa de invenciones que ya han comenzado a ser parte de nuestra vida diaria.

No hay “free lunch” (almuerzo gratis). Para eliminar las emisiones de CO₂ a la atmósfera, tendremos que cambiar nuestros hábitos, y eso puede que no sea tan fácil. Continuaremos tomando un autobús hacia y desde la escuela, el trabajo o el supermercado. Estos desplazamientos, aunque fundamentales, provocan emisiones. Algún día estos autobuses dejarán de emitir CO₂ utilizando únicamente energías renovables. Pero hasta entonces tenemos una buena cantidad de tiempo y lo que está en juego será cada vez mayor. Como ya se ha dicho, el hecho de que su vecino no haga nada debería ser un incentivo

para que usted lo informe y siga haciendo su parte. Usted no será el “tonto” sino el inteligente. La suma de todos los esfuerzos actuales aún no ha sido suficiente para frenar el calentamiento global.

Dedicar esfuerzos ahora a frenar el calentamiento global es una decisión difícil. El mundo todavía está lleno de problemas inmediatos de hambre, pobreza, injusticias de diversas formas, violencia y guerras. Estos problemas definitivamente no se pueden posponer y son una prioridad. Para las personas más pobres del mundo, el problema es la supervivencia diaria. Tu futuro lejano se cuenta en días o semanas. Otras personas tienen que garantizar la supervivencia digna de este mundo de personas, una deuda social que parece no acabar. En cualquier caso, resolver todos estos problemas inmediatos no elimina nuestra capacidad para abordar y resolver el calentamiento global. Salvar a las poblaciones pobres de hoy es importante pero no dejar el planeta habitable para nuestros futuros descendientes no es una elección inteligente, y no hay escasez de recursos para hacerlo. El plazo para tomar medidas sobre el clima casi ha finalizado. Exactamente como en la primera imagen del libro - en la que, en una escala de 24 horas, el hombre solo aparece en la Tierra en los últimos 2 minutos - también en esta escala parece que solo tenemos unos 2 minutos finales para resolver el problema. La decisión sobre qué hacer es clara, lo que nos falta es precisamente el proceso de toma de decisiones.

A pesar de todos los esfuerzos globales para prevenir el aumento de las emisiones, el factor de cambio más importante es la conciencia de la población mundial sobre el problema. Sin que se comprendan los riesgos que se avecinan, no habrá demanda de cambio. Las personas conscientes de los problemas entienden que algo debe hacerse rápidamente y están dispuestas a hacer su parte.

Las amenazas son tan evidentes, y lo que tenemos que perder es tan valioso, que tal vez sea suficiente alertar e informar a la gente y al público en general sobre el problema. Esta información está basada en la ciencia, sin “adivinar” y sin ideologías detrás de ellas. Ese fue el propósito de este libro. Nuestra única motivación fue presentar, de forma sencilla y accesible al público en general, el verdadero problema al que nos enfrentamos todos, cuya solución no solo pasa por la conciencia, sino también por cambios de actitud y comportamiento. El asunto es muy serio. ¡Hagamos nuestra parte!

FOTO 26 > PROTESTA DE GREENPEACE EN RIO DE JANEIRO, BRASIL



Foto: Daniel Beltrá [F26]

FOTO 27 > PROTESTA CLIMÁTICA, SYDNEY, AUSTRALIA



Foto: Marcus Cobllyn [F27]



Niños en la escuela en el sur de Sudán

REFERENCIAS

CAPÍTULO 1

- [1] Branco, P. M (2016). Breve História da Terra. CPRM, Serviço Geológico do Brasil. <http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas---Rede-Ametista/Breve-Historia-da-Terra-1094.html>
- [2] Flowingdata.com (2012). <https://flowingdata.com/2012/10/09/history-of-earth-in-24-hour-clock/>
- [3] NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration, Climate.gov (S/D). Life on Earth depends on, is shaped by, and affects climate. <https://www.climate.gov/teaching/essential-principles-climate-literacy/teaching-essential-principle-3-life-earth-depends>
- [4] Site Earth on Line. https://www.earthonlinemedia.com/ebooks/tpe_3e/climate_systems/elements_of_climate.html
- [5] NASA Earth Observatory (2009). Climate and Earth's Energy Budget. <https://earthobservatory.nasa.gov/features/EnergyBalance/page4.php>
- [6] West, J. (2019). Climate explained: why carbon dioxide has such outsized influence on Earth's climate. The Conversation. <http://theconversation.com/climate-explained-why-carbon-dioxide-has-such-outsized-influence-on-earths-climate-123064>
- [7] Le Quéré, C. et al. (2016). Global Carbon Budget 2016. Earth Syst. Sci. Data, 8, 605–649, 2016. <https://www.earth-syst-sci-data.net/8/605/2016/essd-8-605-2016.pdf>
- [8] CO₂Earth.org (2020). CO₂ Past. <https://www.co2.earth/co2-past-present-future-article>
- [9] Lindsey, R. (2020). Climate Change: Atmospheric Carbon Dioxide. NOAA, Climate Gov, public report, 5p. <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide>
- [10] Madisson, Angus (2006). The World Economy 1950-2001. In "The World Economy: Volume 1: A Millennial Perspective, and Volume 2: Historical Statistics" OECD Publishing. https://read.oecd-ilibrary.org/development/the-world-economy/the-world-economy-1950-2001_9789264022621-20-en#page1

[11] CO₂Levels.org (2020). Atmospheric CO₂ Levels Graph. <https://www.co2levels.org/>

[12] Sitio del Fondo Monetario Internacional. <https://www.imf.org/external/datamapper/ngdpdpdc@weo/oemdc/advec/weoworld>

[13] Statista (2020). Historical carbon dioxide emissions from global fossil fuel combustion and industrial processes from 1758 to 2018 (in million metric tons). <https://www.statista.com/statistics/264699/worldwide-co2-emissions/>

[14] Carbon Brief (2015). How do Scientists Measure Global Temperature. <https://www.carbonbrief.org/explainer-how-do-scientists-measure-global-temperature>

[15] NASA, NOAA (2020). Analyses Reveal 2019 Second Warmest Year on Record. NASA News, January 15, 2020. <https://climate.nasa.gov/news/2945/nasa-noaa-analyses-reveal-2019-second-warmest-year-on-record/>

[16] NASA (2010). Carbon Dioxide Controls Earth's Temperature. Goddard Institute for Space Studies (GISS), New York. <https://www.nasa.gov/topics/earth/features/co2-temperature.html>

[17] NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration (2020). Temperature Change and Carbon Dioxide Change. <https://www.ncdc.noaa.gov/global-warming/temperature-change>

[18] IPCC (1996). Second Assessment Report. Global Warming Potentials. <https://unfccc.int/process/transparency-and-reporting/greenhouse-gas-data/greenhouse-gas-data-unfccc/global-warming-potentials>

[19] IPCC (2001). Climate Change 2001, Third Assessment Report. Glossário (pp 787-798).

[20] Sitio del IPCC. <https://www.ipcc.ch/about/>

[21] IPCC (2014). Climate Change 2014, Fifth Assessment Report, Synthesis Report, 167p. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf

CAPÍTULO 2

[1] IPCC (2014). Climate Change 2014, Fifth Assessment Report, Synthesis Report, 167p. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf

[2] Sitio del Climate Central. <https://www.climatecentral.org/gallery/graphics/top-10-warmest-years-on-record>

[3] Masters, J. (2020). Earth Had Its Second Warmest Year in Recorded History in 2019. Scientific American, January 2020. <https://blogs.scientificamerican.com/eye-of-the-storm/earth-had-its-second-warmest-year-in-recorded-history-in-2019/>

- [4] Hausfather, Z. (2018). Explainer: What climate models tell us about future rainfall. Climate Modelling, January 2018, Carbon Brief.
<https://www.carbonbrief.org/explainer-what-climate-models-tell-us-about-future-rainfall>
- [5] IPCC (2007). "Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change" [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
<https://aamboceanservice.blob.core.windows.net/oceanservice-prod/education/pd/climate/factsheets/howprecipitation.pdf>
- [6] Dahlman, A. e Lindsey, R. (2020). Climate Change: Ocean Heat Content. NOAA, Climate.gov, News and Features, February 13, 2020.
<https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-ocean-heat-content>
- [7] Sitio del NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). "Ocean Acidification". <https://www.noaa.gov/education/resource-collections/ocean-coasts/ocean-acidification>
- [8] Davies, B. (2019). "What is the global volume of land ice and how is it changing?". Blog of Antarcticglaciers.org.
<http://www.antarcticglaciers.org/glaciers-and-climate/what-is-the-global-volume-of-land-ice-and-how-is-it-changing/>
- [9] Sitio del NASA, Global Climate Change. Facts. Vital Signs – "Sea Level".<https://climate.nasa.gov/vital-signs/sea-level/>
- [10] Sitio del NASA GRACE-FO. Greenland Ice Loss 2002-2016.
<https://gracefo.jpl.nasa.gov/resources/33/greenland-ice-loss-2002-2016/>
- [11] Shepherd, A., Ivins, E., Rignot, E. et al. (2018). "Mass balance of the Antarctic Ice Sheet from 1992 to 2017". Nature 558, 219-222.
<https://doi.org/10.1038/s41586-018-0179-y>
- [12] Rignot, E., Mouginot, J., Scheuchl, B., van den Broeke, M., van Wessem, M., e Morlighem, M. (2019). Four decades of Antarctic Ice Sheet mass balance from 1979-2017. PNAS January 22, 2019 116 (4) 1095-1103.
<https://www.pnas.org/content/116/4/1095>
- [13] Sitio del NASA, Global Climate Change. Facts. Vital Signs – "Ice Sheets". <https://climate.nasa.gov/vital-signs/ice-sheets/>
- [14] IPCC (2012), escrito por Seneviratne, S.I., N. Nicholls, D. Easterling, C.M. Goodess, S.Kanae, J. Kossin, Y. Luo, J. Marengo, K. McInnes, M. Rahimi, M. Reichstein, A. Sorteberg, C. Vera, and X. Zhang. "Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment". In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. Relatório Especial dos Grupos

de Trabalho I e II. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 109-230. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SREX-Chap3_FINAL-1.pdf

[15] Our World in Data (2020). "Global reported natural disasters by type, 1970 to 2019". Apud EMDAT (2020): OFDA/CRED International Disaster Database, Université Catholique de Louvain – Bruxelles, Bélgica, <https://ourworldindata.org/grapher/natural-disasters-by-type>

[16] World Meteorological Organization (2014). "Atlas of mortality and economic losses from weather, climate and water extremes (1970–2012)". CRED – Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, and UCL – Université Catholique de Louvain. WMO No. 1123. Geneva, Switzerland, 48p. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=7839

[17] UNISDR (United Nations Office for Disaster Risk Reduction) y CRED (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters) 2018. Economic losses, poverty and disasters 1998-2017". 33p. https://www.unisdr.org/2016/iddr/IDDR2018_Economic%20Losses.pdf

[18] OCHA (United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs) 2020. Natural Disasters in Latin America and the Caribbean. https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/20191203-ocha-desastres_naturales.pdf

[19] Masters, J. (2019). "Fifth Straight Year of Central American Drought Helping Drive Migration". Scientific American, December. <https://blogs.scientificamerican.com/eye-of-the-storm/fifth-straight-year-of-central-american-drought-helping-drive-migration/>

[20] Aparicio, J., Martínez-Austria, P.F., Güitrón, A., Ramírez, A.I., 2009. Floods in Tabasco, Mexico: a diagnosis and proposal for courses of action. J. Flood Risk Manag. 2, 132–138. <https://doi.org/10.1111/j.1753-318X.2009.01026.x>

[21] Rudenstine, S., & Galea, S. (2012). Vulnerabilities and Capacities: Venezuela Floods and Mudslides–December 14–16, 1999. In The Causes and Behavioral Consequences of Disasters (pp. 29-38). Springer, New York, NY. https://www.recoveryplatform.org/countries_and_disasters/disaster/28/venezuela_mudslide_1999

[22] Wernick, A (2019). "Climate change is the overlooked driver of Central American migration". The World, Public Radio International. <https://www.pri.org/stories/2019-02-06/climate-change-overlooked-driver-central-american-migration>

[23] The Alliance for Climate Protection (2019). "How the Climate Crisis Is Driving Central American Migration". <https://www.climatealityproject.org/blog/how-climate-crisis-driving-central-american-migration>

- [24] ANALYSIS OF EXTREME EVENTS IN THE CARIBBEAN 1990 - 2008 (2010). Economic Commission for Latin America and the Caribbean Subregional Headquarters for the Caribbean. Page 5. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/38660/1/LCCARL254_en.pdf
- [25] BÁRCENA, A., SAMANIEGO, J., PERES, W., & ALATORRE, J. E. La emergencia del cambio climático en América Latina y el Caribe. Page 129 <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2021/03/La-emergencia-del-cambio-climatico-en-America-Latina-y-el-Caribe.pdf>
- [26] Morris, S. S., Neidecker-Gonzales, O., Carletto, C., Munguía, M., Medina, J. M., & Wodon, Q. (2002). Hurricane Mitch and the livelihoods of the rural poor in Honduras. *World development*, 30(1), 49-60.
- [27] Richard J. Pasch, Andrew B. Penny, and Robbie Berg (2019). HURRICANE MARIA (AL152017). NATIONAL HURRICANE CENTER TROPICAL CYCLONE REPORT. https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/AL152017_Maria.pdf
- [28] NATURAL DISASTERS IN LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN (2020). OCHA. UN Office for the Coordination of Humanitarian Affairs. https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/20191203-ocha-desastres_naturales.pdf
- [29] Robert M. Perito (2008). Haiti After the Storms: Weather and Conflict. UNITED STATES INSTITUTE OF PEACE. <https://www.usip.org/publications/2008/11/haiti-after-storms-weather-and-conflict>
- [30] Weather.com (2021). "Hurricane Eta hammered Central America, then meandered toward Florida (RECAP)". <https://weather.com/storms/hurricane/news/2020-11-12-tropical-storm-eta-landfall-florida-southeast-flooding-rain>
- [31] National Hurricane Center and Central Pacific Hurricane Center. "Hurricanes in History". <https://www.nhc.noaa.gov/outreach/history/>
- [32] Wikipedia. "Hurricanes in Central America and Caribbean". https://en.wikipedia.org/wiki/Hurricanes_in_Central_America
- [34] Smith, K.R., A. Woodward, D. Campbell-Lendrum, D.D. Chadee, Y. Honda, Q. Liu, J.M. Olwoch, B. Revich, and R. Sauerborn (2014). "Human health: impacts, adaptation, and co-benefits". In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 709-754. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-Chap11_FINAL.pdf
- [35] United Nations Framework Convention on Climate Change (2017). "Human health and adaptation: understanding climate impacts on health and opportunities for action". Synthesis Paper by the Secretariat. Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice Forty-sixth session, Bonn, 31p. <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/2017/sbsta/eng/02.pdf>

- [36] Lattari, G. y Margulis, S. (2018). "Salud Humana". Relatorio parcial de la "Elaboración de la base técnica del Plan de Adaptación Climática del Estado de Rio de Janeiro". Secretaria do Ambiente do Estado do Rio de Janeiro, Ref.: Processo SEA/INEA - nº E-07/001.492/2014. Rio de Janeiro, 35p.
- [37] World Health Organization (2018). "Climate Change and Health". <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health>
- [38] Strzepek, K.M. and Mccluskey, A.L. (2008). "Modeling the Impact of Climate Change on Global Hydrology and Water Availability". The Economics of Adaptation to Climate Change Study (EACC), The World Bank, Discussion Paper No. 8, Washington DC, 40p. <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/462211468336644643/modeling-the-impact-of-climate-change-on-global-hydrology-and-water-availability>
- [39] Carbon Brief (2018). "What climate models tell us about future rainfall". Climate Modelling Explainer. <https://www.carbonbrief.org/explainer-what-climate-models-tell-us-about-future-rainfall>
- [40] Kundzewicz, Z.W., L.J. Mata, N.W. Arnell, P. Döll, P. Kabat, B. Jiménez, K.A. Miller, T. Oki, Z. Sen and I.A. Shiklomanov (2007). "Fresh water resources and their management. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the IPCC, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 173-210. <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg2-chapter3-1.pdf>
- [41] Reyer, C., Adams, S., Albrecht, T. et al. Climate change impacts in Latin America and the Caribbean and their implications for development. *Reg Environ Change* 17, 1601-1621 (2017). <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0854-6>
- [42] Farrell, D., Nurse, L., Moseley, L. (2007). "Managing water resources in the face of climate change: a Caribbean perspective". CANARI, 11 https://www.researchgate.net/publication/238069369_MANAGING_WATER_RESOURCES_IN_THE_FACE_OF_CLIMATE_CHANGE_A_CARIBBEAN_PERSPECTIVE
- [43] Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2016). "Biodiversity and climate change: making use of the findings of the IPCC's Fifth Assessment Report". United Nations Environment Programme, Montreal, Canada, 12p. <https://www.cbd.int/climate/doc/biodiversity-ar5-brochure-en.pdf>
- [44] Dejene W. Sintayehu (2018) Impact of climate change on biodiversity and associated key ecosystem services in Africa: a systematic review, *Ecosystem Health and Sustainability*, 4:9, 225-239, DOI: 10.1080/20964129.2018.1530054
- [45] Settele, J., R. Scholes, R. Betts, S. Bunn, P. Leadley, D. Nepstad, J.T. Overpeck, and M.A. Taboada (2014). "Terrestrial and inland water systems". In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 271-359. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-PartA_FINAL.pdf

- [46] Hoegh-Guldberg, O., Jacob, D., Taylor, M. Coordinating authors (2018). "Chapter 3: Impacts of 1.5°C global warming on natural and human systems". In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5 °C above preindustrial levels and related global greenhouse gas emission pathways [...]. https://www.researchgate.net/publication/329988490_Chapter_3_Impacts_of_15C_global_warming_on_natural_and_human_systems_In_Global_Warming_of_15_C_An_IPCC_special_report_on_the_impacts_of_global_warming_of_15_C_above_preindustrial_levels_and_related_gl/citation/download
- [47] Nobre, C.A., Sampaio, G., Borma, L.S., Castilla-Rubio, J.C, Silva, J. e Cardoso, M. (2016). "Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm". Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 113. 10.1073/pnas.1605516113. https://www.researchgate.net/publication/308214927_Land-use_and_climate_change_risks_in_the_Amazon_and_the_need_of_a_novel_sustainable_development_paradigm/link/58188ad108aee7cdc685a613/download
- [48] Sitio del INPE/PRODES/TERRABRASILIS, Sistema de Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite. <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/map/deforestation?hl=pt-br>
- [49] Nobre, A.D. (2014). "O Futuro climático da Amazônia: Relatório de Avaliação Científica". Articulación Regional Amazônica, 42p. <https://www.socioambiental.org/sites/blog.socioambiental.org/files/futuro-climatico-da-amazonia.pdf>
- [50] Pivetta, M. (2020). "Amazônia agora é fonte de CO₂". Baseado em Pesquisa Fapesp "Variação interanual do balanço de gases de efeito estufa na Bacia Amazônica e seus controles em um mundo sob aquecimento e mudanças climáticas" – Carbam: Estudo de longo termo do balanço do carbono da Amazônia (nº 16/02018-2); Modalidade Projeto Temático; Programa Pesquisa sobre Mudanças Climáticas Globais; Pesquisadora responsável Luciana Gatti (Inpe). <https://revistapesquisa.fapesp.br/amazonia-agora-e-fonte-de-co2/>
- [51] Crouzeilles, R., Rodrigues, R.R. e Strassburg, B.B.N (2019). "Sumário para tomadores de decisão do relatório temático sobre restauração da paisagem e ecossistemas". Editora Cubo, São Carlos, 20 ps.
- [52] Input Brasil (2017). "Cerrado possui ainda 15,5 milhões de hectares de pastagens altamente aptas para a agricultura". Notícias, 01 de fevereiro. <https://www.inputbrasil.org/noticias/cerrado-possui-ainda-155-mi-de-hectares-de-pastagens-altamente-aptas-para-agricultura/>
- [53] CEPEA (Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada - ESALQ/USP) 2020. "PIB do Agronegócio brasileiro". <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>
- [54] INPE (Instituto de Pesquisas Espaciais) PRODES (2020). "Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite". <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>

- [55] Costa, F.N. (2018). "Trajetória da Agricultura Brasileira: Evolução Recente". Apud Conab 2018, Blog Cidadania e Cultura. <https://fernandonogueiracosta.wordpress.com/2018/07/29/trajetoria-da-agricultura-brasileira-evolucao-recente/>
- [56] Assad, E.D. (S/D). "Agricultura e mudanças climáticas: o que esperar no futuro?". Embrapa, Megatendências 2030. <https://www.embrapa.br/-/artigo-eduardo-delgado-assad>
- [57] Site Agritempo. "Aquecimento Global e a Produção Agrícola do Brasil". <https://www.agritempo.gov.br/climaeagricultura/causa-e-efeito.html>
- [58] Assad, E.D. (2017). "Aquecimento global e a agricultura". Rabobank Brasil, Sala de Imprensa, 14p. https://www.rabobank.com.br/pt/content/sobre_o_rabobank/sala_de_imprensa/2017/aquecimentoglobal.html
- [59] Prager, S. D., Rios, A. R., Schiek, B., Almeida J.S., González C.E. 2020. "Vulnerabilidad al cambio climático e impactos económicos en el sector agrícola en América Latina y el Caribe". Banco Interamericano de Desarrollo, División de Cambio Climático. Nota Técnica No IDB-TN- 01985. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Vulnerabilidad-al-cambio-climatico-e-impactos-economicos-en-el-sector-agricola-en-America-Latina-y-el-Caribe.pdf>
- [60] Naciones Unidas (2017). "Factsheet: People and Oceans". The Ocean Conference, United Nations, New York, 5-9 de junho.
- [61] Nicholls, R.J. (2011). "Planning for the impacts of sea level rise". *Oceanography* 24 (2):144-157, doi:10.5670/oceanog.2011.34. <https://tos.org/oceanography/article/planning-for-the-impacts-of-sea-level-rise>
- [62] Nicholls, R., Brown, S., Hanson, S. (2010). "Economics of Coastal Zone Adaptation to Climate Change". Economics of Adaptation to Climate Change Study (EACC), The World Bank, Discussion Paper N°. 10, Washington DC, 62p. <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/229791468159607825/economics-of-coastal-zone-adaptation-to-climate-change>
- [63] Marques, L. (2017). "Consequências da elevação do nível do mar no século XXI". *Jornal da Unicamp*. <https://www.unicamp.br/unicamp/ju/artigos/luiz-marques/consequencias-da-elevacao-do-nivel-do-mar-no-seculo-xxi>
- [64] United Nations (2020). Status and trends of coastlines and marine waters in Latin America and the Caribbean. United Nations Economic Commission for Latin America and the Caribbean. <https://www.un.org/sites/un2.un.org/files/eclac.pdf>
- [65] World Meteorological Organization (2021). "State of the Climate in Latin America and the Caribbean 2020". Report WMO-No. 1272, 35p. https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=21926

CAPÍTULO 3

[1] Department of Environment, Australian Government (S/D). Representative Concentration Pathways (RCPs) – Fact Sheet.

www.environment.gov.au › files › wa-rcp-fact-sheet

[2] IPCC (2014). Climate Change 2014, Fifth Assessment Report, Synthesis Report, 167p. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf

[3] Panel Brasileiro de Cambio Climático (2014). “Forçantes Radiativas Naturais e Antrópicas”. Base científica das mudanças climáticas – Contribuição ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas. Correia, A.L. e Yamasoe, M.A (autores principais). Pp 237-277. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

[4] Sitio Wikipedia, Representative Concentration Pathway.

https://en.wikipedia.org/wiki/Representative_Concentration_Pathway

[5] Sitio del IPCC. “What is a GCM?”

https://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/gcm_guide.html

[6] Stern, N. (2006). “Stern Review: The Economics of Climate Change”.

[7] The World Bank (2012). “Turn down the heat: why a 4°C warmer world must be avoided”. Washington DC, 106p. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/11860>

[8] IPCC (2018). “Global Warming of 1.5°C”. An IPCC special report. Summary for policy makers, 24p. <https://www.ipcc.ch/sr15/>

[9] Carbon Brief Interactive (n/d). “The impacts of climate change at 1,5C, 2C and beyond”. https://interactive.carbonbrief.org/impacts-climate-change-one-point-five-degrees-two-degrees/?utm_source=web&utm_campaign=Redirect#

[10] Carbonbrief (2020). “Tipping Points – Explainer: Nine ‘tipping points’ that could be triggered by climate change”.

<https://www.carbonbrief.org/explainer-nine-tipping-points-that-could-be-triggered-by-climate-change>

[11] Ambiente Brasil (2018). “As correntes do Oceano Atlântico estão ficando mais lentas”. Clipping

<https://noticias.ambientebrasil.com.br/clipping/2018/07/07/144664-as-correntes-do-oceano-atlantico-estao-ficando-mais-lentas.html>

[12] Praetorius, S.K., (2018). “North Atlantic circulation slows down”. Nature, Vol 556, April 12 p. 180-181.

<https://www.nature.com/articles/d41586-018-04086-4>

[13] IPCC (2019). “IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate – Summary for Policy Makers”. [Pörtner, H.-O., Roberts, D.C., Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Tignor, M., Poloczanska, E., Mintenbeck, K., Alegría, A., Nicolai,

M., Okem, A., Petzold, J., Rama, B. and Weyer, N.M. (eds.].
<https://www.ipcc.ch/srocc/chapter/summary-for-policy-makers/>

[14] Smith, B. (2015). "What happens if the permafrost disappears?". COSMOS, Newsletter, 14 December. <https://cosmosmagazine.com/climate/what-happens-if-permafrost-disappears/>

[15] Aschwanden, A., Fahnestock, M.A., Truffer, M., Brinkerhoff, D.J., Hock, R., Khroulev, C., Mottram, R. and Abbas Khan, S. (2019). "Contribution of the Greenland Ice Sheet to sea level over the next millennium". Science Advances: Vol. 5, nº. 6, eaav9396, DOI: 10.1126/sciadv.aav9396.
<https://advances.sciencemag.org/content/5/6/eaav9396>

[16] Hausfather, Z. (2018). "Why the IPCC 1.5C report expanded the carbon budget". CarbonBrief, October 8. <https://www.carbonbrief.org/analysis-why-the-ipcc-1-5c-report-expanded-the-carbon-budget>

[17] Icos (Integrated Carbon Observation System) (2019). "Global Carbon Budget 2019". <https://www.icos-cp.eu/global-carbon-budget-2019>

[18] Global Carbon Project (2019). "Global Carbon Budget".
<https://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/19/visualisations.htm>

CAPÍTULO 4

[1] Our World in Data. "Share of Global Cumulative CO₂ Emissions, 2018". <https://ourworldindata.org/contributed-most-global-co2>

[2] United Nations Environment Programme (2019). UNEP 2019 Emissions Gap Report. UNEP, Nairobi, 108p. <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/30797/EGR2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[3] Roser, M. e Ritchie, H (2019). CO₂ and greenhouse gas emissions. Our World in Data. <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>

[4] The World Bank Data.
<https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.KT>

[5] Ritchie, H (2018). "Global inequalities in CO₂ emissions, based on consumption". Our World in Data. <https://ourworldindata.org/global-inequalities-co2-consumption>

[6] OXFAM (2015). "2015 Extreme Carbon Inequality: Why the Paris climate deal must put the poorest, lowest emitting and most vulnerable people first". Media Briefing, December, 14p.
https://oi-files-d8-prod.s3.eu-west-2.amazonaws.com/s3fs-public/file_attachments/mb-extreme-carbon-inequality-021215-en.pdf

[7] World Bank Database. Consultado em 11/10/2021. [https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL?locations=Z\]&name_desc=false](https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL?locations=Z]&name_desc=false)

- [8] BÁRCENA, A., SAMANIEGO, J., PERES, W., & ALATORRE, J. E. La emergencia del cambio climático en América Latina y el Caribe. Page 129
<https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2021/03/La-emergencia-del-cambio-climatico-en-America-Latina-y-el-Caribe.pdf>
- [9] Climate Watch. Dados consultados em 11/10/2021.
https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?calculation=ABSOLUTE_VALUE&end_year=2018®ions=LAC&start_year=2017
- [10] Margulis, S. (2002). “Causas do Desmatamento da Amazônia Brasileira”. Banco Mundial, Brasília, julho 2003 e World Bank Working Paper Number 22, Washington DC, December 2003, 77p.
<http://documents.worldbank.org/curated/en/867711468743950302/Causas-do-Desmatamento-da-Amazonia-Brasileira>
- [11] Prizibiszki, C. (2020). “Desmatamento na Amazônia chega a 11.088 km² e é o maior em 12 anos”. Sitio del O Eco.
<https://www.oeco.org.br/reportagens/desmatamento-na-amazonia-chega-a-11-088-km%C2%B2-e-e-o-maior-em-12-anos/>
- [12] Cárdenas. M, Bonilla. J.P, Brusa. F (2021). CLIMATE POLICIES IN LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN. Inter-American Development Bank.
<https://publications.iadb.org/publications/english/document/Climate-policies-in-latin-america-and-the-caribbean.pdf>
- [13] Carvalho, P.T. (2012). “Balanço de emissões de gases de efeito estufa de biodiesel produzido a partir de soja e dendê no Brasil”. Tesis de Maestria, Programa de Planejamento Energético da COPPE/UFRJ, 153p.
- [14] EPE (S/D). “Potencial de redução de emissões de CO₂ em projetos de produção e uso de biocombustíveis”. Estudos EPE.
<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-250/topico-304/EPE%20-%20202%C2%BA%20Biocombust%C3%ADveis%20x%20MDL%5b1%5d.pdf>
- [15] UNICA (2019). “Uso do etanol evitou a emissão de 535 milhões de toneladas de CO₂eq em 16 anos”. Notícias Sustentabilidade.
<https://unica.com.br/noticias/uso-do-etanol-evitou-a-emissao-de-535-milhoes-de-toneladas-de-co2eq-em-16-anos/>
- [16] Shannon K O’Neil (2021). “How Climate Change Can Bring Latin America Back”. Bloomberg Opinion. <https://www.bloomberg.com/opinion/articles/2021-07-21/climate-change-can-bring-latin-america-back>

CAPÍTULO 5

- [1] IRENA (International Renewable Energy Agency) 2020. “Renewable Power Generation Costs in 2019”. Abu Dhabi, 144p. ISBN 978-92-9260-244-4. <https://www.irena.org/publications/2020/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2019>

- [2] Shinn, L. (2018). "Renewable Energy: The Clean Facts". Natural Resources Defense Council. <https://www.nrdc.org/stories/renewable-energy-clean-facts>
- [3] Miho Kurosaki, M. (2019). "Decarbonization on Supply & Demand Sides". Bloomberg NEF, G20 CSWG Session 6: The Role of Renewable Energy in Addressing Climate Change.
- [4] Gray, A. (2017). "5 tech innovations that could save us from climate change". Site do World Economic Forum. <https://www.weforum.org/agenda/2017/01/tech-innovations-save-us-from-climate-change/>
- [5] Susian, C.M, Salgado, P.R., Vasconcellos, E.B.C., Evangelista, B.A., Silveira Pinto, H. e Assad, E.D. (2010). "Capacidade de sequestro de CO₂ em pastagens produtivas no bioma cerrado". XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Uberlândia, MG, 4p.
- [6] Balbino, L. C.; Cordeiro, L. A. M.; Martinez, G. B. (2011). "Contribuições dos sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF) para uma agricultura de baixa emissão de carbono". Embrapa, Publicações. <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/917001/contribuicoes-dos-sistemas-de-integracao-lavoura-pecuaria-floresta-ilpf-para-uma-agricultura-de-baixa-emissao-de-carbono>
- [7] Hansel, F.D, Amado, T.J.C., Keller, C., Bortolotto, R.P., Nicoloso, R.S. e Nora, D.D. (2011). "Emissões de dióxido de carbono em sistema plantio direto de longa duração". XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Uberlândia, MG, 4p.
- [8] Todd, F. (2019). "What is carbon capture and storage technology and how does it limit CO₂ emissions?" NS Energy. <https://www.nsenergybusiness.com/features/carbon-capture-storage-technology-co2-emissions/>
- [9] Holth, J. (2017). "7 Instant Ways to Reduce your Carbon Footprint". Site do Huffpost. https://www.huffpost.com/entry/7-instant-ways-to-reduce-your-carbon-footprint_b_59321992e4b00573ab57a383
- [10] Cho, R. (2018). "The 35 Easiest Ways to Reduce Your Carbon Footprint". Sustainable Living Series, State of the Planet, Earth Institute, University of Columbia. <https://blogs.ei.columbia.edu/2018/12/27/35-ways-reduce-carbon-footprint/>
- [11] Green, J.K. (2018). "10 Simple Ways to Reduce Your Carbon Footprint in Five Minutes or Less". Site do Lifesize. <https://www.lifesize.com/en/video-conferencing-blog/reduce-your-carbon-footprint-in-five-minutes-or-less>
- [12] CO₂Living (2019). "Most Effective Ways To Decrease Your Carbon Footprint". <https://co2living.com/most-effective-ways-to-decrease-your-carbon-footprint/>

- [13] LSE (London School of Economics and Political Science) 2018. “What is a carbon price and why do we need one?”. Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment. <https://www.lse.ac.uk/granthaminstitute/explainers/what-is-a-carbon-price-and-why-do-we-need-one/>
- [14] Instituto de Estudos Socioeconômicos (Inesc) 2019. “Subsídios aos combustíveis fósseis no Brasil em 2018”. Brasília, 35p. <https://www.inesc.org.br/en/combustiveis-fosseis-ganharam-r-85-bilhoes-em-subsidios-em-2018/>
- [15] Busch, J., Engelmann, J., Cook-Patton, S.C. et al. (2019). “Potential for low-cost carbon dioxide removal through tropical reforestation”. *Nat. Clim. Chang.* 9, 463–466. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0485-x>
<https://www.nature.com/articles/s41558-019-0485-x>
- [16] Taylor, M. (2020). “Energy subsidies: Evolution in the global energy transformation to 2050”. Irena – International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 64p. <https://www.irena.org/publications/2020/Apr/Energy-Subsidies-2020>
- [17] Kennedy, K. (2019). “Scrubbing carbon from the sky”. Scientific American vídeo. <https://www.scientificamerican.com/video/scrubbing-carbon-from-the-sky1/>
- [18] Ming, T. Richter, R. Liu, W. and Caillol, S. (2014). “Fighting global warming by climate engineering: Is the Earth radiation management and the solar radiation management any option for fighting climate change?”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 31, março, pp. 792-834. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032113008460#>
- [19] Sitio del NASA Earth Observatory. “Global effects of Mount Pinatubo”. <https://earthobservatory.nasa.gov/images/1510/global-effects-of-mount-pinatubo>
- [20] Bueno, P. (2018). “Geoengenharia climática: tecnologia capaz de manipular o clima”. Cetesb, Programa Estadual de Mudanças Climáticas do Estado de São Paulo – PROCLIMA. <https://cetesb.sp.gov.br/proclima/2018/05/08/geoengenharia-climatica-tecnologia-capaz-de-manipular-o-clima/>

CAPÍTULO 6

- [1] Margulis, S. 2017A. “Por que Estados, Municípios e Cidades tem que se adaptar às Mudanças Climáticas?” WWF (World Wildlife Fund, Brasil). Brasília, 73p. https://d3nehc6yl9qzo4.cloudfront.net/downloads/guia_adaptacao_wwf_iclei_revfinal_01dez_2.pdf
- [2] Noble, I.R., S. Huq, Y.A. Anokhin, J. Carmin, D. Goudou, F.P. Lansigan, B. Osman-Elasha, and A. Villamizar, 2014. “Adaptation needs and options”. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the IPCC*. Cambridge University Press, Cambridge,

United Kingdom and New York. https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/WGIIAR5-Chap14_FINAL.pdf

[3] Strassburg, B., Scarano, F.R., Lucas, I.L, et al. (2018). Resumo Executivo e Propostas de Medidas de Adaptação – Agenda Verde. Elaboração da Base Técnica do Plano de Adaptação Climática do Estado do Rio de Janeiro. Produto 11, Ref.: Processo SEA/INEA - nº E-07/001.492/2014. Termo de Compromisso- TC nº 03/2014 SEA/INEA e Porto do Açu Operações S.A OC- 4700000927 – Porto do Açu Operações S.A. Rio de Janeiro, 32p.

CAPÍTULO 7

[1] Sitio del UNFCCC. Bodies. Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice (SBSTA). <https://unfccc.int/process/bodies/subsidiary-bodies/sbsta>

[2] Carvalho, F. (2014). “Adaptação à mudança do clima: o quadro das negociações internacionais”. Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, paper ocasional. Brasília, 17p.

[3] Moreira, H.M. (2012). “A Formação da Nova Geopolítica das Mudanças Climáticas”. VI Encontro Nacional da ANPPAS, Belém do Pará, setembro, 19p.

[4] Rettmann, R. (2020). “O que é e como funciona o mercado de carbono”. IPAM Amazônia, Cartilhas. <https://ipam.org.br/cartilhas-ipam/o-que-e-e-como-funciona-o-mercado-de-carbono/>

[5] O Eco (2014). “Entenda o que é REDD”. <https://www.oeco.org.br/dicionario-ambiental/27940-entenda-o-que-e-redd/>

[6] Aliança REDD+ Brasil (2017). “REDD+ Integrado: modelo financeiro para viabilizar as metas do Acordo de Paris”. <https://www.bvrrio.org/pt/news/details/publicacao-redd-integrado-modelo-financeiro-para-viabilizar-as-metas-do-acordo-de-paris>

[7] Blicharska, M.; Smithers, R.J., et.al. (2017). “Steps to overcome the North-South divide in research relevant to climate-change policy and practice”. Nature Climate Change 7. DOI: 10.1038/NCLIMATE3163] <https://www.slu.se/en/ew-news/2017/1/nordsydklimat/>

[8] Mauad, A.C.E. e Viola, E. (2017). “Governança Global do Clima: do Regime Internacional Multilateral à Nova Complexidade – Potências Climáticas, Coalizões Plurilaterais, Alianças de Atores Não Estatais e Complexos Sociotécnicos Descarbonizantes”. In: Brasil e o Sistema das Nações Unidas: desafios e oportunidades na governança global. Organizadores: Guilherme de Oliveira Schmitz, Rafael Assumpção Rocha. – IPEA, Brasília. Pp 399-421. ISBN: 978-85-7811-315-5

[9] Moosmann, L., Urrutia, C., Siemons, A., Cames, M., Schneider, L. (2019). “International Climate Negotiations”. European Parliament’s Committee on the Environment, Public Health and Food Safety (ENVI). Luxemburgo, 78p.

[10] Gill, J-A (2021). "Roofs To Reefs is Barbados' National Resilience Plan".
<https://gisbarbados.gov.bb/blog/roofs-to-reefs-is-barbados-national-resilience-plan/>

[11] Cardenas, M., Bonilla, J.P., Brusa, F. (2021). "Políticas Climáticas em América Latina y el Caribe: Casos exitosos y desafíos en la lucha contra el cambio climático". Banco Interamericano de Desarrollo, 198p. <http://dx.doi.org/10.18235/0003239>
<https://publications.iadb.org/es/politicas-climaticas-en-america-latina-y-el-caribe-casos-exitosos-y-desafios-en-la-lucha-contra-el>

[12] UNFCCC Página da Web. "Payments for Environmental Services Program Costa Rica". Acessado 12/10/2021.

<https://unfccc.int/climate-action/momentum-for-change/financing-for-climate-friendly-investment/payments-for-environmental-services-program>

[13] Graichen, J., Healy, S., et al (2017). "International Climate Initiatives – A way forward to close the emissions gap? Initiatives' potential and role under the Paris Agreement". Climate Change 22. Pesquisa Ambiental do Ministério do Meio Ambiente da Alemanha. https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:4JnN_3q0hgsj; https://newclimate.org/wp-content/uploads/2017/09/2017-09-05_climate-change_22-2017_climate-initiatives.pdf+&cd=18&hl=en&ct=clnk&gl=br&client=firefox-b-d

CAPÍTULO 8

[1] Sitio del Banco Mundial, <https://data.worldbank.org/indicador/NY.GDP.MKTP.KD>

[2] United Nations (2020). "World Social Report 2020: Inequality in a Rapidly Changing World". Department of Economic and Social Affairs, 216 p., ISBN 978-92-1-130392-6.

FOTOGRAFIAS

CAPÍTULO 1

[FA1] - Foto de Georgia Somenzari, no Unsplash.com
<https://unsplash.com/photos/uS8SFfp6Tes>

CAPÍTULO 2

[FA2] - Foto de Andreas Weith, CC BY-SA 4.0, via Wikimedia Commons
https://commons.wikimedia.org/wiki/Commons:Featured_pictures/Animals/Mammals/Carnivora#/media/File:Polar_bear_after_unlucky_hunt_for_a_seal.jpg

[F1] - Foto de Agustín Lautaro no Unsplash
<https://unsplash.com/photos/Nmp6B3FKcqw>

[F2.A] - Foto de Rens Jacobs / Beeldbank V&W., Attribution, via Wikimedia Commons
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=18014235>

[F2.B] - Foto de Mohammad Rakibul Hasan/UN Women
<https://www.flickr.com/photos/unwomenasiapacific/48857607781/sizes/l/>
 Licença: 2.0 Generic (CC BY-NC-ND 2.0)

[F3] - Foto de Ismar Ingber / Pulsar Images
<http://www.pulsarimagens.com.br>

[F4] - Foto de Roosevelt Skerrit / flicker
<https://www.flickr.com/photos/rooseveltskerrit/37372721465/in/photolist>
 (All sizes of this photo are available for download under a Creative Commons license)

[F5] - Foto de Marizilda Cruppe / Greenpeace
<https://projeto colabora.com.br/author/marizilda-cruppe/>

[F6] - Foto de Civvi, CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=Special:Search&limit=250&offset=250&profile=default&search=Maldives&advancedSearch-current={}&ns0=1&ns6=1&ns12=1&ns14=1&ns100=1&ns106=1#/media/File:Maldives-Vakarufalhi.JPG>

CAPÍTULO 3

[FA3] - Foto de quinet, CC BY 2.0, via Wikimedia Commons
https://commons.wikimedia.org/w/index.php?search=Andean_woman_and_child_wear&title=Special:MediaSearch&go=Go&type=image

[F7] - Foto de Chris Walts is licensed under CC BY-NC-SA 2.0
<https://search.creativecommons.org/photos/cbae540e-c1ab-443a-bc30-cd8b1c1adc28>

[F8.A] - Foto de Francesco Ungaro / Unsplash
<https://unsplash.com/photos/swQ3JS8e-Fs>

[F8.B] - Foto de Courtney Couch / NOAA
<https://www.noaa.gov/explainers/coral-reefs-essential-and-threatened>

[F9] - Foto de Boris Radosavljevic, CC BY 2.0, via Wikimedia Commons
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=80427895>
<https://www.flickr.com/photos/139918543@N06/24797207056/>, CC BY 2.0

CAPÍTULO 4

[FA4] - Foto de Chris LeBoutillier/Pixabay
<https://pixabay.com/photos/global-warming-pollution-environment-2958988/>

[F10] - Foto de Andreas Habich, CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=28345841> CC BY-SA 3.0,
<https://climatevisuals.org/node/869>

[F11] - Fotos de © Peter Menzel / menzelphoto.com
<https://menzelphoto.photoshelter.com/>

[F12.A] - Foto de Daniel Beltrá / Greenpeace

<https://www.greenpeace.org/brasil/participe/vamos-zerar-o-desmatamento-no-brasil/>

[F12.B] - Foto de Matt Zimmerman, CC BY 2.0, via Wikimedia Commons

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=33978259> CC BY 2.0,

<https://www.flickr.com/photos/16725630@N00/1524189000>

CAPÍTULO 5

[FA5] Foto de Alexandre Buisse (Nattfodd), CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chachani_summit_edited.jpg

[F13.A] - Foto de Σ64, CC BY 3.0, via Wikimedia Commons

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=29185913>

[F13.B] - Foto de Leaflet, CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:GreenMountainWind>

[Farm_Fluvanna_2004.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:GreenMountainWindFarm_Fluvanna_2004.jpg)

[F13.C] - Foto de Marco Aurélio Esparza, CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons

[https://commons.wikimedia.org/w/index.php?search=etanol+](https://commons.wikimedia.org/w/index.php?search=etanol+production&title=Special%3ASearch&go=Go&ns0=1&ns6=1&ns12=1&ns14=1&ns100=1&ns106=1#/media/File:Usina_S%C3%A3o_Martinho,_F%C3%A1brica_de_A%C3%A7ucar_e_Etanol_-_Prad%C3%B3polis.jpg)

[production&title=Special%3ASearch&go=Go&ns0=1&ns6=1&ns12=1&ns14=1&ns100=1&ns106=1#/media/File:Usina_S%C3%A3o_Martinho,_](https://commons.wikimedia.org/w/index.php?search=etanol+production&title=Special%3ASearch&go=Go&ns0=1&ns6=1&ns12=1&ns14=1&ns100=1&ns106=1#/media/File:Usina_S%C3%A3o_Martinho,_F%C3%A1brica_de_A%C3%A7ucar_e_Etanol_-_Prad%C3%B3polis.jpg)

[F%C3%A1brica_de_A%C3%A7ucar_e_Etanol_-_Prad%C3%B3polis.jpg](https://commons.wikimedia.org/w/index.php?search=etanol+production&title=Special%3ASearch&go=Go&ns0=1&ns6=1&ns12=1&ns14=1&ns100=1&ns106=1#/media/File:Usina_S%C3%A3o_Martinho,_F%C3%A1brica_de_A%C3%A7ucar_e_Etanol_-_Prad%C3%B3polis.jpg)

[Prad%C3%B3polis.jpg](https://commons.wikimedia.org/w/index.php?search=etanol+production&title=Special%3ASearch&go=Go&ns0=1&ns6=1&ns12=1&ns14=1&ns100=1&ns106=1#/media/File:Usina_S%C3%A3o_Martinho,_F%C3%A1brica_de_A%C3%A7ucar_e_Etanol_-_Prad%C3%B3polis.jpg)

[F13.D] - Foto de Alois Indrich / Greenpeace

[https://media.greenpeace.org/CS.aspx?VP3=DamView&VBID=27MD](https://media.greenpeace.org/CS.aspx?VP3=DamView&VBID=27MDQYCCM186&FR_1=W=1440&H=775#/DamView&VBID=27MDQYCCM186&PN=2&WS=SearchResults)

[QYCCM186&FR_1=W=1440&H=775#/DamView&VBID=27MDQY](https://media.greenpeace.org/CS.aspx?VP3=DamView&VBID=27MDQYCCM186&FR_1=W=1440&H=775#/DamView&VBID=27MDQYCCM186&PN=2&WS=SearchResults)

[CCM186&PN=2&WS=SearchResults](https://media.greenpeace.org/CS.aspx?VP3=DamView&VBID=27MDQYCCM186&FR_1=W=1440&H=775#/DamView&VBID=27MDQYCCM186&PN=2&WS=SearchResults)

[F14.A] - Foto de the rabbit * lapin, CC BY 2.0, via Wikimedia Commons

[https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_vehicle#/media/File:Volt_charging_](https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_vehicle#/media/File:Volt_charging_station.jpg)

[station.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_vehicle#/media/File:Volt_charging_station.jpg) CC BY 2.0

<https://www.flickr.com/photos/lapin1/6864741457/>

[F14.B] - Foto de Rafael-CDHT, Public domain, via Wikimedia Commons

[https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_vehicle#/media/File:Trolleybus_Low_](https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_vehicle#/media/File:Trolleybus_Low_Floor_4_1500_-_Sao_Paulo,_Brazil.JPG)

[Floor_4_1500_-_Sao_Paulo,_Brazil.JPG](https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_vehicle#/media/File:Trolleybus_Low_Floor_4_1500_-_Sao_Paulo,_Brazil.JPG)

[F14.C] - Foto de Fernando Frazão/Agência Brasil

[https://en.wikipedia.org/wiki/Rio_de_Janeiro_Light_Rail#/media/File:Viagem_](https://en.wikipedia.org/wiki/Rio_de_Janeiro_Light_Rail#/media/File:Viagem_inaugural_do_VLT_carioca_01.jpg)

[inaugural_do_VLT_carioca_01.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Rio_de_Janeiro_Light_Rail#/media/File:Viagem_inaugural_do_VLT_carioca_01.jpg)

[http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/foto/2016-06/inauguracao-do-veiculo-leve-](http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/foto/2016-06/inauguracao-do-veiculo-leve-sobre-trilhos-vlt-carioca)

[sobre-trilhos-vlt-carioca](http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/foto/2016-06/inauguracao-do-veiculo-leve-sobre-trilhos-vlt-carioca) CC BY 3.0 br

[F14D] - Foto de JoachimKohlerBremen, CC BY-SA 4.0, via Wikimedia Commons

[https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_truck#/media/File:E-Truck_Renault_Midlum_](https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_truck#/media/File:E-Truck_Renault_Midlum_Electric.jpg)

[Electric.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_truck#/media/File:E-Truck_Renault_Midlum_Electric.jpg) CC BY-SA 4.0

[F15] - Foto de Keith Weller, USDA ARS, Public domain, via Wikimedia Commons
[https://en.wikipedia.org/wiki/Plant-based_diet#/media/File:Foods_\(cropped\).jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Plant-based_diet#/media/File:Foods_(cropped).jpg)

[F16] - Foto del autor

[F17.A] - Foto de Agostinho Vieira
<https://projetocolabora.com.br/ods15/miguel-pereira-planta-dois-milhoes-de-arvores/>

[F17.B] - Foto de arquivo do autor, 1994

[F17.C] - Foto del autor, 2021

[F18] - Foto de Dave Harlow, USGS, Public domain, via Wikimedia Commons
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pinatubo91eruption_plume.jpg

CAPÍTULO 6

[FA6] - Foto de Jessie F. Delos Reyes
https://www.flickr.com/photos/usaid_images/5842818280

[F19.A] - Foto da Defesa Civil, autor não identificado.
<https://www.anf.org.br/defesa-civil-realiza-simulados-de-desocupacao-em-favelas-com-alto-risco-de-deslizamento/>

[F19.B] - Foto del autor

[19.C] - Foto del autor

[F19.D] - Foto de dronepicr, CC BY 2.0, via Wikimedia Commons
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Park_in_Dublin_St_Stephen%27s_Green_aerial_\(22112994396\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Park_in_Dublin_St_Stephen%27s_Green_aerial_(22112994396).jpg)

[F20.A] - Foto de Fernando Frazão / Agência Brasil
<https://www.brasildefato.com.br/2020/04/04/artigo-as-desigualdades-sociais-que-a-pandemia-da-covid-19-nos-mostra>

[F20.B] - Foto de Atwater Village Newbie, CC BY 2.0, via Wikimedia Commons
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:The_Manor,_Holmby_Hills,_Los_Angeles,_in_2008.jpg
<https://www.flickr.com/photos/68076636@N00/2524856333/>

[F21.A] - Foto de Hellio & Van Ingen/Livelihoods Funds
<https://livelihoods.eu/portfolio/oceanium-senegal/>

[F21.B] - Foto da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, CC BY 3.0, via Wikimedia Commons
https://pt.wikipedia.org/wiki/Favela-Bairro#/media/Ficheiro:Pra%C3%A7a_do_Conhecimento.jpg CC BY 3.0
<http://www.rio.rj.gov.br/web/smhc/conheca-o-programa>

[F22] - Foto de Nivaldo Schultz, Professor da UFRRJ, Seropédica, fevereiro de 2021.

[F23.A] - Foto de Thom Milkovic on Unsplash
<https://unsplash.com/photos/skUTVji8-jc>

[F23.B] - Foto de Pudelek, CC BY-SA 4.0, via Wikimedia Commons
https://pt.m.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Copenhagen_-_view_from_Christiansborg_castle.jpg

[F23.C] - Foto de Thomas Quine, CC BY 2.0, via Wikimedia Commons
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vancouver_Panorama_\(147403166\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vancouver_Panorama_(147403166).jpg)

[F23.D] - Foto de Mariordo (Mario Roberto Duran Ortiz), CC BY-SA 4.0, via Wikimedia Commons
https://pt.wikipedia.org/wiki/Curitiba#/media/Ficheiro:Barigui_Panorama.JPG

[F24] - Foto de Shahee Ilyas, CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons
<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b4/Male-total.jpg>
CC BY-SA 3.0

CAPÍTULO 7

[F25] - Foto de IISD/ENB (enb.iisd.org/climate/unfccc/adp2-11/19oct.html)
Foto tirada na segunda-feira, 19 de outubro de 2015 (Dia #1 - Foto 8 (3K1A0081))
<https://enb.iisd.org/climate/unfccc/adp2-11/>

CAPÍTULO 8

[F26] - Foto de Daniel Beltrá / Greenpeace
<https://media.greenpeace.org/>

[F27] - Foto de Marcus Coblyn, CC BY 2.0, via Wikimedia Commons
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sydney_strike_\(48763501892\)_-_perspective-cropped.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sydney_strike_(48763501892)_-_perspective-cropped.jpg)
<https://www.flickr.com/photos/160136040@N02/48763501892>

REFERENCIAS

[FA7] - Foto de Karl Grobl, Education Development Center Inc., tirada para a USAID em 2011. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:South_Sudanese_children_\(5912625678\).jpg#file](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:South_Sudanese_children_(5912625678).jpg#file)



Sergio Margulis es matemático con un doctorado en economía ambiental del Imperial College de Londres. Fue economista ambiental en el Banco Mundial en Washington DC durante 22 años, donde aprendió y trabajó con asuntos ambientales de más de 40 países de todos los continentes,

en diversos temas como gestión ambiental, valoración económica, recursos hídricos, deforestación y contaminación del aire. Desde 2005 ha trabajado y estudiado casi exclusivamente en temas relacionados con el calentamiento global. Aún en el Banco Mundial, coordinó un gran estudio sobre la Economía de la Adaptación al Cambio Climático y dirigió un estudio pionero que integró análisis técnicos y económicos de los efectos del calentamiento global en Brasil.

A lo largo de su carrera, fue Secretario de Desarrollo Sostenible en la Secretaría de Asuntos Estratégicos de la Presidencia, asesor especial de dos ministros de Medio Ambiente en Brasil, Presidente de Feema (actual INEA, agencia ambiental del Estado de Rio de Janeiro), investigador de IPEA y profesor de diversos cursos de pregrado y maestría. Actualmente es Investigador Asociado Senior en el Instituto Internacional de Sostenibilidad (IIS), del Instituto Clima y Sociedad, ambos en Rio de Janeiro y WayCarbon, en Belo Horizonte.