

# Cambio climático y la sociedad



**TÉRCIO AMBRIZZI**  
**AMANDA REHBEIN**  
**LÍVIA MÁRCIA MOSSO DUTRA**  
**NATÁLIA MACHADO CRESPO**

# Cambio climático y la sociedad

TÉRCIO AMBRIZZI  
AMANDA REHBEIN  
LÍVIA MÁRCIA MOSSO DUTRA  
NATÁLIA MACHADO CRESPO



Derechos de autor del texto © 2021 Tércio Ambrizzi, Amanda Rehbein, Livia Márcia Mosso Dutra, Natália Machado Crespo  
Derechos de autor de la ilustración de portada © 2021 Júlia Rehbein Garcia  
Derechos de autor de las ilustraciones internas © 2021 Fran Matsumoto

**Textos:** Tércio Ambrizzi, Amanda Rehbein, Livia Márcia Mosso Dutra, Natália Machado Crespo

**Portada (ilustración y arte) donada por:** Júlia Rehbein Garcia

**Coordinación gráfica y diseño interno:** Angela Mendes

**Ilustraciones internas:** Fran Matsumoto

**Traducción:** Amanda Rehbein

**Revisión:** Anita Rodrigues de Moraes Drumond

Ficha catalográfica elaborada por el Servicio de Biblioteca y Documentación del Instituto de Astronomía, Geofísica y Ciencias Atmosféricas de la Universidad de Sao Paulo

M916	Cambio climático y la sociedad [recurso eletrônico]/ Tércio Ambrizzi... [et al.] São Paulo : IAG, 2024. Formato digital. Disponível em: <a href="https://www.climaesociedade.iag.usp.br/es/">https://www.climaesociedade.iag.usp.br/es/</a> ISBN 978-65-88233-07-8 1. Mudanças Climáticas 2. Qualidade de vida 1. Título II. Ambrizzi, Tércio; III. Rehbein, Amanda IV; Dutra, Livia Márcia Mosso; V. Crespo, Natália Machado CDD 551.6
------	--

Este material fue desarrollado con el apoyo de la Universidad de São Paulo (USP) y del Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) a través del Proyecto Universal CNPQ 4074362021-9 bajo la coordinación general de la Prof. Dra. Luciana Londero Brandli.  
Este documento también está disponible en inglés y en portugués en el sitio web [www.climaesociedade.iag.usp.br](http://www.climaesociedade.iag.usp.br).

En consideración a la preservación ambiental, se han producido unas pocas copias impresas de este material que serán distribuidas gratuitamente en bibliotecas y escuelas de la red pública nacional.



Esta obra es de acceso abierto. Se permite la reproducción parcial o total de esta obra, siempre y cuando se cite la fuente y la autoría, y se respete la Licencia Creative Commons indicada.

Instituto de Astronomía, Geofísica y Ciencias Atmosféricas de la Universidad de São Paulo  
GrEC/IAG/USP - Sala P-213  
Rua do Matão, 1226 - Cidade Universitária - São Paulo, SP - 05508-090 - Brasil  
Correo electrónico: [incline.aca@iag.usp.br](mailto:incline.aca@iag.usp.br)

# Presentación

Cada vez más nuestra sociedad se ve obligada a enfrentar los impactos causados por desastres naturales asociados al tiempo y al clima. Científicos de todo el mundo llevan tiempo advirtiendo que la tendencia observada de aumento de eventos extremos de tiempo está directamente relacionada con el aumento de la temperatura media de nuestro planeta, y que dicho aumento de la temperatura global está innegablemente asociado a acciones humanas y desarrollos de la Revolución Industrial. A pesar de su extrema importancia, este tema aún se discute poco en las escuelas brasileñas y en la sociedad en general, con el respaldo científico y el sentido de urgencia que merece; muchas veces, el lenguaje científico y la complejidad del tema alejan al público no especializado de la ciencia. En este contexto, buscamos esclarecer en este documento conceptos básicos sobre el funcionamiento de nuestro sistema terrestre en cuanto a las condiciones meteorológicas, climáticas y sus cambios. Nuestro objetivo es proporcionar, en un lenguaje accesible para el público en general, una fuente adicional para obtener conocimiento sobre los temas ambientales urgentes que nuestro planeta enfrenta actualmente. Con esto esperamos acercar la sociedad a la ciencia y contribuir a aumentar la conciencia colectiva de la población, en particular de los jóvenes de hoy, quienes mañana serán los principales actores en el enfrentamiento de los problemas ambientales.

*Los autores*

# Sol: fuente de energía para la Tierra

Para estudiar nuestra atmósfera y comprender el cambio climático, debemos hablar sobre nuestra principal fuente de energía. ¿Te has planteado alguna vez cómo sería la Tierra sin la existencia del Sol? ¿Y nuestro medio ambiente? ¿Existiríamos? Bueno, lo más probable es que no.

La principal fuente de energía que tenemos y que es responsable de varios procesos que ocurren en la Tierra proviene del Sol, la estrella central de nuestro Sistema Solar. El Sol emite radiación en prácticamente todo el espectro electromagnético. Todavía, alrededor del 30% de esta radiación es reflejada por la superficie terrestre, quedando el 70% en nuestro planeta.



La radiación solar se recibe de manera distinta entre los polos y el ecuador de la Tierra.

La energía del Sol que llega a la Tierra primero calienta la superficie, a través de procesos físicos entre la superficie y la atmósfera, y luego el aire justo encima. Sin embargo, el calentamiento de la Tierra no ocurre de manera uniforme entre los polos y el ecuador. Debido al formato de la Tierra, los rayos del sol inciden en los polos de nuestro planeta en ángulo, mientras que en las regiones tropicales la incidencia es casi perpendicular a la superficie. Esto resulta en una menor concentración de energía en los polos y mayor cerca del ecuador. De esta manera, las regiones tropicales se calientan más que las regiones polares.

Sin embargo, la región tropical no puede emitir toda la energía que recibe del Sol al espacio, en parte debido a la cantidad de nubes en esta región. Las nubes sirven como una barrera en nuestra atmósfera, haciendo con que parte de la radiación quede atrapada cerca de la superficie. En las regiones polares, debido a la presencia del hielo, hay más emisión que recibimiento de energía. Esto se debe a que, además de tener una menor cantidad de nubes en esta región, el hielo tiene un alto poder de reflexión de la radiación. Pero, ¿cómo solucionar este desequilibrio energético? Los grandes responsables de equilibrar esta energía son nuestros océanos y atmósfera. Nuestro planeta es tan magnífico que busca el equilibrio térmico de la siguiente manera: el mayor calentamiento en los trópicos y el menor en los polos genera lo que llamamos de un gradiente de temperatura, es decir, el calentamiento diferenciado entre los trópicos y los polos. Sabemos que las regiones tropicales y ecuatoriales reciben más energía provocando un mayor calentamiento cerca de la superficie. A su vez, este aire caliente es más ligero que

el aire frío y por eso asciende; en cambio, este aire que subió debe descender en otra región. A estas “subidas” y “bajadas” de las columnas de aire se suman ramas horizontales, cercanas a la superficie y en la parte superior de nuestra troposfera, generando así una celda de circulación encargada de equilibrar la energía en la atmósfera. En nuestra atmósfera hay tres celdas principales de circulación en gran escala en ambos hemisferios: (1) la celda de Hadley, donde la rama horizontal cerca de la superficie se dirige hacia el ecuador y en la parte superior de la troposfera se dirige hacia los polos (en este caso, el aire sube en la región ecuatorial y desciende alrededor de los 30° de latitud); (2) la celda de Ferrel, con ramas horizontales opuestas a las de Hadley, donde la rama ascendente está alrededor de los 60° de latitud y la rama descendente aproximadamente a los 30° de latitud, la misma región que la rama descendente de Hadley; y (3) la celda polar, similar a la de Hadley, pero con el aire descendiendo en los polos y ascendiendo alrededor de los 60° de latitud.

## ¿SABÍAS QUÉ?

- ✓ La troposfera es la capa de la atmósfera donde ocurren los principales fenómenos meteorológicos; su altura varía según la latitud, siendo más alta cerca del ecuador (aproximadamente 20 km) y más baja en los polos (aproximadamente 8 km).
- ✓ La rama por donde descienden las celdas de Hadley y Ferrel genera regiones permanentes de alta presión sobre los océanos subtropicales mientras que sobre los continentes genera desiertos, como el desierto del Sahara en el norte del continente africano.



Además de la circulación general, existen circulaciones en escalas espaciales más pequeñas, que ocurren a través de regiones alternas de altas y bajas presiones, adonde en la alta presión el peso de la columna de aire es mayor (aire que desciende) y en la baja presión, menor (aire que asciende). Estas diferencias de presión dan lugar a la formación de vientos que acaban transportando aire de diferentes características de una región a otra.

**ALTA  
PRESIÓN**

Un ejemplo es el transporte del aire seco y frío desde los polos hacia la región tropical y del aire húmedo y cálido desde la región tropical hacia los polos. Este transporte de masas de aire también contribuye para la circulación general de la atmósfera. En el océano, en cambio, se forman las corrientes marítimas, adonde el proceso de transferencia de calor entre los polos y los trópicos es similar al observado en la atmósfera.

**BAJA  
PRESIÓN**

**Generación de viento entre dos masas de aire con distintas temperaturas y presiones.**

# ¿Cómo y por qué existen las estaciones del año?

Básicamente, son dos factores combinados que dan lugar a la existencia de las estaciones del año: la inclinación de la Tierra con respecto al plano de su órbita y el movimiento que realiza la Tierra alrededor del Sol (traslación) durante aproximadamente 365 días. Mientras la Tierra realiza el movimiento de traslación, es decir, mientras “viaja” alrededor del Sol, uno de los Hemisferios (Norte o Sur) está más expuesto a la radiación solar (debido a que la Tierra está inclinada) y es en esta parte adonde ocurre el verano.

El Hemisferio Sur, donde se encuentra gran parte de Brasil, recibe más radiación solar entre diciembre y marzo, en comparación con el Hemisferio Norte, caracterizando nuestro **verano austral**. El inicio del **verano austral** ocurre cuando los rayos del sol caen directamente sobre el Trópico de Capricornio (ubicado en el Hemisferio Sur, en la latitud 23,5°S). Esto sucede el 21 o 22 de diciembre. Por otro lado, esta es la época en la que el Hemisferio Norte inicia su invierno, el **invierno boreal**.

Entre junio y agosto, el hemisferio sur recibe menos radiación solar en comparación con el hemisferio norte. Este último, a su vez, mira hacia el Sol. Por lo tanto, en esta época del año ocurre el **verano boreal** (verano en el hemisferio norte) y el **invierno austral** (invierno en el hemisferio sur). La fecha que marca el inicio de nuestro invierno es el 20 o 21 de junio, cuando los rayos

del sol caen directamente sobre el Trópico de Cáncer (situado en el Hemisferio Norte, en la latitud 23,5°N).

Las fechas mencionadas anteriormente, que definen el inicio del invierno y el verano, se denominan **Solsticios**.

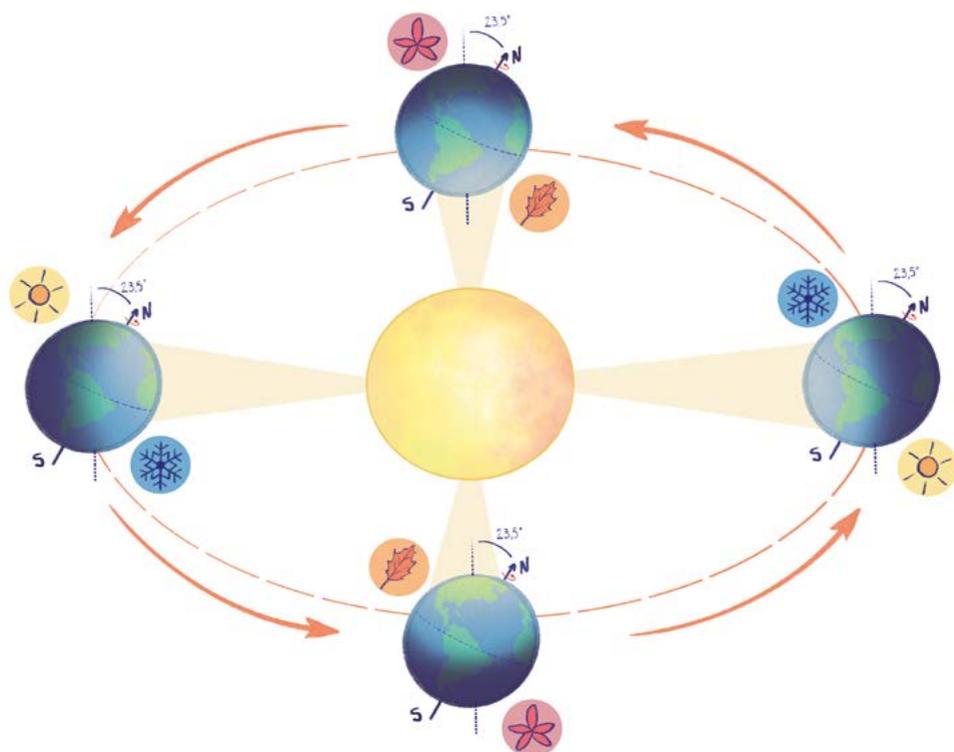
Las estaciones de primavera y otoño empiezan cuando los rayos del sol inciden directamente en el ecuador (0° de latitud). En el Hemisferio Sur, cuando esto ocurre después del verano, el 19 o 20 de marzo, comienza el **otoño austral**, y cuando ocurre después del invierno, alrededor del 22 o 23 de septiembre, comienza la **primavera austral**. Estas fechas se llaman **Equinoccios**. En estas fechas específicas, ambos hemisferios reciben la misma cantidad de radiación solar.

## ESTACIONES DEL AÑO, FECHAS DE INICIO E INCIDENCIA DE RADIACIÓN SOLAR EN LOS SOLSTICIOS Y EQUINOCIOS\*

TEMPORADA DE INICIO DEL AÑO	SOLSTICIO		EQUINOCIO	
		Verano austral (HS) Invierno boreal (HN)	Invierno del Sur (HS) Verano del Norte (HN)	Otoño del Sur (HS) Primavera del Norte (HN)
FECHA DEL EVENTO	21 o 22 de diciembre	20 o 21 de junio	19 o 20 de marzo	22 o 23 de septiembre
INCIDENCIA DE RADIACIÓN	Sol brillando perpendicularmente en el Trópico de Capricornio en HS (23.5°S)		Sol brillando perpendicularmente sobre el Trópico de Cáncer en el HN (23.5°N)	
	Sol brillando perpendicularmente sobre el ecuador; misma intensidad de luz en ambos hemisferios			

\* Los datos en esta tabla corresponden al período de 2000 a 2049.

## LA POSICIÓN DE LA TIERRA EN RELACIÓN CON EL SOL EN CADA EQUINOCCIO Y SOLSTICIO



Las flechas **NARANJA** y **ROJA** (junto a la indicación del Norte) indican, respectivamente, los movimientos de traslación y rotación. **S** y **N** indican los polos Sur y Norte, y la línea punteada ilustra la inclinación de la Tierra con respecto al plano de su órbita ( $-23.5^\circ$ ).

## ¿SABÍAS QUÉ?

✓ Usualmente en meteorología consideramos que en el Hemisferio Sur los meses de Diciembre a Febrero (DJF) corresponden al verano, de Marzo a Mayo (MAM) al otoño, de Junio a Agosto (JJA) al invierno y de Septiembre a Noviembre (SON) a la primavera. Es decir, hay fechas oficiales para el inicio de las estaciones. Sin embargo, en ciencias de la Tierra, consideramos trimestres con meses completos.

✓ Cuando decimos sur nos referimos al hemisferio sur y cuando decimos boreal nos referimos al hemisferio norte.

✓ **¿Sabes por qué el Sol sale por el sector Este y se pone por el Oeste?**

Por el sentido de giro de la Tierra, que es de Oeste a Este (es decir, la Tierra gira en sentido contrario a las agujas del reloj si imaginamos un corte mirando al planeta por encima del Polo Norte). Esto provoca el movimiento aparente del Sol en la orientación Este-Oeste.

✓ **¿Cuáles son los puntos cardinales Este y Oeste?**

Estos son los puntos donde el ecuador celeste cruza el horizonte.

✓ **¿El sol siempre sale exactamente en el punto cardinal del este y se pone en el oeste?**

No, el Sol simplemente sale exactamente en el punto este y se pone exactamente en el punto oeste en las fechas de los Equinoccios, que marcan la entrada de las estaciones de otoño y primavera. En estos días específicos, el día y la noche tienen una duración igual a 12 horas. En el Hemisferio Sur, después del comienzo de la primavera y durante el verano, el Sol sale por la derecha del Este, más al sur, mientras que después del comienzo del otoño y durante el invierno, el Sol sale por la izquierda del Este, más al norte.

✓ Las fechas y horas de los solsticios y equinoccios varían, ya que el año tiene aproximadamente 365,2422 días, es decir, no es un número exacto. Los años bisiestos (que tienen 366 días) existen como una forma de "compensar" esta variación. Esto termina influyendo en el inicio de una nueva estación del año en comparación con el año anterior.

# ¿Sabes la diferencia entre tiempo y clima?

El término **tiempo** se utiliza para hacer referencia al estado momentáneo de la atmósfera, es decir, lo que percibimos de la atmósfera en nuestra vida cotidiana, como una mañana nublada, una tarde soleada, un día frío o caluroso, etc. El **clima**, por otro lado, se refiere al estado promedio de la atmósfera, es decir, el promedio de eventos meteorológicos durante un largo período. Para conocer el **clima** de una determinada región, utilizamos, por ejemplo, información de estaciones meteorológicas, satélites, boyas meteo-oceanográficas, que registran valores de **variables**

**atmosféricas** como temperatura del aire, precipitaciones, humedad relativa, presión atmosférica, etc. Según la Organización Meteorológica Mundial (OMM u WMO), el **clima** se define por el promedio de estas variables durante un período de 30 años.

Entonces, ya sabes: cuando alguien dice “¡El **clima** está muy seco hoy!” o “¡El **clima** se calentará esta semana!”, puede responder que la elección de la palabra “clima” no es correcta en la oración; lo correcto sería decir: “¡Vaya, el **tiempo** está muy seco hoy!” o “¡El **tiempo** se calentará esta semana!”.

Distintas condiciones del tiempo, o sea, del estado momentáneo de la atmósfera.



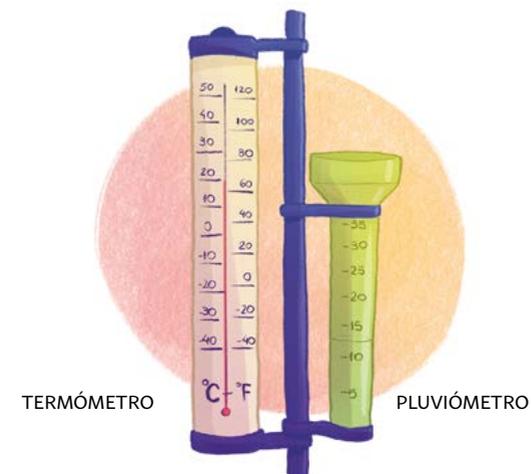
# Clima en Brasil

Brasil es un país de dimensiones continentales, es decir, con una expresiva extensión territorial. Debido a esto, el clima en Brasil no es exactamente el mismo en todo el país, o sea, diferentes regiones tienen diferentes características climáticas, que también varían a lo largo del año. Ya sabemos que las diferentes estaciones del año (verano, otoño, invierno y primavera) ocurren debido a las variaciones en la incidencia de la radiación solar que recibe nuestro planeta, ya que éste gira alrededor del Sol (traslación) con su eje de rotación inclinado. También sabemos que, en meteorología, las principales variables utilizadas para caracterizar el clima en una determinada región son la temperatura y la precipitación. Teniendo en cuenta estos conceptos, analizaremos las siguientes cifras, que ilustran, en términos de temperatura y precipitación, los valores climatológicos medios observados en Brasil en cada una de las estaciones. El período climatológico considerado para computar estos valores medios abarca todos los años desde 1981 hasta 2010.

La región **Sur** tiene cuatro estaciones bien definidas; la lluvia se presenta regularmente durante todo el año, mientras que la temperatura presenta variaciones entre las diferentes estaciones del año. En verano las temperaturas máximas superan los 30°C, pero la amplitud térmica es pequeña, es decir, la diferencia entre el valor absoluto de las temperaturas mínimas y máximas del día. En primavera y otoño las temperaturas máximas pueden llegar incluso a los 30°C, pero la amplitud térmica observada al

curso del día es generalmente más grande, con temperaturas mínimas en torno a los 10°C. En invierno es común las temperaturas atengieren valores cercanos a los 0°C, así como las heladas.

En otras regiones de Brasil, las estaciones del año se definen mejor en función de las lluvias, por lo que la mayoría de las veces terminamos refiriéndonos a dos patrones distintos: la estación seca y la estación lluviosa. Entre estas, se encuentran las estaciones de transición, en las que las lluvias actúan esporádicamente. La temporada de lluvias, como su nombre lo indica, presenta lluvias torrenciales y ocurre en los meses más calurosos (noviembre a marzo) en las **regiones del Norte, Centro-Oeste y Sureste**. En estas mismas regiones la estación seca ocurre entre abril y septiembre, cuando la precipitación acumulada es significativamente más baja en comparación con la estación lluviosa. En el **Sureste** y sur del **Centro-Oeste**, las temperaturas mínimas durante la estación seca son generalmente más bajas



**Termómetro**  
Instrumento que mide la temperatura del aire, en Kelvin (K), grados Celsius (°C) o grados Fahrenheit (°F).

**Pluviómetro**  
Instrumento que mide el volumen de lluvia (en milímetros de altura en un área de 1 metro cuadrado).

y, en casos raros, pueden ocurrir heladas. En el **Centro-Oeste**, las estaciones de primavera y verano presentan las temperaturas más altas. En la estación seca en el **Norte** las temperaturas suelen ser más altas que en la estación lluviosa, lo que se debe a la menor cantidad de nubes en el cielo que permite calentamiento de la superficie por el sol.

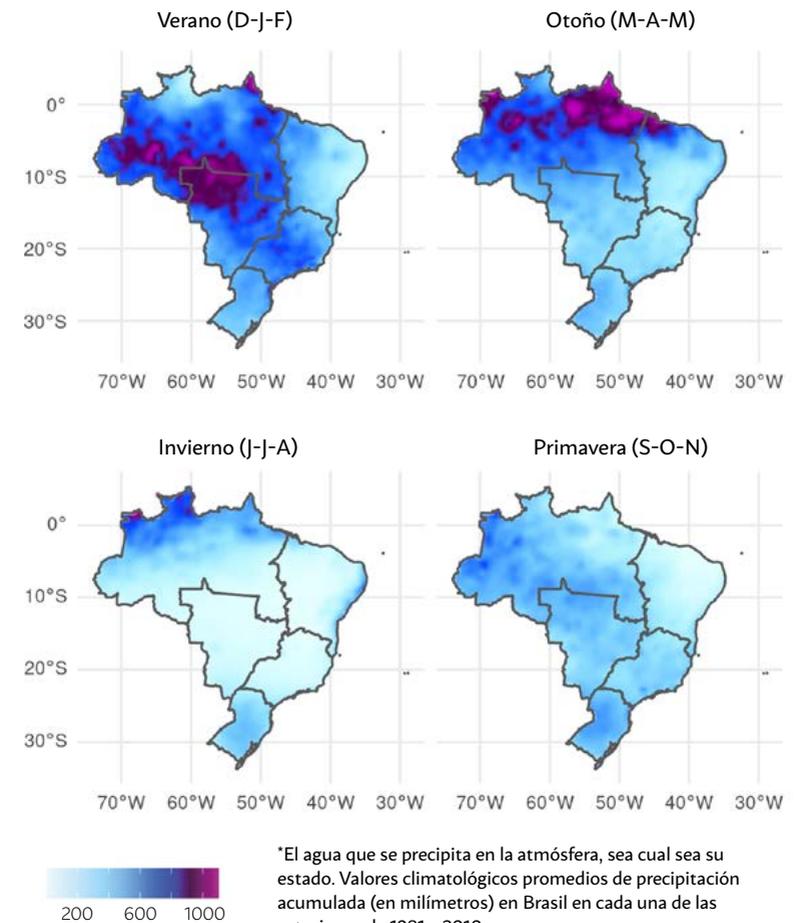
En la región **Nordeste** de Brasil también hay una estación seca y lluviosa; la temporada de lluvias ocurre en febrero, marzo, abril y mayo, con lluvias más abundantes distribuidas en toda la región. En junio, julio y agosto también llueve mucho en la franja este del **Nordeste**, aunque en el resto de la región el acumulado de precipitaciones es mucho más bajo. Durante el resto del año

## ¿SABÍAS QUÉ?

✓ La helada es un fenómeno meteorológico que se produce cuando la temperatura del aire es muy baja, cercana a los 0°C. Esto suele ocurrir al amanecer, donde, en ausencia de los vientos, nubes y radiación solar, el calor se pierde desde las superficies cercanas al suelo (pérdida de radiación). De esta forma, el vapor de agua contenido en el aire cambiará al estado líquido, o sea, se condensará formando rocío, generado por las gotitas de agua depositadas sobre plantas y objetos. Con el enfriamiento continuo del aire cerca del suelo, el rocío se congela. Las heladas también pueden ocurrir cuando el vapor de agua suspendido en el aire muy cerca del suelo se convierte en cristales de hielo, precipitándose (cayendo). En Brasil, las condiciones para la formación de heladas se encuentran principalmente al sur de la latitud 19°S, que comprende los estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Santa Catarina y Rio Grande do Sul durante los meses de junio y julio, pero pueden también ocurrir desde abril (mediados de otoño) hasta septiembre (conocidas como heladas tardías o primaverales).

ocurre la estación seca, cuando prácticamente cesan las lluvias. Sin embargo, las temperaturas son aproximadamente constantes durante todo el año, con amplitudes térmicas bajas.

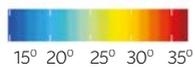
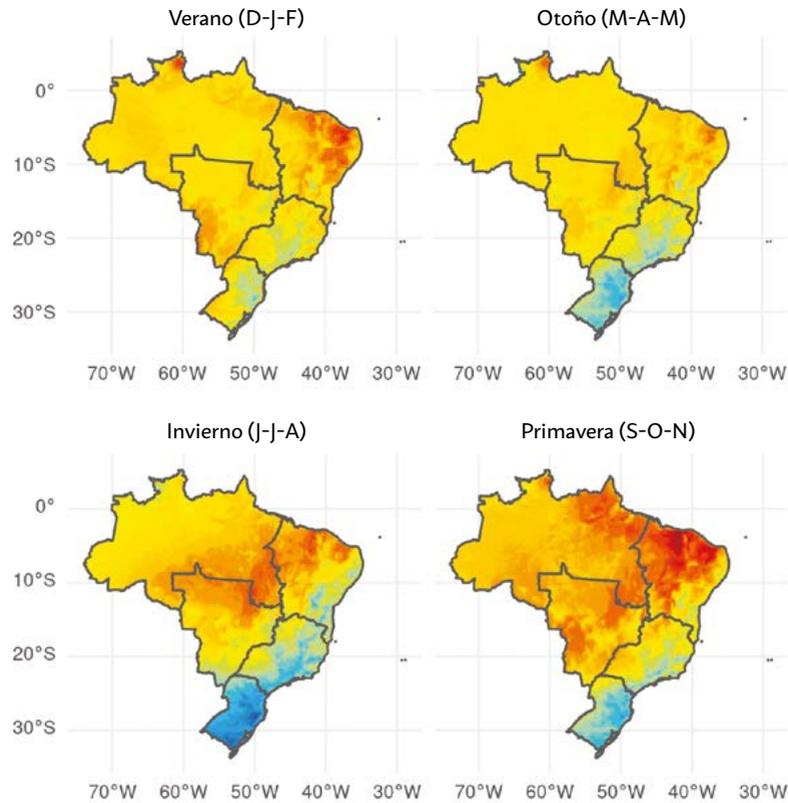
### PROMEDIO DE LA PRECIPITACIÓN\* ACUMULADA POR ESTACIONES DEL AÑO



\*El agua que se precipita en la atmósfera, sea cual sea su estado. Valores climatológicos promedios de precipitación acumulada (en milímetros) en Brasil en cada una de las estaciones de 1981 a 2010.

Fuente de datos: CPC Unified Gauge-based Analysis of Global Daily Precipitation.

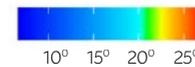
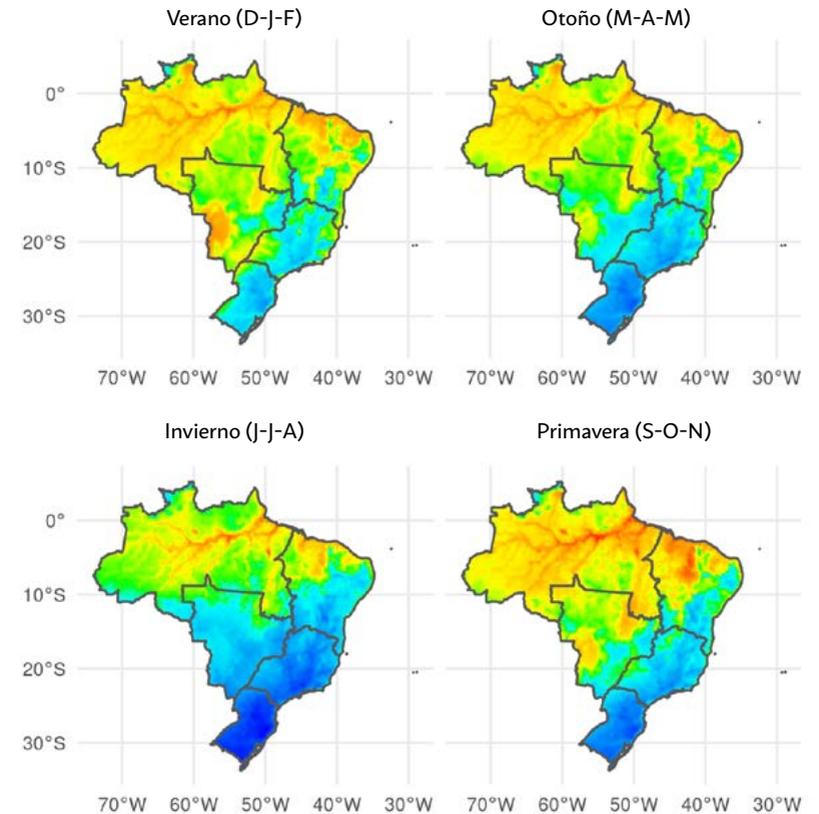
**PROMEDIO DE TEMPERATURAS MÁXIMAS POR ESTACIONES DEL AÑO**



Valores climatológicos promedios de temperatura máxima (°C) en Brasil durante cada estación del año de 1981 a 2010.

Fuente de datos: reanálisis ECMWF ERA5.

**PROMEDIO DE TEMPERATURAS MÍNIMAS POR ESTACIONES DEL AÑO**



Valores climatológicos promedios de temperatura mínima (°C) en Brasil durante cada una de las estaciones del año en el período de 1981 a 2010.

Fuente de datos: reanálisis ECMWF ERA5.

**¿SABÍAS QUÉ?**

✓ **Amplitud térmica:** es la diferencia entre las temperaturas máximas y mínimas en un determinado lugar durante un cierto tiempo. Por ejemplo, rango de temperatura diario, rango de temperatura mensual, rango de temperatura anual, etc. Las amplitudes térmicas se producen debido a los factores que influyen como la radiación solar calienta la superficie de la Tierra y el aire adyacente y como

se redistribuye la radiación terrestre. Estos factores son: altura del Sol sobre el horizonte, intensidad y duración de la radiación solar que incide sobre la superficie terrestre, tipo de superficie (arena, nieve, suelo desnudo, pradera, bosque, etc.), nubosidad, cantidad de gases invernaderos. Por lo tanto, es posible observar que existen determinantes naturales para que la amplitud térmica se presente en diferentes escalas de tiempo, como la latitud del lugar, la hora del día y el día del año.

# Balance energético en el sistema Tierra y calentamiento global

La atmósfera terrestre está compuesta por varios gases y pequeñas partículas (aerosoles) que juegan un papel fundamental en la regulación del balance energético de nuestro planeta. Y es este balance, que siempre tiende a buscar el equilibrio, lo que controla el clima de la Tierra.

Repasemos algunos conceptos importantes sobre el balance energético terrestre:

✓ Sabemos que cualquier cuerpo con una temperatura superior al cero absoluto (0 Kelvin) emite y absorbe radiación, y que la radiación emitida por el Sol es la principal fuente de energía que alimenta continuamente al sistema Tierra.

✓ Al llegar a la nuestra atmósfera, parte de la radiación solar (acerca de 30%) se refleja de regreso al espacio y la otra parte (acerca de 70%) es absorbida por nuestra atmósfera y por la superficie de la Tierra.

✓ Tal absorción de energía solar resulta en el calentamiento del sistema terrestre, que, a su turno, emite radiación infrarroja en todas las direcciones; tal emisión de energía infrarroja lleva al consiguiente enfriamiento del sistema terrestre, haciendo con que el balance energético tienda siempre a buscar el equilibrio; este equilibrio significa que casi toda la energía solar que "llega" a la Tierra es "devuelta" al espacio, en forma de energía infrarroja.

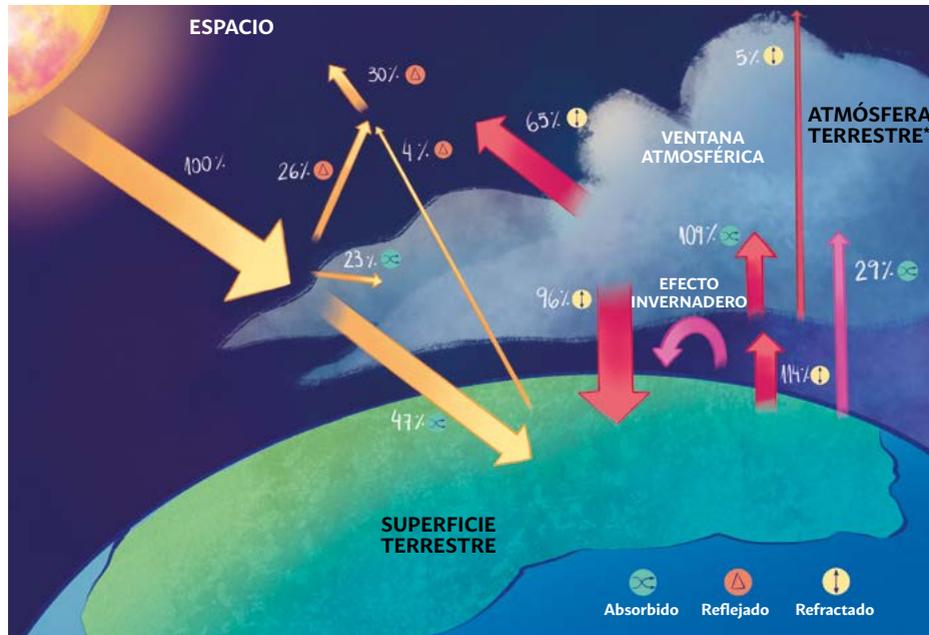
✓ Sin embargo, como se mencionó, no toda la energía infrarroja emitida regresa al espacio. Gracias a la presencia de algunos componentes específicos en nuestra atmósfera, que tienen la capacidad de absorber la radiación infrarroja, parte de esta energía que debería regresar al espacio acaba reabsorbida por la atmósfera y retornando a la superficie terrestre, como parte del proceso conocido como el "efecto invernadero". Es este efecto invernadero que hace con que la Tierra presente temperaturas y otras características climáticas compatibles con la generación y mantenimiento de la vida y del ecosistema terrestre. En promedio, la temperatura en la superficie de la Tierra es de alrededor de 15°C.

Aunque el CO<sub>2</sub> sea el segundo gas de efecto invernadero más importante, apareciendo después del vapor de agua que es con diferencia el más abundante en nuestra atmósfera, el papel que juega este gas en el balance energético terrestre es crucial. El aumento de

## ¿SABÍAS QUÉ?

- ✓ Sin el efecto invernadero, la temperatura media en la superficie terrestre sería muy baja (en torno a los 18°C bajo cero) e incompatible con la vida tal y como la conocemos; los océanos, por ejemplo, estarían todos congelados.
- ✓ Los principales constituyentes atmosféricos responsables por el efecto invernadero son: vapor de agua (H<sub>2</sub>O; 50%), nubes (25%), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>; 20%), entre otros (5%), incluido el metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), ozono (O<sub>3</sub>) e hidrofluorocarbonos (HFC).
- ✓ La radiación infrarroja es una forma de energía asociada a la temperatura del cuerpo que la emite; cualquier cuerpo con una temperatura superior al cero absoluto emite este tipo de energía, que es invisible a los nuestros ojos.

## BALANCE ENERGÉTICO EN EL SISTEMA TERRESTRE (NIVELES PREINDUSTRIALES)



\*La atmósfera terrestre y todos sus componentes, incluyendo a los gases de efecto invernadero que interactúan con las formas de energía descritas aquí.

### VALORES TOTALES PARA CERRAR EL BALANCE ENERGÉTICO

	ATMÓSFERA TERRESTRE	SUPERFICIE TERRESTRE	ESPACIO
ENTRANTE	161% = 23+109+29	143% = 47+96	100% = 30+5+65
SALIENTE	161% = 65+96	143% = 114+29	100%

CO<sub>2</sub> en la atmósfera (que veremos más adelante como resultado directo de la acción humana) resulta en un “exceso” de gases de efecto invernadero, aumentando la cantidad de energía infrarroja que regresa a la atmósfera y a la superficie de la Tierra en lugar de “escapar” al espacio. Esto provoca un mayor calentamiento del sistema climático de la Tierra, que aparece asociado con el desarrollo de la Revolución Industrial, y se conoce popularmente como calentamiento global.

**Pero, ¿cómo podría calentarse la Tierra si a menudo leemos noticias sobre regiones donde se registran records de temperaturas frías?** Así como algunas regiones del mundo experimentan records de temperaturas frías, otras regiones experimentan records de temperaturas cálidas. El calentamiento global al que nos referimos se refiere a los valores medios registrados considerando todo el globo. Lo que sí se ha observado es un aumento de los fenómenos meteorológicos extremos en todo el planeta; estos eventos extremos pueden ser, por ejemplo, olas de calor y olas de frío; fuertes lluvias/inundaciones o sequías severas. Y deberíamos preocuparnos, ya que estos eventos climáticos extremos traen consigo un gran potencial de desastres, daños y pérdidas, tanto económicas como humanas.

### EL EFECTO INVERNADERO Y EL CALENTAMIENTO GLOBAL



Mayor concentración de gases de efecto invernadero → menos radiación infrarroja “reflejada” de vuelta al espacio (las flechas 3 y 4 disminuirán) y más radiación infrarroja quedará “atrapada” (las flechas 1 y 2 aumentarán) → calentamiento del sistema terrestre = calentamiento global.



Aumento de eventos climáticos extremos debido al calentamiento global

He entendido lo que significa y como se produce el calentamiento global. Pero ¿qué es el cambio climático?

Si bien a menudo escuchamos los términos “calentamiento global” y “cambio climático” indistintamente, técnicamente existen algunas diferencias en la definición de cada término. Como hemos visto, el término “calentamiento global” hace referencia al aumento de la temperatura media del sistema Tierra en consecuencia al aumento de la concentración de gases de efecto invernadero en nuestra atmósfera. El término “cambio climático” se refiere a los cambios a largo plazo que se han observado (durante las últimas décadas) y proyectado (en décadas futuras) en varias variables climáticas (como la precipitación, la temperatura y los patrones de viento); estos cambios se derivan tanto de factores antropogénicos (es decir, causados por el hombre) como naturales (variabilidad climática interna en la Tierra y otras fuerzas externas) y tienen una amplia variedad de efectos en diversos aspectos de los sistemas geofísicos, naturales y humanos.



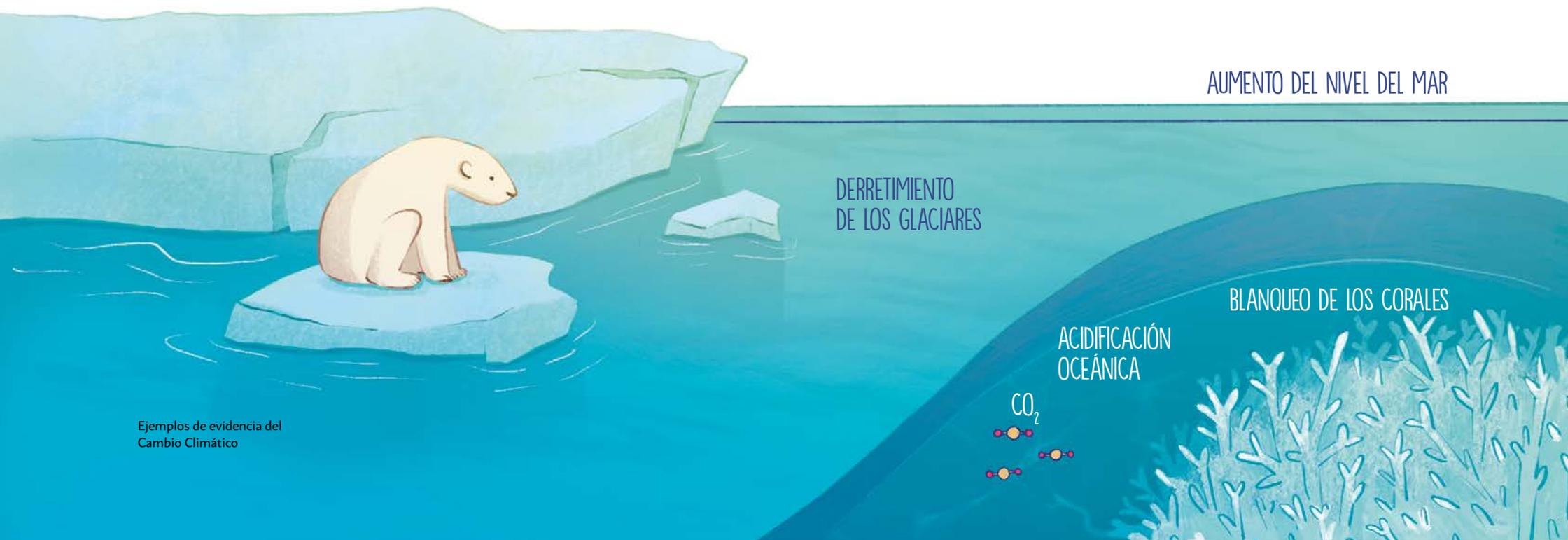
### ¿SABÍAS QUÉ?

✓ El clima de la Tierra no ha sido siempre como lo conocemos hoy; a lo largo de su historia, que comenzó hace más de 4.500 millones de años, nuestro planeta ha atravesado varios periodos de cambio climático, alternando periodos de glaciaciones y de calentamiento por el efecto invernadero natural. Estas fluctuaciones han ocurrido como resultado de factores naturales (como impactos de meteoritos, erupciones volcánicas y variaciones en la órbita de la Tierra y la energía solar) que han siempre existido y seguirán existiendo en el futuro. Sin embargo, esta es la primera vez en la historia de la Tierra que el cambio climático ocurre como resultado de acciones humanas. Y estos cambios antropogénicos han estado ocurriendo a gran velocidad, mucho más rápido que los cambios naturales asociados a las variaciones en la órbita de la Tierra, por ejemplo.

# ¿El clima está realmente cambiando? ¿Cómo podemos responder a esto con seguridad?

Hay varios indicadores de que el clima está cambiando desde mediados del siglo XX; Hace tiempo que los científicos de distintas áreas del conocimiento y de todo el mundo alertan a la sociedad sobre estos cambios y sus implicaciones. El Grupo In-

tergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, conocido popularmente por sus siglas en inglés, IPCC, fue creado en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (ONU Medio Ambiente), en un intento de aunar esfuerzos de expertos de todo el mundo para mejorar nuestra comprensión del cambio climático y de todos los complejos temas científicos, técnicos y socioeconómicos involucrados. El IPCC se organiza en Grupos de Trabajo y periódicamente publica informes y resúmenes detallados y completos para los tomadores de decisiones gubernamentales; toda la información también es de libre acceso para el público en general.



La evidencia de que el clima está cambiando incluye:

- ✓ Aumento de la temperatura promedio en la superficie de la Tierra, lo que se puede probar a través de mediciones locales en todo el mundo y a través de datos de satélites que orbitan la Tierra;
- ✓ Aumento de la acidificación de los océanos, que se produce por el aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, en su turno absorbido por los océanos;
- ✓ Disminución del volumen de hielo marino en el Ártico, que se ha observado en las últimas décadas;
- ✓ Derretimiento de glaciares en todo el mundo;
- ✓ El aumento del nivel del mar, que en escala global ha aumentado en unos 23 centímetros desde 1980, debido tanto a la expansión del calentamiento del agua del océano como al derretimiento de los glaciares y las capas de hielo en la tierra;
- ✓ Aumento de la frecuencia y intensidad de los eventos extremos, que están relacionados con los cambios observados en el ciclo global del agua (con sequías largas y severas en algunas regiones y aumento de la precipitación anual en otras regiones).

Así que el clima está cambiando. Pero ¿cómo sabemos que el hombre es responsable de esto?

Hay evidencias empíricas de que el aumento observado de gases de efecto invernadero es un reflejo de la alta emisión de contaminantes a la nuestra atmósfera por el Hombre, asociada a la Revolución Industrial, iniciada en 1760. El avance de las tecnologías industriales y de producción permitió al Hombre alcanzar grandes logros a la vez que terminó generando una inmensa cantidad de contaminantes debido a la quema de combustibles fósiles utilizados para producir energía y trabajo mecánico. A día de hoy es posible ver que casi todo lo que nos rodea deriva de procesos que involucran la quema de combustibles fósiles: la producción de electricidad, medios de transporte, diversos productos construidos a través de procesos industriales, entre otros. Y no es solo la quema de combustibles fósiles lo que genera gases de efecto invernadero; la deforestación, el mal uso de la tierra en la agroindustria en general (ganadería, tierras agrícolas, producción de arroz) y la minería del carbón también son procesos que contribuyen a ello.

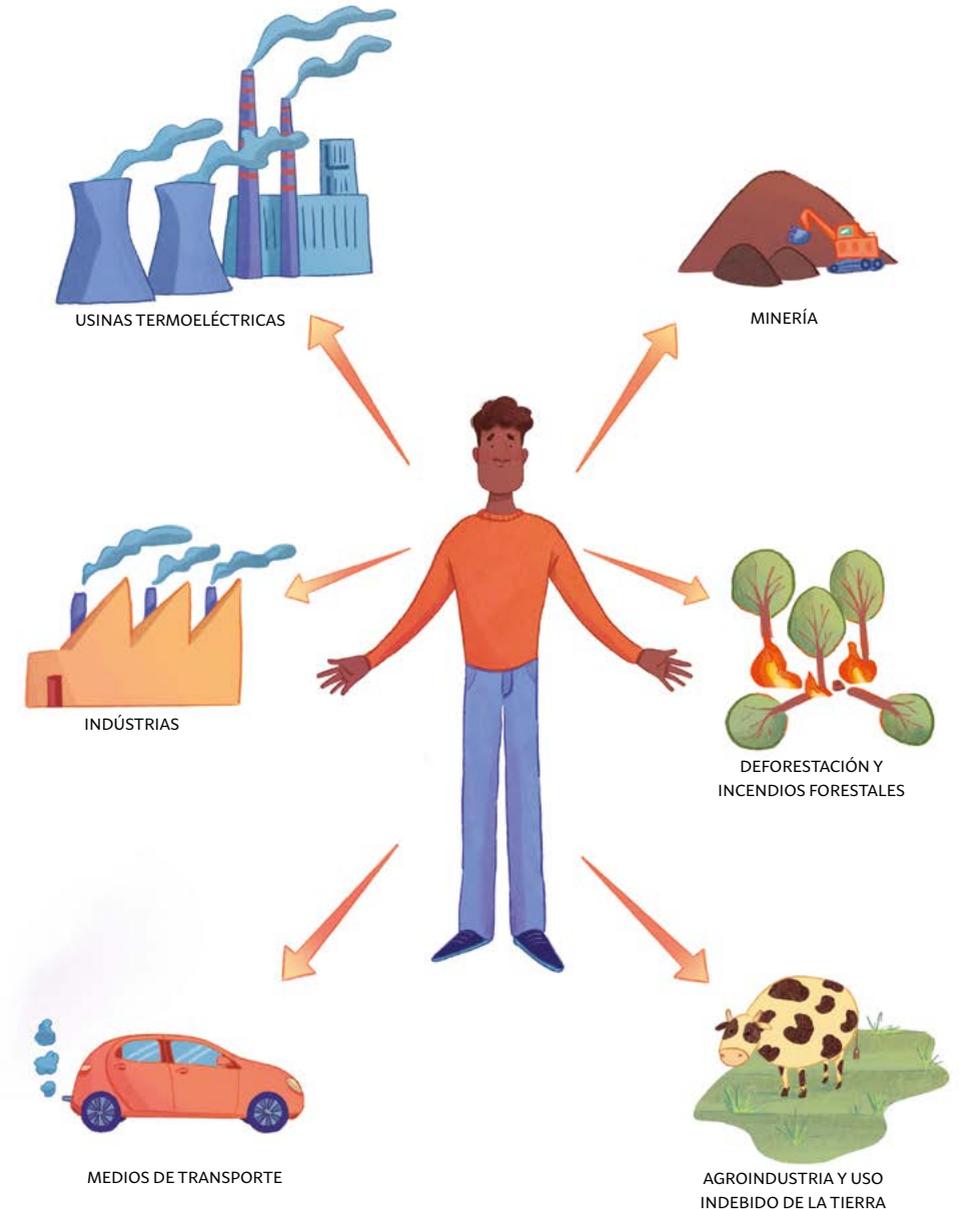
Ya existe un consenso mayoritario entre los expertos de la comunidad científica de que el cambio climático está ocurriendo y que las acciones humanas son responsables de él. Un estu-

dio publicado en 2013, dirigido por el Dr. John Cook del Instituto de Cambio Global de la Universidad de Queensland, Australia, mostró que la gran mayoría (97%) de los científicos está de acuerdo en que el aumento antropogénico (es decir, causado por el hombre) en la concentración de gases de efecto invernadero es la principal causa del calentamiento global que se ha observado. El quinto informe del IPCC también concluyó que la influencia humana en el clima de la Tierra es clara y hay un alto grado de confianza (más del 95% de probabilidad) de que las actividades humanas durante los últimos 50 años son responsables del calentamiento observado en nuestro planeta.

## ¿SABÍAS QUÉ?

- ✓ Además de la generación de gases de efecto invernadero, la emisión de contaminantes también produce aerosoles, que pueden interactuar con la radiación solar y afectar la formación de nubes, alterando el balance energético en el sistema Tierra y contribuyendo a los cambios climáticos.
- ✓ Los cambios en la forma en que los seres humanos usan la tierra (por ejemplo, bosques, granjas o ciudades) también pueden causar efectos locales, alterando la reflectividad de la superficie terrestre y cambiando el grado de humedad en una región.

## ACCIONES ANTROPOGÉNICAS QUE GENERAN EL AUMENTO DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN LA ATMÓSFERA



# ¿Qué impactos se proyectan sobre el clima futuro en Brasil?

Los informes del IPCC han demostrado que el calentamiento global aumentará la temperatura en todo Brasil. Un clima más cálido conducirá a una reducción de las heladas en el Sur, Sudeste y Centro Oeste de Brasil. Los impactos sobre la lluvia ocurrirán de diferentes maneras dependiendo de la región. Por ejemplo, lluvias muy intensas pueden ocurrir con mayor frecuencia en el Sur y Sureste, mientras que se espera la disminución de las estaciones lluviosas y la intensidad de las lluvias en el Norte y Noreste. Además del aumento de las temperaturas, la disminución de las precipitaciones hará que los ecosistemas amazónicos del norte del país sean más susceptibles a un posible colapso, reduciendo o incluso modificando su vegetación. En el caso del Nordeste, el aumento de la temperatura por sí mismo ya podría exacerbar los problemas existentes de sequías, provocando un aumento de la evaporación del agua de los embalses, lagos y ríos. El siguiente mapa ilustra los principales impactos y efectos proyectados para el clima de Brasil para 2100.

## PROYECCIONES CLIMÁTICAS PARA BRASIL HASTA 2100



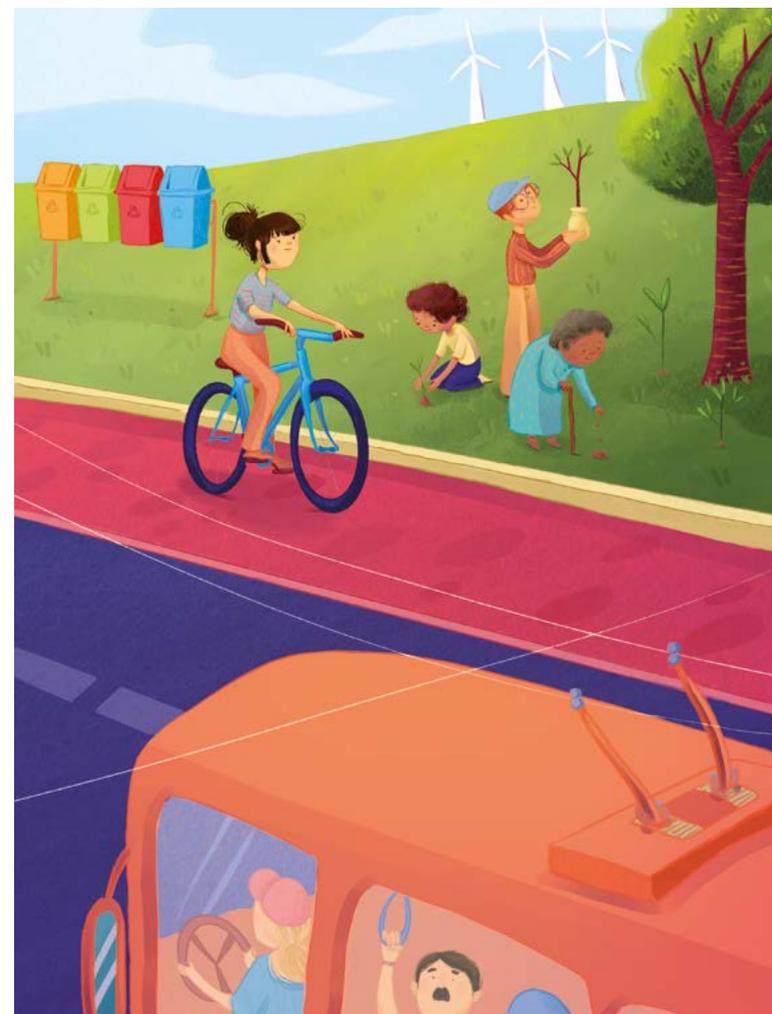
Fuentes: Margulis et al. (2011) y Ambrizzi et al. (2019).



## ¿Se puede prevenir el cambio climático?

Como hemos visto, el calentamiento global ya está en marcha, el cambio climático ya está ocurriendo y se nota en todo el mundo. Desafortunadamente, ya no es posible evitarlos. Sin embargo, aún es posible mitigar sus consecuencias reduciendo las emisiones globales de gases de efecto invernadero. En este sentido, se hizo un acuerdo entre varios países, incluyendo Brasil, en la Acuerdo de París en 2015. El acuerdo determina que se realicen esfuerzos para reducir las emisiones globales de CO<sub>2</sub> y detener o reducir la deforestación global. Como resultado, se espera que el calentamiento global se mantenga por debajo de los 2 °C en las siguientes décadas. Para que tengamos éxito en este esfuerzo, debemos abordar problemas de gran porte, como el uso de un transporte más limpio, la generación de energía más limpia, la producción de alimentos sostenibles y la reducción o eliminación de incendios. Brasil se ha comprometido, a través de la aprobación del Congreso Nacional, a ampliar la participación de la bioenergía sostenible, es decir, a partir de materia orgánica de origen vegetal y animal, en aproximadamente un 18% y introducir energías renovables en la matriz energética en cerca de 45% para 2030. Brasil también se ha comprometido a restaurar y reforestar 12 millones de hectáreas de bosques. Nuestros esfuerzos individuales también pueden ayudar a contener la emisión de gases de efecto invernadero a largo plazo, a través de pequeñas acciones diarias como, por ejemplo, menos

producción de residuos y mejor tratamiento, freno a la deforestación, consumo más consciente de agua y energía eléctrica, etc.

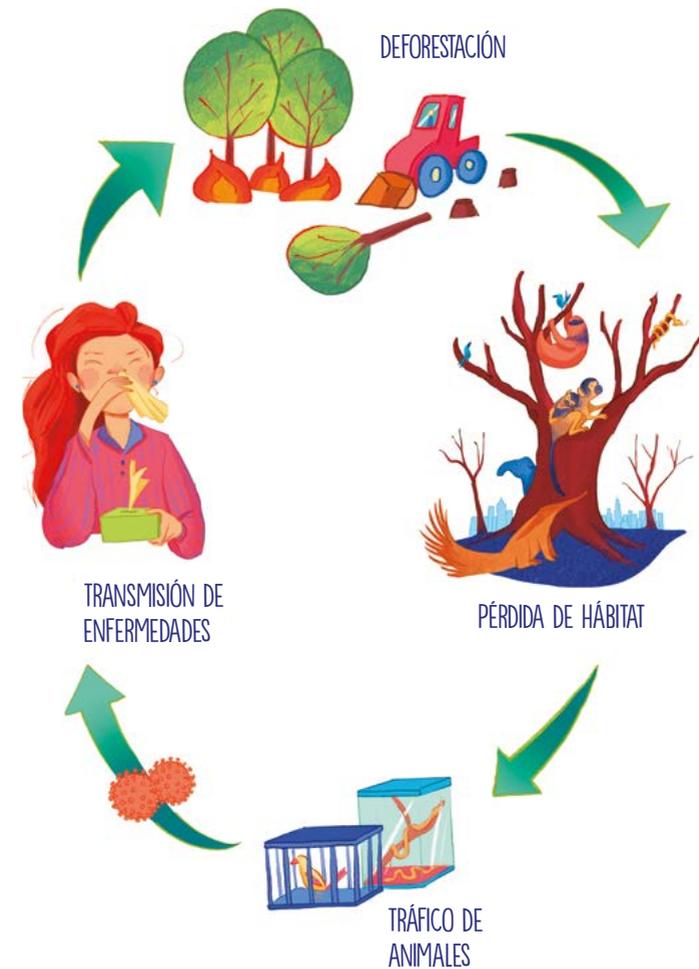


Ejemplos de acciones sostenibles y esfuerzos individuales que contribuyen al freno del calentamiento global y a la mitigación de las consecuencias del Cambio Climático.

# Cambio climático y COVID-19: ¿alguna relación?

La pandemia de COVID-19 es uno de los grandes desafíos del siglo XXI, provocando varios impactos en salud, pérdidas humanas y económicas. Todavía se investiga la causa del COVID-19 y varias hipótesis sugieren que uno de los caminos para su aparición y propagación, así como para varias otras enfermedades infecciosas emergentes, sería la interferencia antropogénica en el medio ambiente y el calentamiento global. De hecho, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente señala que este es el camino de varias otras zoonosis emergentes (enfermedades infecciosas transmitidas por animales a humanos) (ejemplos: SARS, MERS, Ébola, etc.). Aunque el cambio climático no sea la causa directa de la aparición de la COVID-19, hay posibles interrelaciones entre ellos. La deforestación, el calentamiento global y la pérdida de hábitats naturales hacen que los animales sean más susceptibles a la captura y el tráfico. Esta aproximación entre animales salvajes, domésticos y humanos facilita la propagación de enfermedades infecciosas. Sin embargo, para tratar de contener la propagación del virus que causa el COVID-19, SARS-CoV-2, muchos países han adoptado medidas restrictivas, obligando a las personas a permanecer en sus hogares, evitando aglomeraciones en las calles y establecimientos en general. Estas restricciones han producido una reducción momentánea de los gases de efecto invernadero, como la reducción significativa

del CO<sub>2</sub> durante el primer semestre de 2020. Esto demuestra que nuestros hábitos de consumo y de vida necesitan ser revisados y modificados si queremos vivir en un mundo más sano.



Interrelaciones entre las acciones humanas que interfieren en los hábitats naturales de los animales y la consecuente propagación de enfermedades infecciosas.

# Referencias

ALVES, L. M. Clima da região Centro-Oeste do Brasil. In: CAVALCANTI, I. D. A.; FERREIRA, N. J.; DA SILVA, M. G. A. J.; SILVA DIAS, M. A. F. (Orgs.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, p. 235-241.

AMBRIZZI, T. et al. The state of the art and fundamental aspects of regional climate modeling in South America. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1436, n. 1, p. 98-120, 2019.

BEDAQUE, P.; BREDONE P. S. Variação da posição de nascimento do Sol em função da latitude. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 38, n. 3, e3307, 2016.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada Para Consecução Do Objetivo Da Convenção-Quadro Das Nações Unidas Sobre Mudança Do Clima**. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris/item/10710.html>. Acesso em 12 de agosto de 2020.

BRITO, S. B. P. et al. Pandemia da COVID-19: o maior desafio do século XXI. **Vigilância Sanitária em Debate: Sociedade, Ciência & Tecnologia**, v. 8, n. 2, p. 54-63, 2020.

COOK, J. et al. Quantifying the consensus on anthropogenic global warming in the scientific literature. **Environmental Research Letters**, v. 8, n. 2, 024024, 2013.

FORTUNE, M. A.; KOUSKY, V. E. Two Severe Freezes in Brazil: Precursors and Synoptic Evolution. **Monthly Weather Review**, v. 111, p. 181-196, 1983.

GRIMM, A. M. Clima da região Sul do Brasil. In: CAVALCANTI, I. D. A.; FERREIRA, N. J.; DA SILVA, M. G. A. J.; SILVA DIAS, M. A. F. (Orgs.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, p. 259-275.

IPCC. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013, p. 1535.

\_\_\_\_\_. **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2014, p. 151.

JACOBI, P. R. et al. **Temas atuais em mudanças climáticas: para os ensinos fundamental e médio**. São Paulo: IEE – USP, 2015.

MARENGO, J. O futuro clima do Brasil. **Revista USP**, São Paulo, n. 103, p. 25-32, 2014.

\_\_\_\_\_. Drought, Floods, Climate Change, And Forest Loss In The Amazon Region: A Present And Future Danger? **Frontiers for Young Minds**, v. 7, p. 8-147, 2020.

MARGULIS, S.; DUBEUX, C. B. S.; MARCOVITCH, J. **The economics of climate change in Brazil: costs and opportunities**. São Paulo: FEA/USP, 2011.

OLIVEIRA, G. S.; DA SILVA, N. F.; HENRIQUES, R. **Mudanças climáticas: ensino fundamental e médio**. Brasília: MEC, SEB; MCT; AEB, 2009.

PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (PBMC). **Base Científica das Mudanças Climáticas**. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas. Ambrizzi, T; Araujo, M (Orgs.). Rio de Janeiro: Coppe/Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE (PNUMA). UN environment programme, 2020. Ementa (descrição). Disponível em: <https://www.unenvironment.org/pt-br/noticias-e-reportagens/reportagem/6-fatos-sobre-coronavirus-e-meio-ambiente>. Acesso em: 10 de setembro de 2020.

REBOITA, M. S. et al. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista brasileira de meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 185-204, 2010.

REBOITA, M. S. et al. Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul. **Terra e Didática**, v. 8, n. 1, p. 34-50, 2012.

SILVA DIAS, M. A. F.; da SILVA M. G. A. J. Para Entender Tempo e Clima. In: CAVALCANTI, I.D.A.; FERREIRA N.J.; DA SILVA, M. G. A. J.; SILVA DIAS, M. A. F. (Orgs.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, p. 15-21.

WENDEL, J. **Will COVID's cleaner skies muddy climate models?** Eos, 101, 2020. Disponível em: <https://eos.org/articles/will-covids-cleaner-skies-muddy-climate-models>

YNOUE, R. Y. et al. **Meteorologia: noções básicas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

## SUGERENCIAS DE LECTURA

JACOBI, P. R. et al. **Temas atuais em mudanças climáticas: para os ensinos fundamental e médio**. São Paulo: IEE – USP, 2015.

YNOUE, R. Y. et al. **Meteorologia: noções básicas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

## ENLACES RELACIONADOS Y SUGERIDOS PARA LA LECTURA

<https://climatekids.nasa.gov/climate-change-evidence/>

<https://climate.nasa.gov/causes/>

<https://www.skepticalscience.com/empirical-evidence-for-global-warming.htm>

<https://www.skepticalscience.com/human-fingerprint-in-global-warming.html>

[http://ofitexto.arquivos.s3.amazonaws.com/Meteorologia-nocoes-basicas\\_DEG.pdf](http://ofitexto.arquivos.s3.amazonaws.com/Meteorologia-nocoes-basicas_DEG.pdf)

[http://www.incline.iag.usp.br/data/arquivos\\_download/TEMAS\\_ATUAIS\\_EM\\_MUDANCAS\\_CLIMATICAS\\_on-line.pdf](http://www.incline.iag.usp.br/data/arquivos_download/TEMAS_ATUAIS_EM_MUDANCAS_CLIMATICAS_on-line.pdf)

[www.climaesociedade.iag.usp.br](http://www.climaesociedade.iag.usp.br)

