



Modalidad Abierta y a Distancia

Cambio Climático

Guía didáctica



Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Departamento de Ciencias Biológicas y Agropecuarias

Cambio Climático

Guía didáctica

<i>Carrera</i>	<i>PAO Nivel</i>
▪ Gestión Ambiental	VIII

Autora:

Jara Guerrero Andrea Katherine



AMB I _ 3035

Asesoría virtual
www.utpl.edu.ec

Universidad Técnica Particular de Loja

Cambio Climático

Guía didáctica

Jara Guerrero Andrea Katherine

Diagramación y diseño digital:

Ediloja Cía. Ltda.

Telefax: 593-7-2611418.

San Cayetano Alto s/n.

www.ediloja.com.ec

edilojacialtda@ediloja.com.ec

Loja-Ecuador

ISBN digital - 978-9942-39-483-5



**Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual
4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)**

Usted acepta y acuerda estar obligado por los términos y condiciones de esta Licencia, por lo que, si existe el incumplimiento de algunas de estas condiciones, no se autoriza el uso de ningún contenido.

Los contenidos de este trabajo están sujetos a una licencia internacional Creative Commons – **Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 (CC BY-NC-SA 4.0)**. Usted es libre de **Compartir – copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato. Adaptar – remezclar, transformar y construir a partir del material citando la fuente, bajo los siguientes términos: Reconocimiento- debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios.** Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante. **No Comercial-no puede hacer uso del material con propósitos comerciales. Compartir igual-Si remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original.** No puede aplicar términos legales ni medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Índice

1. Datos de información.....	7
1.1. Presentación de la asignatura	7
1.2. Competencias genéricas de la UTPL.....	7
1.3. Competencias específicas de la carrera	7
1.4. Problemática que aborda la asignatura	7
2. Metodología de aprendizaje.....	8
3. Orientaciones didácticas por resultados de aprendizaje	9
Primer bimestre.....	9
Resultado de aprendizaje 1.....	9
Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje.....	9
Semana 1	9
Unidad 1. Clima	9
1.1. ¿Qué es el clima?	10
1.2. ¿Es lo mismo clima y tiempo?	12
Actividades de aprendizaje recomendadas	14
Semana 2	14
1.3. El sistema climático y sus componentes.....	14
Actividades de aprendizaje recomendadas	20
Semana 3	20
Actividades de aprendizaje recomendadas	29
Autoevaluación 1	30
Resultado de aprendizaje 2.....	33
Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje.....	33
Semana 4	33
Unidad 2. Evidencias del Cambio Climático.....	33
2.1. ¿Qué es el cambio climático?	33

2.2. Historia del cambio climático	36
Actividades de aprendizaje recomendadas	40
Semana 5	41
2.3. Evidencias del cambio climático	41
Actividades de aprendizaje recomendadas	45
Semana 6	46
Actividades de aprendizaje recomendadas	52
Semana 7	53
Actividades de aprendizaje recomendadas	58
Autoevaluación 2.....	60
Semana 8	63
Actividades finales del bimestre	63
Actividad de aprendizaje recomendada.....	63
Segundo bimestre	64
Resultado de aprendizaje 2.....	64
Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje.....	64
Semana 9	64
Unidad 3. Impactos del cambio climático.....	64
3.1. Deshielo de los glaciares.....	65
3.2. Incremento del nivel del mar.....	67
3.3. Eventos extremos	68
Actividad de aprendizaje recomendada.....	70
Semana 10	71
3.4. Impactos para la seguridad alimentaria.....	71
3.5. Impactos en la migración.....	74
Actividades de aprendizaje recomendadas	76

Semana 11	77
3.6. Impactos del cambio climático sobre las especies y los ecosistemas.....	77
Actividad de aprendizaje recomendada.....	84
Autoevaluación 3.....	85
Resultado de aprendizaje 3.....	89
Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje.....	89
Semana 12	89
Unidad 4. Vulnerabilidad, mitigación y adaptación al cambio climático	89
4.1. Vulnerabilidad frente al cambio climático.....	90
Actividad de aprendizaje recomendada.....	93
Semana 13	94
4.2. Adaptación al cambio climático	94
Semana 14	100
4.3. Mitigación del cambio climático.....	100
Actividad de aprendizaje recomendada.....	103
Semana 15	104
4.4. Sinergias entre mitigación y adaptación.....	104
Autoevaluación 4.....	108
Semana 16	111
Actividades finales del bimestre	111
4. Solucionario	113
5. Referencias bibliográficas	118
6. Anexos	122



1. Datos de información

1.1. Presentación de la asignatura



1.2. Competencias genéricas de la UTPL

- Orientación a la innovación y a la investigación.

1.3. Competencias específicas de la carrera

- Comprende el funcionamiento y estructura de los ecosistemas.
- Diseña y coordina propuestas integrales de manejo y gestión.

1.4. Problemática que aborda la asignatura

La asignatura de Cambio Climático ha sido planteada para abordar un tema crítico y de importancia global. Este problema plantea la necesidad creciente de implementar estrategias para mitigar sus efectos, a la vez que como sociedad nos adaptamos a las condiciones futuras para reducir la vulnerabilidad de los diferentes componentes de la biosfera, entre los

que se encuentra el ser humano. Con esta asignatura se plantea que el estudiante comprenda las bases teóricas del cambio climático, diferencie este proceso de la variabilidad climática natural, conozca sus causas y su impacto sobre la dinámica global del clima, las especies, ecosistemas y el ser humano. Además, intenta que el estudiante tenga claro cuáles son las medidas de mitigación y adaptación que se han tomado y que se pueden tomar desde su profesión frente a este fenómeno. El conocimiento adquirido en esta asignatura aporta a desarrollar en los y las profesionales en formación la capacidad de implementar estrategias de conservación de los recursos ambientales acordes con las necesidades locales y globales.



2. Metodología de aprendizaje

La asignatura está planificada para usar metodologías de aprendizaje activas, apoyadas en tecnologías informáticas y recursos abiertos. El empleo de estas metodologías le abrirán el camino para profundizar en los contenidos, algunas de ellas son:

1. Microvideos.
2. Foros.
3. Simulación.
4. Autoevaluación.

Es conveniente que tome en cuenta que el proceso de autoaprendizaje es un reto que requiere su esfuerzo y dedicación, por lo tanto, es imperativo que organice su tiempo y lo distribuya convenientemente. Es importante mencionar, que la asignatura no cuenta con un texto base, por lo que la presente guía virtualizada es el principal recurso de aprendizaje del/a estudiant



3. Orientaciones didácticas por resultados de aprendizaje



Primer bimestre

Resultado de aprendizaje 1

- Conocer los aspectos teóricos básicos relacionados al clima y su dinámica.

A través del presente resultado de aprendizaje usted estará familiarizado con el funcionamiento del sistema climático y los procesos que lo controlan. Este conocimiento es fundamental para, posteriormente, comprender y analizar las evidencias científicas detrás del cambio climático, así como sus impactos.

Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje



Semana 1

Unidad 1. Clima

Estimado/a estudiante, en esta semana comenzaremos con la primera unidad académica, la cual se enfoca en el clima como tema central. Para entender lo que es el cambio climático primero debemos entender qué es el clima y cómo funciona, es decir, qué factores lo controlan. Empezaremos entonces analizando qué es el clima, para luego distinguir entre clima y tiempo. Luego, nos tomaremos un poco más de tiempo para profundizar en la comprensión del sistema climático y sus componentes.

Es importante que tenga en cuenta que el contenido de esta unidad lo encontrará exclusivamente en esta guía, y para profundizar los contenidos deberá usar los recursos de aprendizaje como videos y lecturas específicas que se indican en cada semana.

1.1. ¿Qué es el clima?

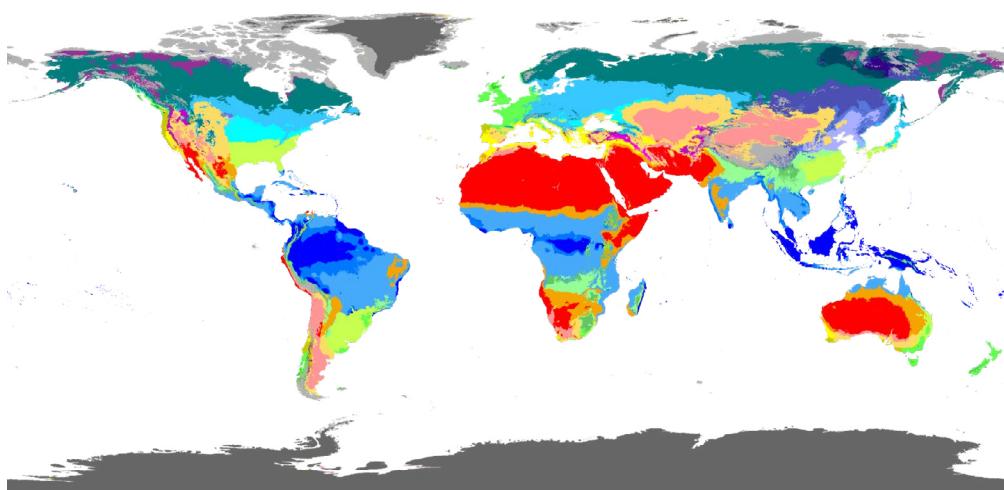
El término “clima” es utilizado con mucha frecuencia; detengámonos un momento a pensar cómo estamos utilizando este término y para qué. Por ejemplo, cuando necesitamos diferenciar entre regiones latitudinales utilizamos el clima como un factor que las diferencia, de manera que cuando hablamos de la región tropical pensamos en un clima cálido, mientras que al hablar de regiones templadas pensamos en un clima frío.

Pero ¿cómo podemos definir al clima de manera general? El clima es el resultado de una serie de interacciones entre diferentes variables atmosféricas, entre estas la temperatura y la precipitación. También hay otras variables importantes en la definición del clima, como el viento, la nubosidad, es decir, el número de días del año con presencia de nubes, y la humedad relativa del aire, que representa el porcentaje de vapor de agua presente en el aire.

De esta forma el clima es un resumen de varias variables y se define en función del promedio y rango de variación de cada una de esas variables. Estos estadísticos de resumen se estiman utilizando datos de períodos de tiempo muy amplios, por lo general períodos mayores a 30 años.

Figura 1.

Mapa de clasificación climática de Köepen-Geiger, basada en datos meteorológicos del período 1980 – 2016.



Tomado de By Beck, H.E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E. F. - Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution". Nature Scientific Data. DOI:10.1038/sdata.2018.214., CC BY 4.0. [Enlace web](#).

El clima es muy variable entre diferentes regiones del mundo, y está definido en gran medida por las variaciones latitudinales en la temperatura. Por ejemplo, en las zonas tropicales las temperaturas son relativamente altas y constantes a lo largo del año, mientras que cerca de los polos son bajas. Estas variaciones de temperatura como respuesta a la latitud se han utilizado para clasificar el mundo en grandes categorías climáticas, entre estas, climas tropicales, secos, húmedos, continentales, polares, entre otros que se pueden consultar con detalle en la Figura 1.

Pero también existen otros factores modificadores del clima además de la latitud, uno de ellos es la “altitud”. Las zonas más bajas tienden a ser más cálidas que las zonas altas. Es decir, existe una relación lineal entre la altitud y la temperatura: a mayor altitud menor temperatura.

Para analizar la forma en la cual diferentes factores pueden actuar sobre el clima de una localidad específica, le invito a realizar el ejercicio propuesto en el siguiente documento: [Recurso de aprendizaje](#)

Como habrá podido analizar con el desarrollo del ejercicio anterior, aunque la temperatura inicialmente nos da una buena idea de lo que sucede con el clima a escalas espaciales grandes, a escalas más pequeñas existen otros factores que pueden modificar las características del clima. Así, por ejemplo, podemos encontrar que los valles interandinos se encuentran influenciados por otros procesos que hacen que la humedad y precipitación de estos sea muy baja. Así mismo, la distancia a las zonas costeras afecta la humedad del aire y la regularidad de las precipitaciones. De esta forma procesos a escalas más pequeñas pueden modificar otras variables de clima.

1.2. ¿Es lo mismo clima y tiempo?

Con esta rápida revisión que hemos hecho sobre el clima, es necesario pasar a analizar la diferencia entre clima y tiempo, dos términos que a menudo se utilizan de manera indistinta, pero que tienen un significado diferente, y es necesario aclarar esas diferencias antes de que profundicemos en el tema que nos interesa, el cambio climático.

...Tómense un momento para analizar cuál es la diferencia entre estos dos términos.

En realidad, la diferencia entre clima y tiempo es muy simple, pero tiene implicaciones importantes. Como ya vimos antes, el clima está definido por una serie de variables atmosféricas, y se determina utilizando los valores promedio y rango de variación de estas variables, calculados con base a datos de períodos muy largos de tiempo. El tiempo se define utilizando las mismas variables del clima, pero la diferencia está en que el tiempo se calcula para un período de tiempo muy corto, desde días hasta semanas en una localidad específica.

Figura 2.

Ejemplos de tipos de clima vs. tiempo.



Nota: Elaborado por la autora.

Como se puede observar en la Figura 2, mientras que el clima está definido por el patrón a largo plazo de diferentes variables meteorológicas, el tiempo se define en función de las tendencias de dichas variables para un período de tiempo corto, horas o días.

De esta forma la próxima vez que necesite verificar las condiciones que tiene el día, debería preguntar ¿Cómo está el tiempo hoy? Y no ¿Cómo está el clima? Si usted está en la misma localidad el clima no cambia, al menos ese cambio no es apreciable por nosotros.



Actividades de aprendizaje recomendadas

Continuemos con el aprendizaje mediante su participación en la actividad que se describe a continuación:

- Realice una consulta en Internet acerca de la relación entre:
 1. El clima y la latitud. ¿Qué variables climáticas cambian con la latitud? ¿Cuál es el patrón que muestran esas variables con respecto a la latitud (incrementan o disminuyen) y por qué?
 2. El clima y la altitud ¿Qué variables climáticas cambian con la altitud? ¿Cuál es el patrón que muestran esas variables con respecto a la altitud (incrementan o disminuyen) y por qué?

Nota: conteste las actividades en un cuaderno de apuntes o en un documento Word.

Con el desarrollo de estas preguntas usted tendrá claro que la latitud afecta en gran medida la temperatura. Esta relación de reducción de la temperatura promedio del aire conforme incrementa la latitud, se observa también con la altitud, a mayor altitud menor temperatura. Es importante que tenga en cuenta que, además, la latitud define los cambios estacionales en la disponibilidad de luz, así como en la estacionalidad de las precipitaciones.



Semana 2

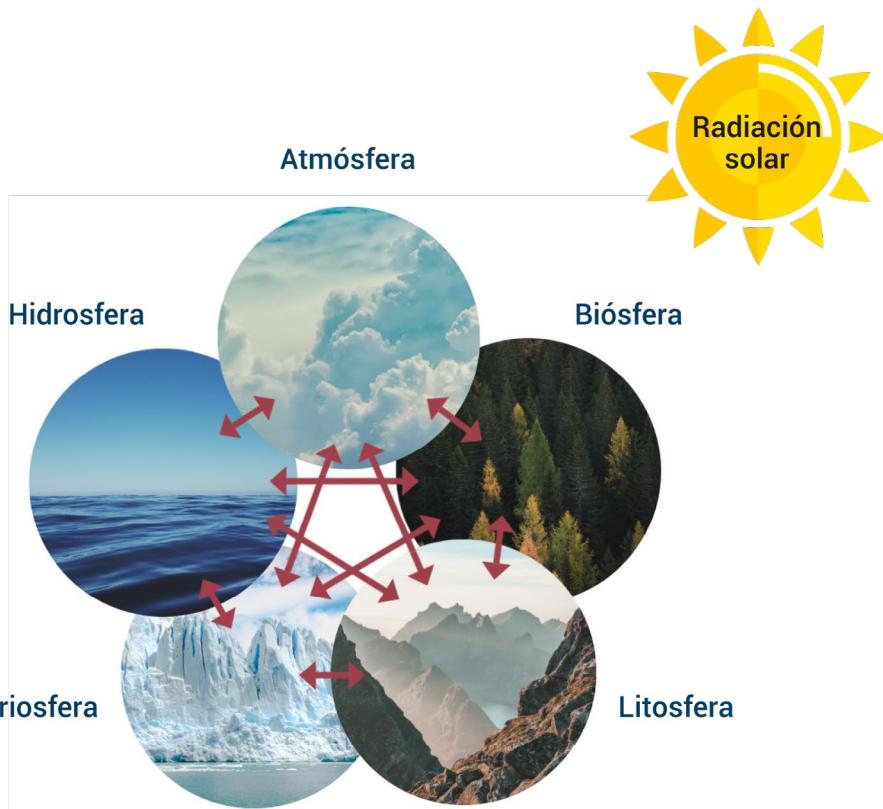
Estimados/as estudiantes es momento de profundizar el conocimiento sobre el clima, y lo haremos analizando el sistema climático y sus componentes. No olvide que el éxito del aprendizaje depende de su dedicación diaria para realizar lecturas y actividades planteadas. ¡Éxitos!

1.3. El sistema climático y sus componentes

Anteriormente, vimos que hay diferentes variables (ej. temperatura y precipitación) y factores (ej. altitud y latitud) que definen el clima del

planeta y sus variaciones entre regiones. Pero estas variables y factores no actúan de forma aislada, sino de forma sinérgica al interactuar dentro de un sistema, el “Sistema Climático”. Como puede observar en la Figura 3, el sistema climático está conformado por cinco componentes: atmósfera, hidrosfera, criósfera, litósfera y biósfera. A estos cinco componentes hay que agregar un componente clave como el sol. El sol es la fuente de energía que pone en marcha todo el sistema climático.

Figura 3.
Componentes del sistema climático.



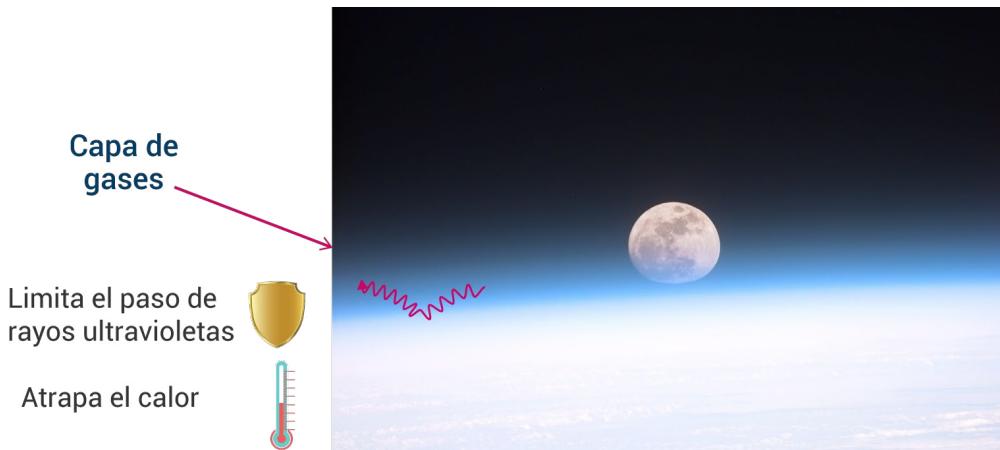
Adaptado de: De Femkemilene - Trabajo propio, CC BY-SA 4.0. [Enlace web](#)

1.3.1. Atmósfera

Cuando hablamos de la atmósfera nos referimos a esa fina capa de gases que rodea al planeta. Aunque en relación con la superficie de la Tierra, esta capa es muy delgada, cumple funciones que son clave para que se pueda desarrollar la vida en el planeta. Como se puede ver en la Figura 4, la atmósfera actúa como un **escudo protector** que limita el paso de rayos

ultravioleta hacia la superficie terrestre, al mismo tiempo que actúa como una **manta térmica**, que retiene el calor que se emite desde la superficie terrestre, esa es la forma en la cual se mantiene una temperatura adecuada para los organismos vivos.

Figura 4.
Funciones de la atmósfera.



Adaptado de: [Enlace web](#).

La atmósfera tiene una estructura de varias capas, cada una con una composición distinta en cuanto a los gases presentes, y también presenta variaciones en cuanto a la temperatura. La capa más cercana a la superficie terrestre es la **Troposfera**, que es en donde se desarrolla la vida. Además, en esta capa se encuentra la mayor concentración de gases de la atmósfera, aproximadamente un 80 % de estos. Esta alta concentración de gases da lugar a que en la Troposfera se generan la mayoría de los fenómenos meteorológicos, es decir, aquellos procesos que regulan el clima. Vamos a profundizar este tema con información más detallada sobre la troposfera y las otras capas de la atmósfera en el siguiente recurso.

Estructura de la atmósfera

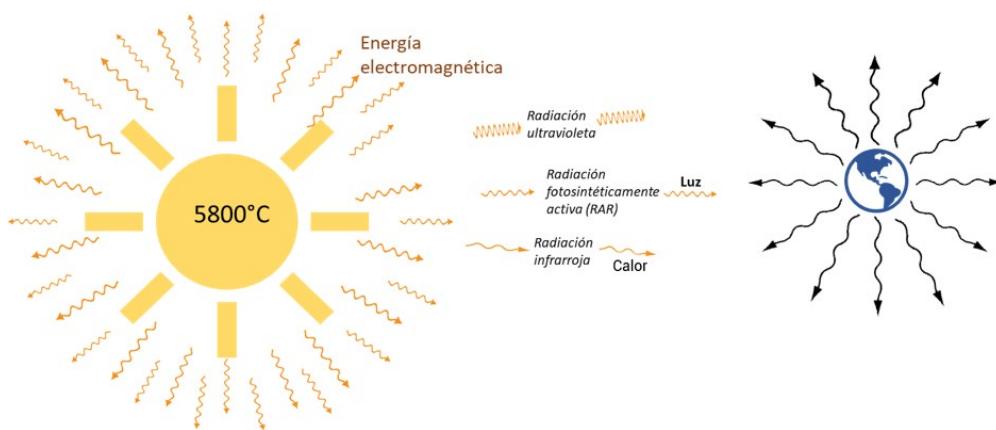
Ahora que hemos revisado las características de las diferentes capas de la atmósfera, usted tendrá una idea más clara sobre la función de cada una de estas. Algo fundamental para recordar cuando analizamos temas más específicos sobre el sistema climático y el cambio climático, es que la troposfera y la estratosfera juegan un papel fundamental desde el punto de vista de regulación del clima.

Antes de cerrar el tema de la atmósfera, vamos a hacer una pausa para analizar de qué forma la radiación solar influye en la atmósfera y, a través de esta, en el clima de la Tierra. Para ello es importante tener claro a qué nos referimos con “radiación solar”.

La radiación solar no es más que la energía emitida desde el sol, que se propaga en forma de ondas electromagnéticas. La Figura 5 representa la forma en la cual la energía electromagnética es emitida desde el sol. Al llegar a la atmósfera de la Tierra, estas ondas electromagnéticas proveen de luz, calor y energía, según la longitud de onda que presenten. De toda la radiación electromagnética que llega a la atmósfera, una parte es radiación ultravioleta, con longitudes de onda muy cortas (< 400 nm), la cual es en su mayoría retenida en la atmósfera. La gama de longitudes de onda entre 400 y 700 nm corresponde al espectro de luz visible (radiación fotosintéticamente activa), que es utilizada por las plantas como fuente de energía para la fotosíntesis. También llega hasta la superficie terrestre una parte de luz infrarroja (> 700 nm), que es la que calienta la superficie terrestre. La Tierra, por su parte emite parte de la energía recibida, con lo cual se mantiene una temperatura constante. Este equilibrio entre entradas y salidas de energía se conoce como “equilibrio radiativo”.

Figura 5.

Representación de la energía electromagnética emitida desde el sol.



Elaborada por: La autora.

La radiación solar controla la circulación en la atmósfera y los océanos, la cual es fundamental para el transporte de calor desde las regiones tropicales hacia los polos. De esta manera, la radiación solar define la circulación atmosférica y esta, a su vez, define el clima del planeta.

¿Qué sabemos del efecto invernadero?

El efecto invernadero es un proceso del cual se habla mucho y la mayoría de las veces se relaciona con el cambio climático. Sin embargo, es necesario entender que el efecto invernadero es un proceso natural de la atmósfera, y la vida sobre la Tierra depende en gran medida de este proceso. Así que primero revisaremos rápidamente en qué consiste el efecto invernadero natural, para luego analizar la problemática con relación al cambio climático.

El efecto invernadero ocurre en la troposfera como resultado de la alta concentración de gases de efecto invernadero (GEI) que caracteriza a esta primera capa de la atmósfera. Estos gases tienen la capacidad de absorber y reflejar de regreso la radiación infrarroja desde la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes (Figura 6). Esta energía infrarroja, como recordarán, es básicamente calor.

En la Figura 6 se puede apreciar el proceso a través del cual se da el efecto invernadero. La energía solar que alcanza la superficie de la Tierra calienta océanos y masa terrestre y una fracción es emitida nuevamente a la atmósfera como energía infrarroja. Mientras una parte de esta energía escapa al espacio, la mayor parte es retenida en la atmósfera gracias a que los gases de efecto invernadero atrapan energía en forma de calor cerca de la superficie terrestre, manteniendo una temperatura promedio de 14 °C. Sin este efecto, el calor que llega y que se refleja desde la superficie terrestre se dispersaría hacia el espacio, y la temperatura de la superficie terrestre sería de aproximadamente unos -19 °C, con lo cual, la vida sobre la Tierra sería muy diferente.

Figura 6.
Representación del efecto invernadero.

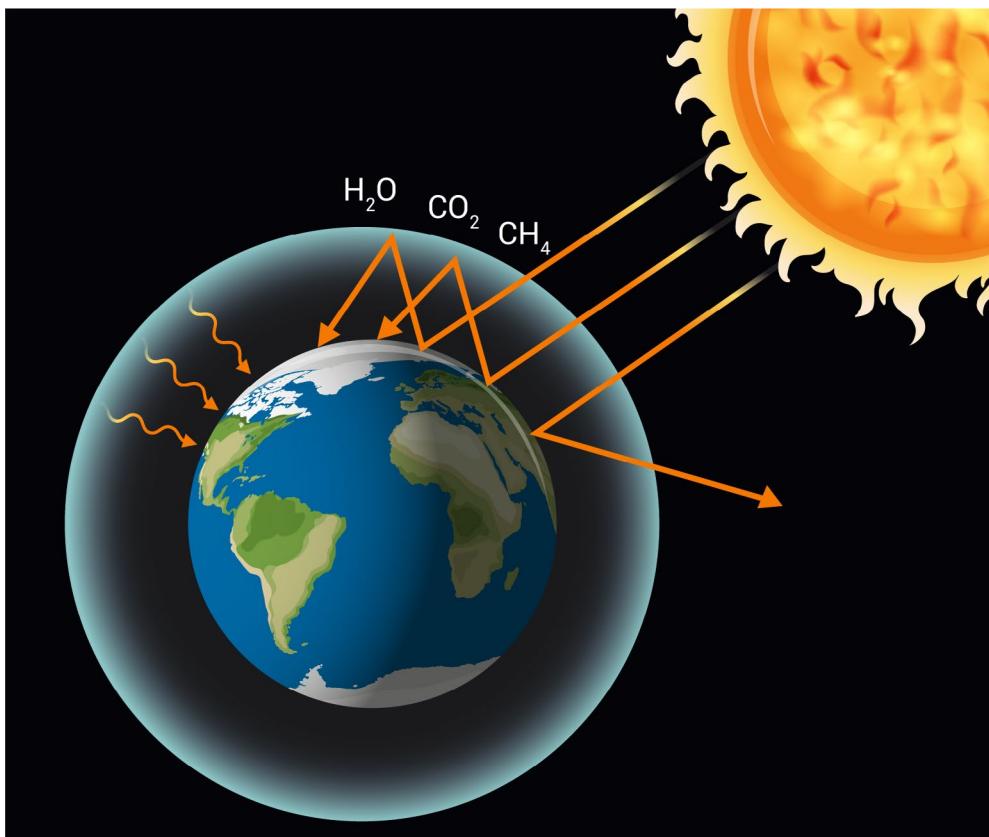


Imagen tomada de: [Enlace web](#).

El vapor de agua (H_2O), el dióxido de carbono (CO_2), el óxido nitroso (N_2O), el metano (CH_4) y el ozono (O_3) son los principales GEI presentes en la atmósfera terrestre (IPCC, 2014b). Sin embargo, es importante mencionar que los porcentajes de GEI varían diaria, estacional y anualmente.

Más adelante revisaremos con más detalle el aporte de cada uno de estos gases al efecto invernadero, sus principales fuentes de emisión, así como las actividades humanas que intervienen en este proceso. Por ahora, lo importante es comprender en qué consiste y el rol que cumple el efecto invernadero en la regulación del clima de la Tierra.



Actividades de aprendizaje recomendadas

Continuemos con el aprendizaje mediante su participación en las siguientes actividades:

1. Realice una consulta en Internet acerca del efecto invernadero y del equilibrio radiativo. Luego, analice de qué forma se mantiene el equilibrio radiativo ¿cómo se mantiene el equilibrio entre entradas y salidas de energía?
2. Analice las siguientes preguntas
 - ¿Qué sucede si en algún momento la cantidad de energía solar que llega a la atmósfera aumenta?
 - ¿Qué sucedería en el planeta Tierra si no hubiera la presencia de gases de efecto invernadero en la atmósfera?

Nota: conteste las actividades en un cuaderno de apuntes o en un documento Word.

Con el desarrollo de estas preguntas usted podrá concluir que la cantidad de energía que llega a la superficie del planeta es compensada por la salida de una cantidad igual de energía. Además, es muy importante profundizar en el análisis de la importancia de los GEI para mantener una temperatura global adecuada para el desarrollo de la vida en el planeta.



Semana 3

1.3.2. Criósfera

El segundo componente del sistema climático que revisaremos es la criósfera. La criósfera incluye todas aquellas zonas del mundo congeladas de forma permanente, así como aquellas zonas que llegan a congelarse en una parte del año. De manera que tanto el hielo como la nieve son parte de la criósfera.

Las masas más grandes de la criósfera están en los polos, representadas por las placas de hielo de Groenlandia y la Antártida, así como los icebergs (témpanos de hielo flotando el mar), el permafrost, que es la capa de

suelo permanentemente congelada. Pero, como podemos ver en la Figura 7, también podemos encontrar otros componentes importantes de la criósfera en otras partes del mundo caracterizadas por la presencia de nieves perpetuas, por ejemplo, los glaciares de alta montaña de regiones templadas y tropicales, como los que tenemos en las partes altas a lo largo de los Andes.

Figura 7.
Mapa de la criósfera.



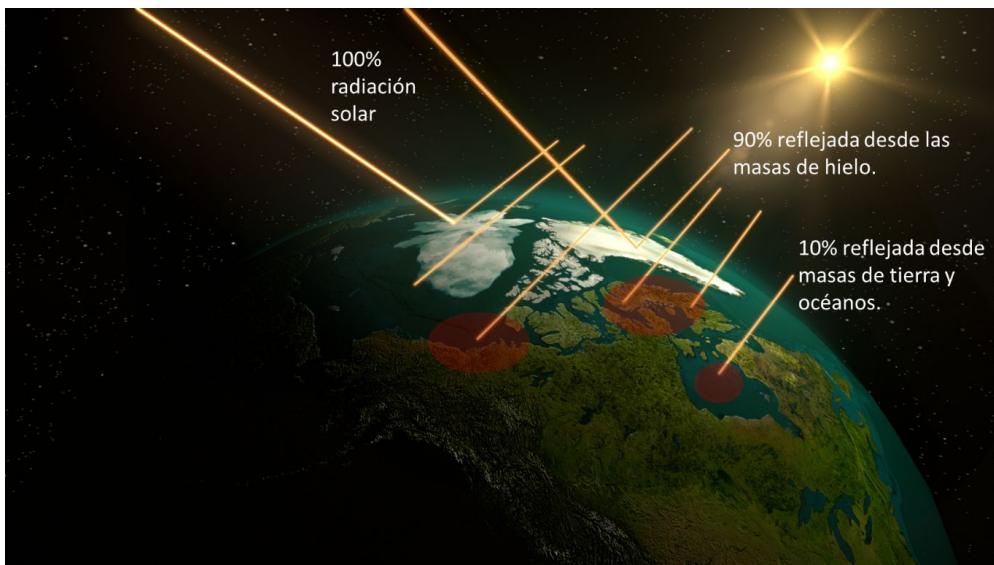
Imagen tomada de: Fraxen at English Wikipedia, CC BY-SA 3.0. [Enlace web](#).

Por otro lado, las áreas estacionales de la criósfera incluyen lugares donde cae nieve y donde el suelo, ríos y lagos se congelan. Esto nos dice, que **la superficie de la criósfera se expande durante los fríos meses de invierno**. Pero de manera general se señala que la criósfera representa aproximadamente un 24% de toda la superficie de la Tierra.

Todos estos componentes de la criósfera juegan un papel muy importante en el clima de la Tierra. La nieve y el hielo, al ser cuerpos blancos, tienen una alta capacidad de reflejar la radiación solar, reflejando aproximadamente un 90 % del calor del sol. Esto implica que no hay una ganancia de calor en la superficie cubierta por nieve y hielo, al contrario, la criósfera contribuye a enfriar el planeta. Esta capacidad de un cuerpo para reflejar la energía electromagnética se conoce como **albedo**, a mayor albedo mayor es la cantidad de energía que se refleja. En la Figura 8 podemos observar cómo el hielo polar refleja la mayor parte de la energía solar que recibe, mientras que las masas terrestres y el agua en estado líquido en medio del océano, debido a su color oscuro absorben la mayor parte de la energía recibida, con lo cual se calientan. En otras palabras, el albedo de las masas de hielo es alto y el albedo del agua en estado líquido y de las masas terrestres es bajo.

Figura 8.

Albedo del hielo polar, océanos y masas terrestres.



Adaptado de: [Enlace web](#).

Otra razón por la cual la criósfera es importante para regular el clima está relacionada con su capacidad de almacenar una gran cantidad de metano (CH_4), que como vimos, es uno de los principales gases de efecto invernadero.

Existe información científica que demuestra que el CH_4 que está almacenado en el Ártico proviene principalmente de dos fuentes. Una fuente corresponde al metano que se ha formado en capas profundas de la Tierra y que permanece atrapado en cristales de hielo. La otra fuente es de origen orgánico, es decir que proviene de organismos muertos que han permanecido congelados en lo profundo del permafrost. Por miles de años esas moléculas de metano han estado atrapadas en el hielo del Ártico. Si ese hielo llegara a derretirse, el metano almacenado se liberaría a la atmósfera, afectando al clima (National Snow and Ice Data Center, 2022).

En conclusión, el mantenimiento de la criósfera es clave para modular la liberación de gases de efecto invernadero y evitar el calentamiento global, sin embargo, como veremos más adelante, las regiones polares son muy vulnerables al cambio climático.

1.3.3. Hidrosfera

Otro componente del sistema climático es la hidrosfera, que comprende el agua que circula de forma continua entre la atmósfera, superficie terrestre, océanos, ríos, acuíferos subterráneos, cambiando su estado físico, dentro del conocido ciclo hidrológico.

Al igual que en la atmósfera y criósfera, el sol es el motor que aporta energía para la dinámica del ciclo hidrológico, permitiendo así el movimiento del agua y el cambio en su estado físico. Es de esta forma cómo se mantiene el equilibrio en las entradas y salidas del agua entre diferentes componentes del planeta.

Pero, ¿De qué forma la hidrosfera aporta al clima del planeta? Para entenderlo, es necesario analizar la relación que existe entre la atmósfera y el océano.

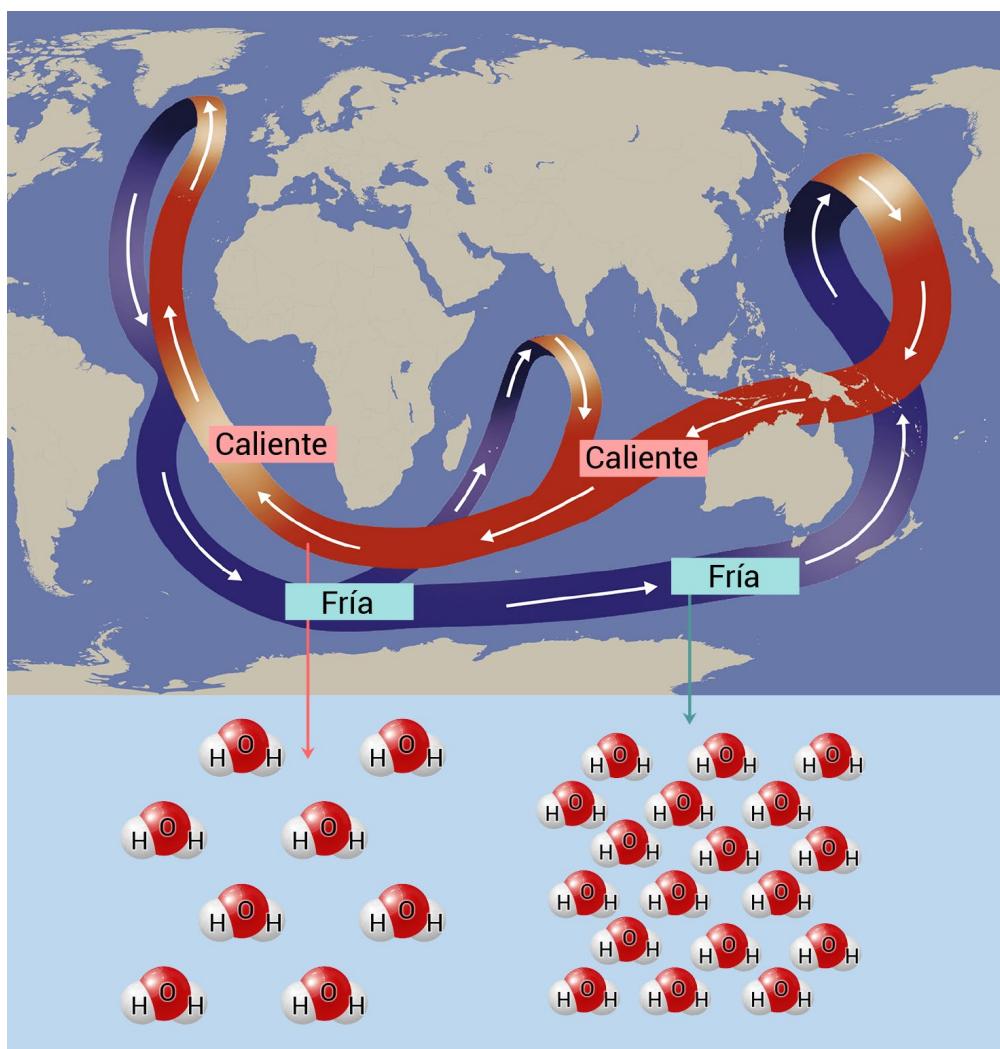
En el apartado de la criósfera analizamos el albedo, y vimos que el agua del océano, en su estado líquido tiene un albedo bajo debido a su color oscuro (Ver Figura 8). Esto quiere decir que tiene una baja capacidad de reflejar la radiación solar y, por tanto, la acumula. El océano tiene una fuerte capacidad calorífica, lo que implica que se calienta y enfriá muy lentamente. Para que tengan una idea de lo que esto implica para el clima global, esta propiedad del agua hace que el océano sea capaz de almacenar aproximadamente mil veces más calor que la atmósfera. Este calor se libera a la atmósfera de forma muy lenta.

Todo ese calor se distribuye alrededor del planeta a través de las corrientes oceánicas. Y es de esta forma cómo el océano juega su papel en el clima global, funciona como un termostato reduciendo la variación acelerada del clima.

Las corrientes oceánicas redistribuyen la energía solar absorbida gracias al efecto de los vientos superficiales, los cuales controlan la circulación de la capa superior del océano (hasta aproximadamente 100 m de profundidad). Pero, además, ciertas propiedades físicas del agua como la temperatura (termo) y la salinidad (halina) controlan el movimiento del agua incluso a mayores profundidades (Climate and Ocean, 2015). Este proceso se conoce como circulación termohalina, o banda de circulación oceánica.

Pero ¿Cómo funciona exactamente? En los trópicos, la mayor radiación solar calienta las aguas superficiales del océano. Luego, los vientos mueven estas masas de agua tibia, favoreciendo así el transporte del calor acumulado en los trópicos hasta los polos, a través de lo que se conoce como “banda transportadora”. De esta forma se reducen las diferencias latitudinales de temperatura. En la Figura 9 se representa de forma simplificada cómo funciona la banda transportadora oceánica, llevando el agua cálida superficial de los trópicos hacia los polos. Durante este viaje el agua se enfriá y, al enfriarse se vuelve más densa, lo que hace que se hunda conforme se acerca a los polos. Conforme las masas de agua se enfrián en su trayecto a los polos, éstas se mueven a mayor profundidad, pues al enfriarse el agua tiende a densificarse. En la Figura 9 se puede apreciar que las moléculas de agua están más juntas en el agua fría que en el agua tibia. Pero, además la concentración de sal también incrementa en el agua fría. Por tanto, el agua fría tiende a hundirse debido a un incremento en la densidad del agua y en la concentración de sales.

Figura 9.
Circulación termohalina.

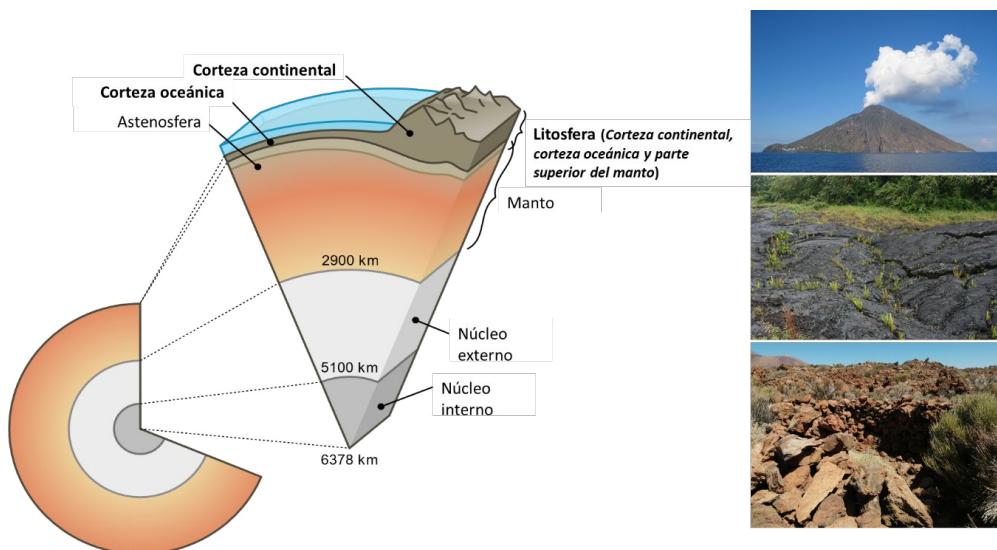


Adaptado de: [Enlace web](#)

1.3.4. Litósfera

La litosfera es un componente importante para el balance energético de la Tierra, pues absorbe y refleja una gran cantidad de energía. En la Figura 10 usted puede revisar las partes de la Tierra que componen la litosfera; corteza oceánica, corteza terrestre, y parte superior del manto, que comprenden las estructuras externas y más rígidas de la Tierra. Se muestran además ejemplos de diferentes componentes de la litosfera, como un volcán y estructuras rocosas.

Figura 10.
Representación de la Litósfera y sus componentes.



Iniciando desde la imagen de la izquierda hasta la inferior derecha, las imágenes fueron tomadas de: [Earth cutaway schematic-en.png](#), Public Domain, [Enlace web](#); Steven W. Dengler - Own work by the original uploader, CC BY-SA 3.0, [Enlace web](#); Quinn Dombrowski (quinn.anya) - [Enlace web](#), CC BY-SA 2.0, [Enlace web](#); Maria Dolores Barrena Delgado - Personal donation, CC BY 4.0, [Enlace web](#)

El aporte de la litósfera al calentamiento del planeta depende en gran medida de las características del suelo. Una de esas características está relacionada con el color del suelo. Como ya revisamos previamente, los colores oscuros tienen un bajo albedo, por tanto, contribuyen a calentar la Tierra.

Otra característica de la litosfera que interviene en el balance energético es la humedad, pues la radiación solar primero se invierte en evaporar el agua y después en calentar la superficie del suelo.

Y finalmente, el aporte de la litosfera al balance energético depende también de la actividad volcánica, la cual aporta gases de efecto invernadero a la atmósfera.

1.3.5. Biósfera

Nos queda por revisar un último componente relacionado con el sistema climático de la Tierra, la Biosfera. Tanto el tipo de vegetación, como los

animales y demás organismos vivos afectan de diferentes formas al clima, ya sea mediante su capacidad de reflejar o retener energía, es decir su albedo, o a través de su respiración. La vegetación contribuye con el vapor de agua a través de la transpiración, además, regula la evaporación del agua desde el suelo. La vegetación también contribuye al balance del dióxido de carbono a través de la fotosíntesis. Por otro lado, la vegetación tiene un albedo bajo. Como recordará de lo revisado en el apartado de la criósfera, el color de un cuerpo define el albedo, o la capacidad de reflejar la radiación solar. Para tener una idea del albedo de los elementos de la biosfera con relación a elementos de la criósfera, litosfera e hidrosfera, le invito a revisar la tabla 1.

Tabla 1.

Albedo de diferentes superficies, incluyendo superficies cubiertas de nieve, diferentes tipos de vegetación y océano.

Superficie	Rango de albedo (%)
Nieve fresca	80 – 90
Nieve antigua/derretida	40 – 80
Arena del desierto	40
Praderas	25
Bosques deciduos	15 – 18
Bosques de coníferas o Taiga	8 – 15
Tundra	20
Océano	7 - 10

Fuente: [Enlace web.](#)

Como habrá visto en la tabla 1, el albedo de la biosfera en términos generales ronda el 20 %, sin embargo, este valor varía de acuerdo al tipo de vegetación. En general, el albedo de los bosques y praderas es mucho más bajo que el de los elementos de la criósfera, como la nieve, pero es mayor que el albedo del océano.

También hay que mencionar dentro de la biosfera a los animales, que mediante su respiración aportan CO₂ a la atmósfera. En este componente es importante, además, mencionar las diferentes actividades humanas que aportan a las emisiones de CO₂ y otros GEI a la atmósfera.

1.3.6. Breve síntesis del sistema climático

Con la revisión del concepto de clima y de cada uno de sus componentes, ahora usted tendrá una idea más clara de la complejidad del sistema climático, la cual se debe en gran medida a que el clima es el resultado de la interacción de todos esos componentes, atmósfera, océanos, glaciares, superficie terrestre y organismos vivos.

Hay que entender que el sistema climático es dinámico, por tanto, evoluciona en respuesta a la influencia de los diferentes componentes que lo conforman, pero también en respuesta a fuerzas externas. Estas diferentes fuerzas que afectan el clima se conocen como “forzamientos”, porque tienen la capacidad de afectar el “equilibrio radiativo” de la Tierra. El equilibrio radiativo se refiere al balance de energía. Para mantener su temperatura constante, la Tierra libera energía al espacio en una tasa similar a la cantidad de energía que llega desde el sol (Figura 6). Las variaciones en la actividad solar, así como las erupciones volcánicas, y las emisiones de GEI por los humanos, representan factores de forzamiento (Le Treut et al., 2007).

Se pueden sintetizar tres vías a través de las cuales se puede afectar el equilibrio radiativo de la Tierra (Le Treut et al., 2007):

- a. Mediante un cambio en la cantidad de radiación solar que llega a la Tierra, lo cual puede darse como resultado de cambios en la actividad solar, o cambios en la órbita de la Tierra.
- b. Mediante cambios en la cantidad de radiación solar que se refleja desde la Tierra, es decir, cambios en el albedo. De manera que un incremento en la superficie cubierta de hielo, de nubes, o de superficie forestal, puede generar un forzamiento radiativo.
- c. Como resultado de un cambio en la radiación de onda larga (radiación infrarroja) desde la Tierra hacia el espacio, lo cual ocurre por cambios en la concentración de GEI.



Actividades de aprendizaje recomendadas

Le invito a reforzar sus conocimientos, participando en las siguientes actividades:

1. Desarrolle un modelo conceptual que represente qué es la criósfera y la forma en la cual esta permite regular y mantener el clima del planeta.
2. Revise cuál es el sitio de la criósfera más cercano a la zona que usted habita.

Nota: conteste las actividades en un cuaderno de apuntes o en un documento Word.

Con el desarrollo de estas actividades, usted podrá concluir sobre la importancia de la criósfera para enfriar el planeta, tanto por su alto albedo, como por su gran capacidad de almacenar carbono en los cristales de hielo.

Probablemente, usted habrá descubierto que existen elementos de la criósfera que están presentes muy cerca de su región, o incluso dentro de su región, pues la criósfera no se limita al hielo de los polos, sino que también está presente en zonas de alta montaña, incluyendo los Andes tropicales.

Estimado/a estudiante, es momento de medir los conocimientos sobre los conceptos de clima y tiempo. Desarrolle las preguntas planteadas a continuación, mismas que le servirán de repaso para la evaluación presencial. **¡Adelante!**



Autoevaluación 1

1. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones se refiere al concepto de 'tiempo' y cuál al de 'clima'?

Afirmación	Clima	Tiempo
a. Los inviernos en la costa de Ecuador son cálidos y húmedos.		
b. Las fuertes rachas de viento impidieron que se desarrollara la exhibición de vuelo sin motor.		
c. La temperatura media del mes de noviembre en Catamayo es de 24°C.		
d. Un frente frío se introdujo la pasada noche en el callejón interandino.		

2. Observe los datos del climodiagrama de la hoyía de Loja y señale las características climáticas correctas:

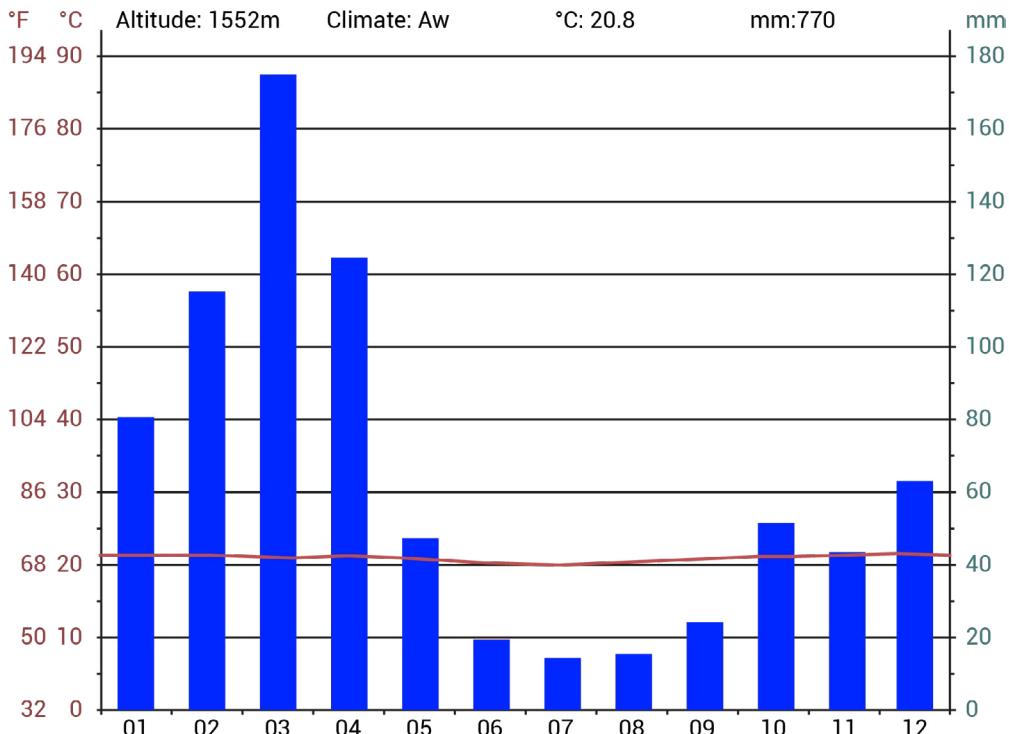


Imagen tomada de: [Enlace web](#).

- a. La temperatura promedio anual es de 20.8 °C.
 - b. El mes que presenta las mayores precipitaciones es diciembre.
 - c. En noviembre las temperaturas superan los 30°C.
 - d. El mes con menos precipitaciones en el año es julio.
 - e. En marzo las precipitaciones pueden superar los 140 mm.
 - f. La precipitación promedio anual es de 770 mm.
3. Las masas de tierra (litosfera) afectan al clima porque:
- a. Las masas de tierra tienden a ser de color oscuro, con lo cual absorben una alta cantidad de energía solar en forma de energía térmica, aportando al incremento de la temperatura del planeta.
 - b. Las masas de tierra tienden a ser de colores claros y brillantes, con lo cual tienen un alto albedo y contribuyen al enfriamiento de la Tierra.
 - c. Las masas de tierra suelen ser de color oscuro, por lo que absorben la mayor parte de la energía del Sol en forma de onda corta, lo que hace que aumenten las temperaturas.

Responda verdadero o falso a las siguientes afirmaciones:

- 4. () El albedo es la capacidad de reflejar la radiación solar de regreso al espacio.
- 5. () El que un cuerpo tenga un alto albedo implica que absorbe un gran porcentaje de la energía que llega desde el Sol.
- 6. () El hielo y la nieve tienen un bajo efecto de albedo.
- 7. () El derretimiento de las masas de hielo genera un incremento en el efecto del albedo.
- 8. () El agua necesita mucha energía para cambiar la temperatura.
- 9. () La capacidad térmica del agua es baja.

10. () La hidrósfera representa toda el agua en el planeta, incluidas las masas de hielo como aquellas de la Antártica y el Ártico.

[Ir al solucionario](#)

Resultado de aprendizaje 2

- Describir las evidencias del cambio climático, sus causas e impacto sobre el clima, la biodiversidad y el ser humano.

Con este resultado de aprendizaje usted podrá analizar e interpretar la información científica y las conclusiones que se incluyen en las evaluaciones del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). Para este resultado nos guiaremos principalmente, en los resúmenes para responsables de políticas, aunque también haremos uso de material procedente del informe completo y de otras fuentes oficiales de información.

Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje



Semana 4

Unidad 2. Evidencias del Cambio Climático

Estimada/o estudiante, esta semana daremos inicio al estudio de la unidad 2, enfocada en las evidencias científicas sobre el cambio climático. Para iniciar, será necesario analizar el concepto del cambio climático y revisar cómo el conocimiento de este fenómeno ha ido evolucionando, y cómo está siendo abordado a nivel global. No olvide que el éxito del aprendizaje depende de su dedicación diaria para realizar lecturas y actividades planteadas. *¡Éxitos!*

2.1. ¿Qué es el cambio climático?

Hoy en día es muy común discutir acerca del cambio climático, vemos cada día noticias acerca de fenómenos naturales que alcanzan nuevos récords en intensidad, o que se registran por primera vez en regiones donde jamás habían ocurrido. Sin embargo, aún existe mucho escepticismo en el público en general respecto a que el cambio climático es real. Incluso a nivel político, hasta hace muy poco se discutía y planteaba que se trata de una invención. Pero en los últimos años, las evidencias acerca de este

fenómeno han sido contundentes. Estamos ya viviendo un evento de cambio climático excepcional en los registros de la historia geológica de la Tierra.

Desde hace varias décadas se han venido desarrollando esfuerzos internacionales por mejorar la comprensión del cambio climático, así como sus causas y consecuencias.

En 1992 tuvo lugar la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en la cual se reconoce la preocupación general por los cambios en el clima y se reconoce el aporte de las actividades humanas a las concentraciones de GEI en la atmósfera, así como la necesidad de mejorar el conocimiento científico sobre el cambio climático e incorporarlo en las medidas de gestión.

Para poder abordar el tema del cambio climático de forma objetiva, la CMNUCC, plantea una definición de este fenómeno, la cual señala:

Por cambio climático se entiende “***un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables***”.

En dicho concepto, se reconoce que existe una variabilidad natural del clima. El registro geológico de la Tierra demuestra que han existido eventos de cambio climático previos en diferentes momentos de la historia del planeta. Pero aclara que al hablar del cambio climático actual, se contempla la influencia de las actividades humanas, que se suman y refuerzan la variabilidad natural.

Por otro lado, al hablar de cambio climático, debemos tomar en cuenta que este implica tendencias anómalas, fuera de lo normal, en las variables climáticas.

Estas tendencias anómalas no deben confundirse con períodos de mal tiempo en un año y región particular. Si bien es normal que el tiempo cambie y se alterne entre “buen tiempo” y “mal tiempo”, no es normal que un parámetro climático, por ejemplo, la temperatura o precipitación promedio anual **calculados sobre períodos suficientemente largos**, presentan grandes cambios o exhiban nuevas tendencias.

A la fecha, prácticamente todas las variables relacionadas con el clima han presentado tendencias anómalas, entre estas, incremento de días de calor extremo, incremento en la frecuencia de precipitaciones fuertes, reducción de la superficie de hielo e incremento en el nivel del mar.

Uno de los cambios que se reconoce con más frecuencia es el del incremento en la concentración de CO₂ en la atmósfera. En la Figura 11 se observa que, a lo largo de la historia geológica de la Tierra, o al menos en los últimos 800.000 años, han existido grandes fluctuaciones en la concentración de este gas. Aunque los datos están muy apilados en el gráfico, es necesario que nos fijemos en los períodos de tiempo entre los máximos de concentración de CO₂ antes de 1950 ¿Puede determinarlo? Son períodos de aproximadamente 80.000 años en los cuales la concentración de CO₂ varió entre unos 175 a 300 ppm, una diferencia de 125 ppm. Sin embargo, desde 1950 hasta nuestros días, en menos de un siglo, la concentración de este gas ha pasado de unos 300 a 420 ppm.

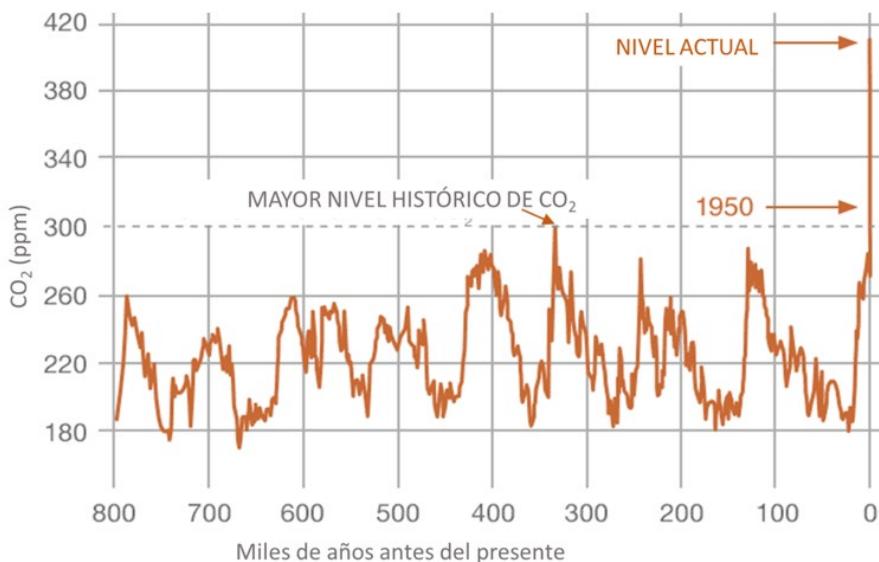
¡En cien años ha ocurrido un incremento de CO₂ cercano a lo que históricamente había sucedido en 80.000 años!

Una nueva tendencia en el incremento de concentración de CO₂ en la atmósfera.

Pero como veremos más adelante, la evidencia sobre cambios en las tendencias de variables climáticas no se limita al incremento del CO₂. Existe mucha evidencia respecto a cambios en la mayoría de variables relacionadas con el clima.

Figura 11.

Datos de la concentración media anual de CO_2 en partes por millón (ppm) a lo largo de los últimos 800.000 años, comparados al valor actual.



Adaptado de: NOAA [Enlace web](#).

2.2. Historia del cambio climático

2.2.1. Avances en el conocimiento científico

Como hemos visto, la CMNUCC en 1992 marcó un hito importante para el reconocimiento del cambio climático como un tema de interés global. Sin embargo, el estudio de este fenómeno empezó mucho antes. Ya en la década de 1760 se habían realizado algunos avances en la comprensión del sistema climático, y en la década de 1820 se describió el efecto invernadero natural de la Tierra. A partir de entonces, el conocimiento respecto al clima ha dado varios saltos. La suma de todo el conocimiento generado, de la mano con los avances tecnológicos permitió que en 1976 se cuente con un sustento científico sólido respecto al calentamiento global.

A continuación, le invito a revisar una breve síntesis de los descubrimientos científicos más importantes durante los últimos siglos.

[Avances en el conocimiento científico sobre el clima de la Tierra](#)

Para la década de los 80, finalmente se registró que la curva de temperatura media anual del planeta había empezado a incrementarse. De hecho, esa década pasó a conocerse como “la década del invernadero” debido al incremento registrado en la temperatura promedio global, así como por la serie de eventos naturales inusuales relacionados con dicho incremento (Martínez and Fernández, 2004). Fue entonces cuando la teoría sobre el calentamiento global comenzó a tomar fuerza y a difundirse en el ámbito político.

Las ONGs enfocadas en la conservación del medioambiente empezaron a plantear la necesidad de protección global del medioambiente para prevenir el calentamiento global. La prensa en todo el mundo empezó a tratar este tema entre las primeras noticias, generando una presión social para que el tema sea abordado desde los gobiernos. Pero no fue sino hasta 1988 que se reconoció que el clima era ya más caliente que antes de 1880, y la influencia de un efecto invernadero antropogénico detrás de este incremento.

2.2.2. Acuerdos internacionales

Como se habrán dado cuenta en el apartado anterior, el estudio del clima y sus patrones de cambio tiene varios siglos de historia. Toda la información generada a lo largo de este espacio de tiempo ha aportado para sustentar el fenómeno del cambio climático.

Es así que en la década de los 80 empieza a consolidarse un consenso respecto a la existencia actual de un evento de cambio climático que lleva la huella humana.

Diferentes conferencias realizadas en diferentes partes del mundo sirvieron de base para que en 1988 la Organización de las Naciones Unidas (ONU), en conjunto con la Organización Mundial Meteorológica, establezcan la creación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés). El IPCC es entonces un grupo de cooperación científica, cuyo objetivo es predecir el impacto de los gases de efecto invernadero teniendo en cuenta información científica. Desde su creación, este Panel representa el principal órgano internacional para la evaluación del cambio climático. Está conformado por más de 2500 científicos y expertos técnicos de más de 60 países de todo el mundo. Los científicos pertenecen a distintos campos de investigación como climatología, ecología, economía, medicina y oceanografía. Esta diversidad

de actores científicos permite una evaluación más objetiva y transparente de la información existente en torno al cambio climático.

Pero revisemos rápidamente cómo está estructurado y cómo trabaja el IPCC.

Primero es necesario aclarar que el IPCC no es un organismo de investigación científica, su función es analizar la información científica, técnica y socioeconómica existente. Para llevar a cabo esta tarea, el equipo científico-técnico del IPCC está estructurado en tres grupos de trabajo. La estructura completa del IPCC se puede revisar en el recurso a continuación:

[Estructura organizativa del IPCC](#)

Como vemos, el IPCC está conformado por una mesa directiva, un comité ejecutivo, cuatro grupos de trabajo orientados a analizar información de diferentes temáticas; Grupo I: Bases Físicas; Grupo III impactos, capacidad de adaptación y vulnerabilidad de los sistemas socioeconómicos y naturales frente al cambio climático; Grupo III, alternativas para la mitigación del cambio climático mediante alternativas de prevención y/o reducción de emisiones de GEI; un cuarto Grupo de Trabajo que se enfoca en la coordinación de Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. Además, cada uno de estos cuatro grupos cuenta con una unidad de apoyo técnico. Finalmente, forman parte del IPCC cientos de expertos que participan de forma voluntaria en la preparación de los informes del IPCC.

La principal actividad del IPCC es proporcionar a intervalos regulares Informes de Evaluación del estado del conocimiento sobre el cambio climático. Además, el IPCC también produce informes especiales, informes metodológicos, documentos técnicos y material de apoyo. El informe más actual publicado a la fecha es el Quinto Informe de Evaluación que se finalizó en noviembre de 2014. Más adelante tendremos un espacio para analizar este informe.

Antes analicemos qué es lo que ha ocurrido a partir de la década de los 80, y de la creación del IPCC en materia de acuerdos internacionales. Le invito a revisar la información detallada en la tabla.

Tabla 2.

Principales conferencias y acuerdos internacionales en torno a la lucha contra el cambio climático desde el año 1994 hasta 2021.

1994	1998	2001	2015	2019	2021
La Convención de las Naciones Unidas para la Lucha contra el cambio Climático (CMNUCC) entró en vigor el 21 de marzo de 1994	Se establece el protocolo de Kioto , como instrumento para comprometer a los países miembros a reducir las emisiones del GEI en al menos 5% por debajo de los niveles de 1990	Aunque el protocolo de Kioto se propuso en 1998, se necesitaron tres años para su firma , con 186 países firmantes. Varios países como EE.UU y Australia se retiraron.	Acuerdo de París. Se plantearon metas para el 2020, año de finalización de la vigencia del protocolo de Kioto: <ul style="list-style-type: none">• Establecer medidas para mantener hasta fines de siglo un incremento de temperaturas por debajo de los 2° C con respecto a los niveles preindustriales y, dados los graves riesgos, lucha por reducir dicho incremento a 1,5°C. - mejorar la capacidad de los países para hacer frente al cambio climático	Se llevó a cabo la Conferencia de la ONU sobre el Cambio Climático, o Cumbre de Acción Climática (COP 2019) con el objetivo revisar los asuntos pendientes para el funcionamiento del Acuerdo de París	Tuvo lugar la conferencia de la ONU sobre el Cambio Climático (COP 2021) . Las naciones tomaron decisiones para limitar el incremento de la temperatura media global a 1.5°C. Esto implicó compromisos para generar resiliencia al cambio climático, frenar las emisiones de GEI y proporcionar la financiación necesaria para ambos

Información tomada de: [Enlace web](#).

La información de la tabla 2 sintetiza aquellos acuerdos y conferencias que, con base en los avances de la comprensión del funcionamiento del sistema climático, han permitido avanzar en la lucha contra el cambio climático. Los compromisos del protocolo de Kioto para reducir las emisiones de GEI, así como los mecanismos propuestos para alcanzar estos objetivos se siguen renovando. Justamente, el Acuerdo de París se planteó con el objeto de establecer medidas que permitieran alcanzar los compromisos del protocolo de Kioto. Y las conferencias posteriores, también han estado orientadas a generar acuerdos y lograr el financiamiento necesario.



Actividades de aprendizaje recomendadas

Continuemos con el aprendizaje mediante su participación en la actividad que se describe a continuación:

1. Desarrolle un esquema que sintetice el trabajo desarrollado como parte del Protocolo de Kioto.
 - Fecha de creación
 - Período de vigencia
 - Objetivo
 - Integrantes (quiénes lo conforman / firman)
 - Logros
 - Retos

Puede descargar el documento del siguiente enlace [Protocolo de Kioto](#)

Y consultar información adicional en el siguiente enlace [UNFCCC](#)

Nota: conteste las actividades en un cuaderno de apuntes o en un documento Word.

Con el desarrollo de esta actividad de síntesis usted habrá comprendido la importancia de este acuerdo internacional en el ámbito de la lucha contra el cambio climático. Seguramente revisó que este acuerdo ha implicado una serie de compromisos por parte de los países firmantes para reducir las emisiones de GEI antropogénicas. Es así que en muchos países y regiones se han establecido leyes y políticas sobre cambio climático.

También habrá revisado que el protocolo de Kioto ha finalizado hace poco, pero se han dejado establecidas las pautas para continuar el trabajo de lucha contra el cambio climático, las cuales se definen en el Acuerdo de París.



Semana 5

En las siguientes tres semanas que restan del primer bimestre nos vamos a enfocar en analizar las evidencias científicas sobre el cambio climático. No olvide que el éxito del aprendizaje depende de su dedicación diaria para realizar lecturas y actividades planteadas. **¡Éxitos!**

2.3. Evidencias del cambio climático

El trabajo de análisis que han llevado a cabo los diferentes grupos de trabajo del IPCC y que se presenta en los diferentes informes técnicos, sintetiza claramente las evidencias científicas generadas desde diferentes partes del mundo, por miles de científicos, respecto al cambio climático, sus causas y consecuencias. La evidencia científica es concluyente respecto a que el planeta viene experimentando un incremento en la temperatura promedio y que, además, el incremento continuará durante el presente siglo como resultado de las emisiones de GEI de origen antropogénico, procedente en gran medida de la quema de combustibles fósiles.



“El calentamiento en el sistema climático es inequívoco, y desde la década de 1950 muchos de los cambios observados no han tenido precedentes en los últimos decenios a milenios.

La atmósfera y el océano se han calentado, los volúmenes de nieve y hielo han disminuido y el nivel del mar se ha elevado”.

IPCC, 2014

Los análisis realizados por los grupos del IPCC se basan en el uso de modelos climáticos para comprender las condiciones climáticas históricas y actuales y, a partir de esta comprensión, realizar proyecciones acerca de cómo cambiará el clima en el futuro.

2.3.1. Modelos climáticos para comprender el clima pasado, actual y futuro

Para poder realizar un análisis de las evidencias del cambio climático, es necesario comprender en qué consisten los modelos climáticos utilizados por los científicos.

Pero ¿qué es un modelo? Un modelo es una representación del comportamiento de diferentes procesos. En el caso de modelos climáticos, se trata de representaciones de procesos que afectan al sistema climático (ej. concentración de GEI en la atmósfera) y que definen las tendencias a largo plazo de las diferentes variables meteorológicas, como temperatura y precipitación, entre muchas otras. Como se podrán imaginar, los modelos llevan detrás una serie de ecuaciones matemáticas, las cuales pueden variar en su complejidad.

Los científicos desarrollan modelos climáticos utilizando diferente información meteorológica, para luego probarlos realizando comparaciones con las observaciones actuales y de los cambios históricos. De esta forma se estima el “nivel de confianza” del modelo. Los modelos que logran reproducir los cambios climáticos del pasado, como las eras glaciares y períodos interglaciares, tienen un mayor nivel de confianza. Hasta ahora, los modelos climáticos han demostrado una alta precisión en la predicción de los cambios que se han experimentado hasta la fecha. Y con los avances tecnológicos es posible predecir cada vez con un mayor nivel de confianza los cambios futuros.

Pero es importante tener presente que todo modelo, incluso los más confiables, presentan algún nivel de incertidumbre, es decir que ningún modelo es 100 % preciso. Esto se debe a que se desarrollan con base en el conocimiento existente sobre diferentes procesos, desde procesos físicos, químicos, biológicos, hasta sociales, siendo estos últimos los más complejos de precisar. Es por esta razón que todo modelo lleva algunas suposiciones de lo que podría esperarse con determinados procesos que no se conocen por completo.

Cuando analice las evidencias científicas sobre el cambio climático, encontrará entonces que, cada conclusión se presenta junto con el nivel de confianza asignado al modelo utilizado, así como una probabilidad de ocurrencia (tabla 3).

Tabla 3.

Términos estándar utilizados en los informes del Quinto Informe del IPCC para expresar los grados de probabilidad de ocurrencia de un resultado o conclusión y el nivel de confianza.

Probabilidad de ocurrencia	Nivel de confianza
Excepcionalmente improbable 0-1 %	Muy bajo ($\leq 5\%$)
Sumamente improbable (0-5 %)	Bajo (5-33 %)
Muy improbable (0-10 %)	Medio (33-67 %)
Improbable (0-33 %)	Alto (67-95 %)
Tan probable como improbable (33-66 %)	Muy alto ($\geq 95\%$)
Más probable que improbable (>50-100 %)	
Probable (66-100 %)	
Muy probable (90-100 %)	
Sumamente probable (95-100 %)	
Prácticamente seguro (99-100 %)	

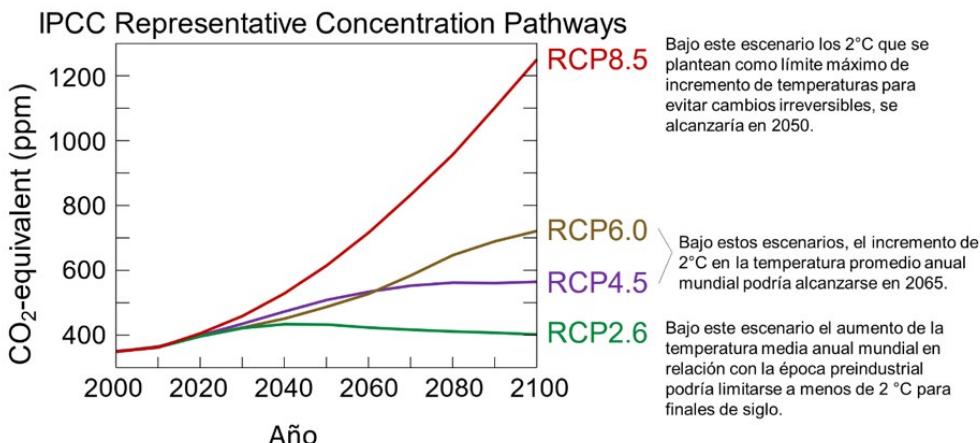
Cada conclusión expresada en los informes del IPCC se basa en una evaluación de la evidencia (observaciones, simulaciones y conocimientos teóricos examinados) y el nivel de acuerdo subyacente. Dicha evaluación es utilizada para asignar el nivel de confianza de una conclusión (tabla 3). En muchos casos existen limitaciones en la cantidad de información, resultados inconsistentes de diferentes fuentes de información, o dificultad para evaluar procesos complejos, los cuales generan una incertidumbre respecto a las conclusiones. De ello depende el nivel de confianza asignado.

Sin duda alguna, el clima futuro depende en gran medida de los niveles de emisiones antropogénicas globales de GEI en las próximas décadas. Sin embargo, dichas concentraciones dependen de factores económicos, políticos y demográficos, mismos que pueden ser difíciles de predecir con confianza. Es por ello que el IPCC utiliza los modelos climáticos para predecir el clima futuro bajo diferentes escenarios posibles (U.S. Global Change Research Program, 2019), denominados “vías de concentración representativas” (RCP por sus siglas en inglés).

Cada una de las RCP capturan una gama de posibles vías de emisión de gases de efecto invernadero y niveles de concentración atmosférica asociados hasta 2100 (en la Figura 12). A continuación, en la Figura 12 puede revisar con detalle lo que representa cada una de estas vías.

Figura 12.

Concentraciones de CO_2 -equivalentes para distintos escenarios de emisión (en partes por millón) de acuerdo con los cuatro RCP utilizados por el quinto informe de evaluación IPCC para hacer modelos predictivos.



Adaptado de: De Efbrasil - Trabajo propio, CC BY-SA 4.0, [Enlace web](#).

Las RCP que se muestran en la Figura 12 se enumeran según los incrementos en el forzamiento radiativo para 2100 en relación con las condiciones preindustriales expresados en vatios por metro cuadrado (W/m^2). El escenario 2.6, que representa un escenario con un incremento de 2.6 W/m^2 , es el más optimista y representa las tendencias del cambio climático asumiendo una mitigación estricta de las emisiones de GEI, lo cual implicaría un crecimiento poblacional mucho más lento que el actual hasta el año 2100, un cambio radical en las fuentes de energía y mejoras importantes en el estilo de vida. Mientras que en el otro extremo está el escenario 8.6, el cual predice lo que podría suceder si se mantiene un nivel muy alto de emisiones de gases de efecto invernadero y si no existen esfuerzos adicionales a los actuales para limitar las emisiones. Supone además un gran crecimiento poblacional (siguiendo las tendencias actuales). Y están los escenarios 6 y 4.5 que representan modelos intermedios. Como se puede apreciar en la Figura 12, a partir del año 2030 las proyecciones basadas en cada escenario comienzan a divergir significativamente.

En adelante, cuando revisemos el quinto informe del IPCC, es importante diferenciar y analizar qué es lo que se predice bajo cada uno de estos escenarios.

Para profundizar en el tema de los modelos climáticos utilizados por el IPCC para realizar las predicciones sobre los cambios futuros en el clima, le invito a realizar una lectura del [forzamiento radiativo en los modelos climáticos](#).



Actividades de aprendizaje recomendadas

Continuemos con el aprendizaje mediante su participación en la actividad que se describe a continuación:

1. Extraiga de los informes del IPCC, 2014 y del IPCC 2013, al menos una conclusión que presente un nivel de confianza muy alto, una con nivel de confianza alto y una con un nivel de confianza medio. Para cada una, revise la probabilidad de ocurrencia. Este ejercicio tiene el objetivo de que usted se familiarice con la forma en la cual se presenta la información sobre las conclusiones del IPCC respecto al cambio climático.

En los siguientes enlaces puede acceder a información del Quinto Informe del IPCC:

- [IPCC, 2014. Cambio climático 2014. Informe de síntesis](#)
- [IPCC, 2013. Cambio climático 2013. Bases físicas](#)

Una vez que ha desarrollado esta actividad usted tendrá claro que las conclusiones del IPCC presentan el nivel de consenso científico, basado en la cantidad de información científica existente y en la consistencia de los resultados reportados en dicha información. Por otro lado, también habrá revisado que la probabilidad se detalla para aquellas conclusiones que presentan un nivel de confianza alto o muy alto. Finalmente, es importante que tenga en cuenta que, tanto el nivel de confianza como la probabilidad de ocurrencia, se presentan en los informes del IPCC en cursiva (ej. “*probable*”). Este conocimiento le será útil para el posterior análisis de los informes del IPCC, los cuales utilizaremos como base hasta el final del curso.



Semana 6

Continuamos analizando las evidencias científicas sobre el cambio climático. No olvide que el éxito del aprendizaje depende de su dedicación diaria para realizar lecturas y actividades planteadas. **¡Adelante!**

2.3.2. Incremento en la concentración de CO₂ y otros gases de efecto invernadero

Usando como referencia el informe de síntesis más actual del IPCC, a continuación, revisaremos la evidencia científica existente.

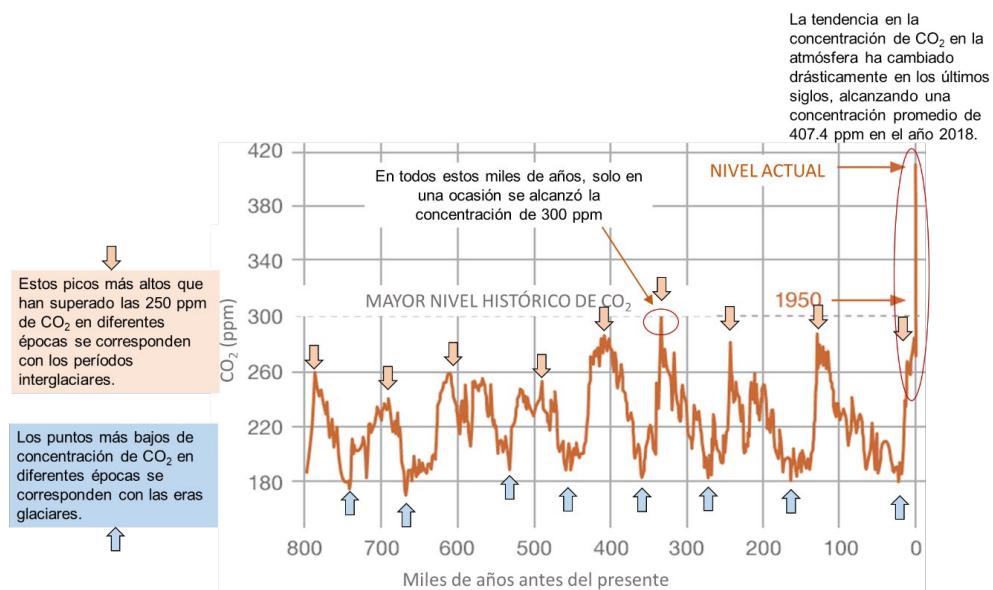


Más del 97 % de la comunidad científica afirma que el cambio climático es una realidad y que es acelerado peligrosamente por la acción del ser humano (IPCC, 2014)

Empecemos revisando en la Figura 13 lo que ha sucedido con la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera a lo largo de los últimos 800.000 años.

Figura 13.

Datos de la concentración media anual de CO_2 en partes por millón (ppm) a lo largo de los últimos 800.000 años, comparados al valor actual.



Adaptado de: NOAA [Enlace web](#).

Este patrón en la concentración de CO₂ que observamos en la Figura 13, se observa también para otros GEI, como el metano CH₄ y el óxido nitroso N₂O. Si bien estos gases están presentes de forma natural en la atmósfera, también son emitidos por diferentes actividades. Pero además, existen otros GEI presentes en la atmósfera que son exclusivamente producidos por actividades humanas, entre los halocarbonos, hidrofluorocarbonos (HFC), y otras sustancias que contienen cloro y bromo (Benavides and León, 2007). Precisamente, la tendencia observada en la Figura 18 hace evidente que el inicio de la era industrial y su modelo de producción basado en combustibles fósiles, ha dejado una huella en el clima de la Tierra. Pero, además, los registros históricos de la concentración de GEI en la atmósfera señalan que el mayor incremento se dio a partir de 1980, como consecuencia de la globalización (Rodríguez Becerra et al., 2015).

¡Parece sorprendente que podamos contar con información histórica de hace miles de años!



Datos como los que se muestran en la Figura 13 han sido obtenidos a partir de estudios que analizan la composición del aire que quedó atrapado en los núcleos de hielo en diferentes momentos de la historia geológica del planeta, haciendo una relación entre la profundidad del núcleo de hielo y el tiempo transcurrido desde su formación.

En general, todos los gases de efecto invernadero son emitidos desde más de una fuente; mientras que la mayoría de ellos son liberados a la atmósfera a través de la extracción y quema de combustibles fósiles, otras actividades como la deforestación, ganadería, agricultura, procesos industriales, son también fuentes importantes de emisión de varios GEI. La contribución de cada uno de estos gases al calentamiento del planeta depende de su capacidad de retener calor, así como de la cantidad que se libera a la atmósfera cada año y de su tiempo de vida. Mientras mayor es el tiempo que un gas puede permanecer en la atmósfera, mayor es el riesgo de que éste incremente su concentración y, por ende, mayor será el forzamiento radiativo que genere. Pero, también hay que considerar que cada gas tiene una capacidad diferente de retener energía, por ejemplo, el CH₄, aunque tiene un tiempo de vida mucho menor al CO₂, es mucho más potente atrapando calor, por lo que el incremento actual de sus emisiones representa un alto riesgo para el calentamiento del planeta.

Por otro lado, varios de estos gases, particularmente aquellos que se encuentran presentes de forma natural en el planeta, tienen algún sumidero, es decir, alguna forma o proceso que permite almacenarlos en la superficie terrestre y, de esa forma evitar su emisión a la atmósfera.

En el recurso a continuación, encontrará información del tiempo de vida, fuentes y sumideros de algunos de los principales GEI.

Tiempo de vida, fuentes y sumideros de algunos de los principales gases de efecto invernadero

Pero no podemos cerrar este apartado sin hablar del gas de efecto invernadero más importante en la atmósfera, ¡el **vapor de agua!** Este gas es el principal causante del efecto invernadero, por encima incluso del CO₂. Es fundamental mencionar que la presencia de vapor de agua en la

atmósfera no procede de las actividades humanas, y tampoco podemos controlarlo directamente, pero sí de forma indirecta, ya que el incremento en la concentración de otros GEI afecta el ciclo hidrológico.

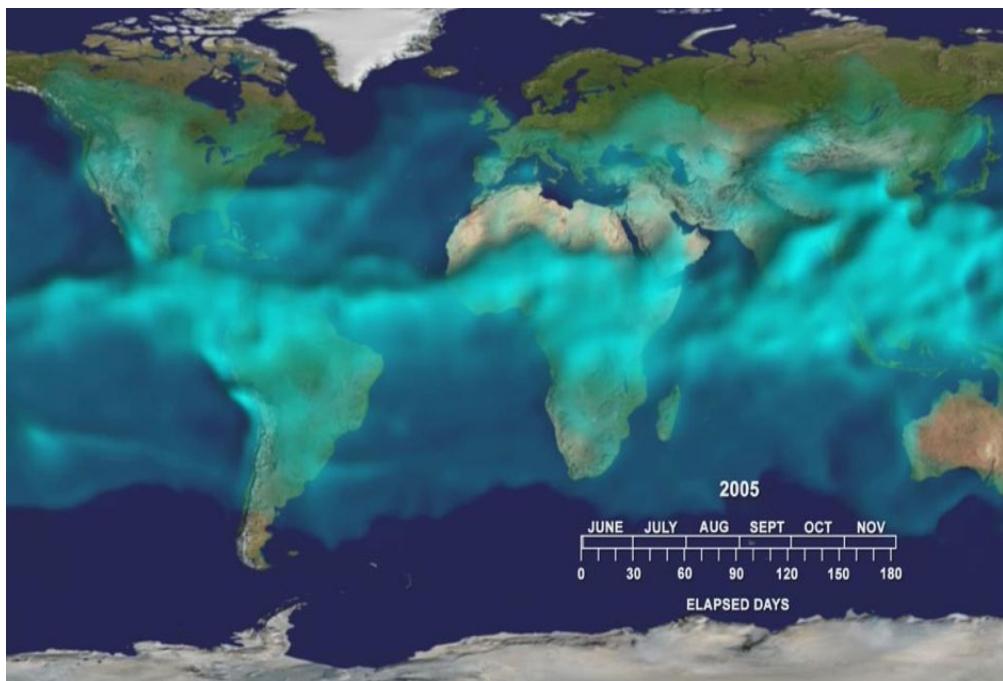
A diferencia de los gases atmosféricos preexistentes, la concentración del vapor de agua en la atmósfera depende de la temperatura. Una atmósfera más caliente tiende a incrementar la evaporación de agua del océano y, de esa manera, el contenido de vapor de agua en la atmósfera incrementa, generando a su vez un incremento en la temperatura de la superficie terrestre. Este efecto se conoce “**retroalimentación positiva” del vapor de agua**: si incrementa la temperatura existe más evaporación de agua, por tanto, incrementa también el vapor de agua en la atmósfera, y esto a su vez incrementa la temperatura al actuar como GEI.

En la Figura 14 se puede visualizar la distribución del vapor de agua en la atmósfera durante el inicio del verano del hemisferio norte en el año 2005. Se puede observar que la mayor concentración de vapor de agua está en la zona tropical, donde las temperaturas son mayores, pero este puede ser transportado a otras latitudes por las corrientes de aire. Las variaciones temporales en la concentración de vapor de agua en la atmósfera se pueden apreciar en vídeo, accediendo al siguiente enlace: [Water Vapor Transport](#). Se puede apreciar claramente cómo durante los meses de verano del hemisferio norte el vapor de agua se desplaza desde la región tropical hacia el hemisferio norte, mientras que al final del verano el patrón de movimiento cambia.

Algo importante es que no todo el vapor de agua que llega a la atmósfera tiene la misma capacidad de retener calor. En general, las nubes bajas y espesas reflejan la radiación que llega del espacio, aportando al enfriamiento. Pero las nubes delgadas que se forman a mayor altitud son las que atrapan la radiación infrarroja que irradia el planeta y, por tanto, las que aportan al incremento de temperaturas. En la Figura 14 se pueden apreciar con un color más brillante aquellas nubes que han alcanzado mayor altitud.

Figura 14.

Distribución del vapor de agua en la atmósfera durante el verano del hemisferio norte en el año 2005.



Tomado de: NASA/JPL [Enlace web](#).

Como resultado del incremento en la concentración de GEI en la atmósfera, tenemos el **incremento de la temperatura promedio del planeta**.



Cada uno de los tres últimos decenios ha sido sucesivamente más cálido en la superficie de la Tierra que cualquier decenio anterior desde 1850 (IPCC, 2014).

De los informes más recientes del IPCC, a continuación se presentan dos de las conclusiones actuales respecto a los cambios en la temperatura de la Tierra (Allen et al., 2018):

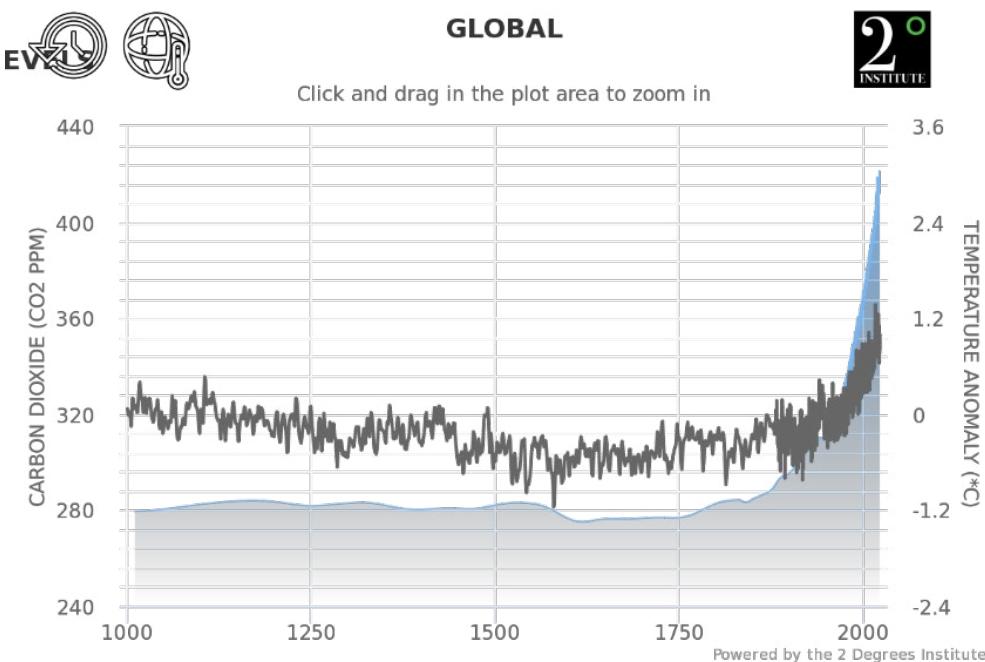
- Actualmente, la temperatura promedio global ha incrementado aproximadamente en 1 °C por encima de los niveles preindustriales (*probablemente* entre 0.8 – 1.2 °C), lo que implica un cambio entre 0.1 y 0.3 °C por cada década (*nivel de confianza alta*).

- Ya se ha experimentado un calentamiento superior al promedio mundial en muchas regiones y estaciones, con un calentamiento promedio más alto sobre la tierra que sobre el océano (*nivel de confianza alto*).

Las evidencias señalan, además, que la influencia humana ha sido la causa dominante del calentamiento observado desde mediados del siglo anterior (Allen et al., 2018).

Figura 15.

Anomalías de la temperatura promedio global (línea gris). Estas anomalías están definidas como la diferencia en grados centígrados con respecto al período 1951-1980. La curva azul representa la concentración de CO₂ en la atmósfera.



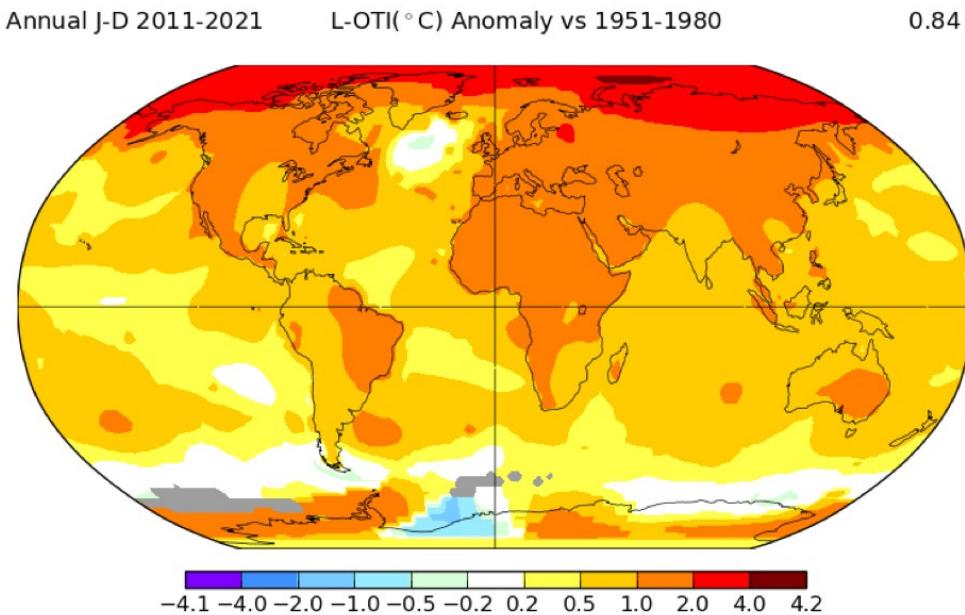
Tomado de: [Enlace web](#).

En la Figura 15 se pueden observar claramente los cambios en las temperaturas que se señalan en los informes del IPCC.

Por supuesto, hay que tener en cuenta que esos datos corresponden al promedio global, pero el incremento de temperaturas no es homogéneo a lo largo del planeta. Revisemos en la Figura 16 qué lugares del planeta presentan los mayores incrementos de temperatura promedio.

Figura 16.

Diferencia en la temperatura promedio para el período 2011-2021 vs. 1951-1980.



Fuente de datos: GISTEMP Team, 2022: GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP), version 4. NASA Goddard Institute for Space Studies. Dataset accessed 20YY-MM-DD at [Enlace web](#).

Se puede observar que prácticamente todas las regiones del mundo están experimentando un incremento en las temperaturas promedio anuales. Sin embargo, los polos, el hemisferio norte en general y varias regiones áridas han experimentado los mayores incrementos. El mayor incremento se registra en el Ártico, además, ha habido incrementos importantes en algunas zonas áridas del subtrópico, como el norte de África y el este de Sudamérica.



Actividades de aprendizaje recomendadas

- Revise el vídeo sobre las evidencias científicas y conclusiones del IPCC sobre el [cambio climático](#):

Como pudo analizar en el vídeo, la información científica sobre el cambio climático actual es sólida. El grupo de trabajo I del IPCC, que se encarga de analizar las bases físicas sobre este tema, ha sistematizado una gran

cantidad de información que confirma que se está viviendo un cambio climático y que, además, este cambio es de origen antropogénico.

Es interesante como los registros históricos del clima del planeta permiten predecir los cambios futuros, pero, además, diferentes modelos, desarrollados con base en diferentes datos, proyectan unas tendencias similares.

Otro tema que seguro usted pudo rescatar del vídeo, es que las evidencias científicas se utilizan para proyectar diferentes escenarios de cambio climático, lo cual es necesario ya que el cambio futuro dependerá en gran medida de cuáles sean las acciones que emprendamos como sociedad para reducir las emisiones antropogénicas de GEI.



Semana 7

Estimada/o estudiante, en el transcurso de esta semana continuaremos revisando las evidencias científicas sobre el cambio climático. Recuerde realizar lecturas diarias, tanto del texto como de los recursos propuestos para profundizar en cada tema. **¡Adelante!**

2.3.3. Calentamiento de los océanos



El calentamiento del océano es el factor predominante en el incremento de la energía almacenada en el sistema climático y representa más del 90% de la energía acumulada entre 1971 y 2010 (*nivel de confianza alto*), con solo alrededor del 1 % almacenado en la atmósfera (IPCC, 2014)

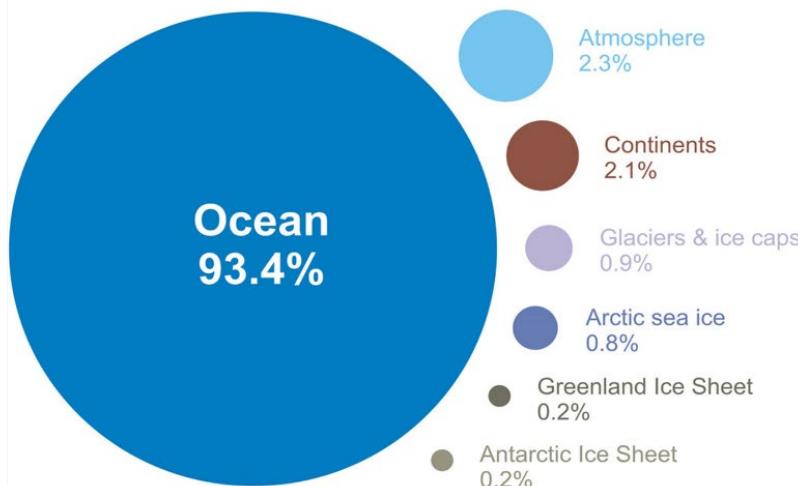
Tal como lo señala el quinto informe del IPCC, el sistema climático está incrementando la cantidad de energía almacenada en varios de sus componentes, siendo el océano el participante principal. En la Figura 17 podemos apreciar que más del 90 % de la energía se está almacenando en los océanos.

En otras palabras, más del 90 % del exceso de calor generado por los GEI es absorbido por los océanos. La evidencia que existe sobre este proceso permite obtener un nivel de confianza alto respecto a esta conclusión.

Figura 17.

Representación de la distribución del calor retenido por el calentamiento global en los diversos componentes del sistema climático para el período 1993 a 2003, calculado a partir del IPCC AR4 5.2.2.3.

¿A dónde está yendo el calentamiento global?



Adaptado de: [Enlace web](#).

El calor almacenado en el océano está causando un ligero calentamiento, principalmente en las aguas poco profundas (hasta de 700 m bajo el nivel del mar). Pero, el incremento de calor es también observado en los niveles más profundos del mar, aunque aún no son cambios fuertes.

Si somos conscientes del volumen total del océano, podemos tener una idea más clara de lo importante que es la cantidad de calor que un pequeño incremento en la concentración de GEI, tanto, que incluso si las emisiones de GEI cesaran ahora, los efectos del calentamiento del océano continuarían afectando al clima global durante varias décadas.

2.3.4. Reducción de las masas de hielo

De acuerdo al quinto informe del IPCC (IPCC, 2014b), las masas de hielo han sufrido una reducción en diferentes partes del mundo, lo que está afectando fuertemente al clima global. Algunas de las conclusiones que se plantean en dicho informe con relación a las masas de hielo, y que tienen un nivel de confianza alto son.

- En los dos últimos decenios, los mantos de hielo de Groenlandia y la Antártida han ido perdiendo masa.
- Los glaciares han continuado menguando en casi todo el mundo.
- El manto de nieve en primavera en el hemisferio norte ha seguido reduciéndose en extensión.
- El cambio climático está causando el calentamiento del permafrost y el deshielo en las regiones de altas latitudes y en las regiones elevadas.

Uno de los factores que más preocupa es lo que está sucediendo con el hielo perenne, aquella capa de hielo permanentemente congelada, que no se derrite durante los veranos. En los últimos años, esta capa ha empezado a derretirse con rapidez.

Además del hielo perenne, existe una capa de hielo marino que se forma cada año durante los inviernos, pero a diferencia del hielo perenne, esta capa es delgada, alcanzando por lo general no más de 2 metros de grosor.

Acceda al vídeo para visualizar los [cambios en la capa de hielo perenne del Ártico en las últimas décadas](#)

Como se puede observar, con el pasar del tiempo el hielo más antiguo está desapareciendo. Si bien existe una dinámica estacional de derretimiento de hielo marino durante los veranos, lo que preocupa es el derretimiento de las masas de hielo perenne, esto por varias razones, entre las cuales se puede citar:

- La formación del hielo perenne requiere de años, con lo cual, mientras se mantenga un incremento en la temperatura global, la capacidad de reponer el hielo que se derrite es menor.
- Las masas de hielo perenne son un sumidero importante de GEI, con lo cual su derretimiento implica liberación de gases a la atmósfera.
- El hielo perenne protege la capa delgada de hielo marino durante los veranos cálidos, reduciendo la velocidad a la cual este se derrite.

Pero las evidencias de pérdida de masas de hielo no se limitan al ártico. También hay evidencias de que esto está ocurriendo en la Región Antártica.

En el siguiente [enlace](#) usted podrá visualizar imágenes que muestran una de las plataformas de hielo flotante de la Antártica, y la pérdida de hielo que han sufrido entre el 2010 y 2019. Estas plataformas son importantes porque ayudan a enfriar la Tierra al tener un alto albedo, pero además generan cierta resistencia para contener el flujo de hielo continental al mar, es decir, del hielo que está asentado sobre la base rocosa del continente antártico y que al derretirse contribuye al alza global del nivel del mar. Otro problema que se ha detectado y asociado recientemente al cambio climático, es la formación de lagunas a partir del hielo derretido. El agua en estado líquido tiene un menor albedo, con lo cual, aporta a un mayor derretimiento del hielo a su alrededor que ha llevado ya al desprendimiento de algunas masas de hielo flotante de la Antártida.

Y al hablar acerca de la reducción de masas de hielo, no podemos dejar de lado a los glaciares. En las zonas de alta montaña los glaciares están retrocediendo de manera preocupante. La evidencia señala que esta tendencia está ocurriendo prácticamente en todo el planeta debido al cambio climático. Esto incluye los glaciares de las regiones tropicales, como los que tenemos a lo largo de los Andes.

De acuerdo al informe especial publicado por el IPCC sobre océanos y Criósfera (Hock et al., 2019), los cambios en el área, la longitud y la masa de los glaciares sugieren una clara recesión de los glaciares de montaña en las últimas décadas, esto a pesar de la variabilidad anual y las grandes diferencias regionales. Zemp et al. (2019) reportaron un aumento en la pérdida media de masa de glaciares a escala global de aproximadamente 30 % entre 1986–2005 y 2006–2015. Las mayores recessiones se han registrado en glaciares de los Andes del Sur, el Cáucaso/Medio Oriente, los Alpes europeos y los Pirineos (Hock et al., 2019).

2.3.5. Incremento del nivel del mar

Se sabe que el nivel del mar ha venido incrementando desde hace más de un siglo atrás, y el incremento es cada vez más rápido. Actualmente, el nivel del mar está subiendo alrededor de 3 mm por año desde 1990. Aunque pueda parecer muy poco, esta tendencia representa un incremento anual del doble de lo registrado durante todo el siglo XX. Además, este incremento no es igual a lo largo del planeta, en algunas regiones el incremento anual llega a ser casi el triple de lo registrado durante el siglo

pasado (IPCC, 2014b) y ya se han registrado algunas consecuencias, de las cuales hablaremos más adelante.

Uno de los principales factores involucrados en este incremento es el deshielo de los glaciares, del cual hablamos en el apartado anterior. La evidencia actual señala que el derretimiento de los glaciares de montaña contribuye en un 22 % al incremento observado en el nivel del mar, mientras que el derretimiento de hielo continental ha contribuido con un 25 % en el caso de Groenlandia, y un 11 % en el caso de la Antártica. El otro 42 % de incremento es explicado principalmente por la expansión térmica del océano (Cordero et al., 2019).

2.3.6. Acidificación de los océanos

Alrededor de la mitad de las emisiones de CO₂ antropogénico acumuladas entre 1750 y 2011 se han producido en los últimos 40 años (*nivel de confianza alto*).



Alrededor del 40 % de esas emisiones permanecen en la atmósfera (880 ± 35 GtCO₂) desde 1750. El resto fue removido de la atmósfera por sumideros, y almacenado en reservorios naturales del ciclo del carbono, como suelos forestales y el océano.

El océano ha absorbido alrededor del 30 % del CO₂ antropógeno emitido, provocando la acidificación del océano.

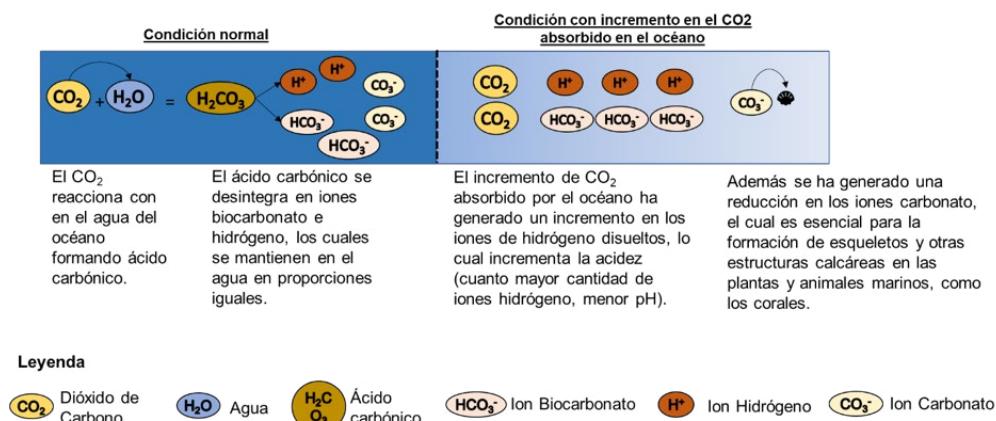
(IPCC, 2014b)

La capacidad del océano como sumidero de CO₂ ha aportado en gran medida a contrarrestar los efectos del cambio climático. Sin ello, la cantidad de CO₂ acumulada en la atmósfera sería mucho mayor a la actual. Este proceso por muchos años había generado una cierta confianza respecto a la capacidad del planeta de absorber aquel exceso de emisiones de GEI generado por las actividades humanas. Sin embargo, los avances científicos de las últimas décadas han permitido comprender mejor la química y el funcionamiento de los océanos.

En la Figura 18 puede revisar con detalle cuál está siendo la consecuencia de ese incremento de absorción de CO₂ en el océano.

Figura 18.

Proceso de acidificación del océano.



Fuente: La autora.

Se conoce que el proceso natural que sigue el CO₂ al disolverse en el agua del océano implica cambios de CO₂ a diferentes formas, entre ellas ácido carbónico, el cual a su vez se desintegra en varios compuestos que están presentes en el agua en proporciones iguales. Sin embargo, el incremento en el dióxido de carbono absorbido en el océano ha resultado en un proceso de “acidificación” debido al incremento en iones hidrógeno, los cuales definen la acidez. Pero, además se ha descubierto que este proceso ha reducido a la vez la cantidad de iones de carbonato, necesarios para la formación de esqueletos y otras estructuras calcáreas de los organismos marinos.



Actividades de aprendizaje recomendadas

Continuemos con el aprendizaje mediante su participación en la actividad que se describe a continuación:

- Acceda al enlace y revise los cambios que han ocurrido en los últimos años en la [Antártica](#)
- Acceda al enlace [Glaciers](#) y revise los cambios que están ocurriendo en los glaciares de alta montaña de diferentes regiones del mundo.

- Acceda al documento de Cordero et al. (2019) y revise el apartado ¿Cuál es la situación de los Glaciares de Montaña?

Nota: conteste las actividades en un cuaderno de apuntes o en un documento Word.

Como habrá revisado en estos recursos interactivos de climate.nasa.gov las plataformas de hielo de la Antártida se están desintegrando, lo cual recientemente ha sido asociado al cambio climático.

Al revisar la situación de los glaciares de montaña, es impresionante la cantidad de hielo glaciar que se ha perdido en pocos años. Seguramente revisó en el segundo recurso interactivo que se sugiere para esta actividad, que en los glaciares de los Andes están también sufriendo esas pérdidas importantes de masas de hielo.



Autoevaluación 2

1. Señale cuál es el objetivo de cada una de las siguientes instancias/acuerdos:

- | | |
|--|--|
| a. Protocolo de Kioto | <input type="checkbox"/> Limitar el alza de la temperatura global a menos de 2°C, |
| b. Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) | <input type="checkbox"/> Predecir el impacto de los gases de efecto invernadero teniendo en cuenta información científica. |
| c. Acuerdo de París | <input type="checkbox"/> Reducir las emisiones de gases invernadero en por debajo de los niveles de 1990. |

2. Señale la/las afirmación/afirmaciones correctas sobre los modelos climáticos.

- a. Utilizan como información base algunas medidas de variables climáticas, registradas a lo largo del tiempo para segmentos o unidades espaciales de tamaño conocido.
- b. Con base en observaciones de tendencias del pasado, permite predecir tendencias futuras del clima.
- c. Permiten analizar las causas del cambio climático.
- d. Todas las opciones son correctas.

3. ¿Qué es el forzamiento radiativo?

- a. Incrementos en la radiación de energía absorbida por la Tierra, lo cual genera un incremento de la temperatura del planeta.
- b. Incremento en la concentración de gases de efecto invernadero, que genera un incremento de la temperatura.
- c. Variación entre la radiación absorbida por la Tierra y la energía irradiada desde la Tierra al espacio, que puede generar incrementos o reducciones en la temperatura.

4. La principal fuente de emisión de CO₂ es:
 - a. Combustibles fósiles.
 - b. Agricultura.
 - c. Ganadería.
5. A nivel mundial, ¿cuál de los siguientes sectores económicos emite el mayor porcentaje de emisiones de gases de efecto invernadero?
 - a. Trasporte.
 - b. Energético.
 - c. Construcción.
 - d. Industria.
6. ¿Cuáles de los siguientes son considerados los principales gases de efecto invernadero?
 - a. Metano y óxido nitroso.
 - b. Ozono troposférico y vapor de agua.
 - c. Vapor de agua y dióxido de carbono.
7. ¿Cuál fue la máxima concentración de CO₂ en la atmósfera en los últimos 800.000 años previos a la revolución industrial?
 - a. 50 ppm.
 - b. 300 ppm.
 - c. 600 ppm.
8. Una de las principales causas del incremento del nivel del mar está relacionada con:
 - a. Derretimiento de los glaciares de montaña.
 - b. Derretimiento del hielo del Ártico.
 - c. Derretimiento del hielo de la Antártica.
9. ¿De qué manera el exceso de calor almacenado en los océanos contribuye al incremento del nivel del mar?
 - a. El hielo flotante se derrite más rápidamente.
 - b. El volumen de agua del océano se expande con el aumento de temperatura.

10. ¿De qué manera el CO₂ absorbido por el océano produce su acidificación?
- a. Porque en el agua el CO₂ se desintegra liberando hidrógeno, el cual reduce el pH del agua.
 - b. Porque reduce los iones de carbonato disuelto en el agua.
 - c. Porque incrementa la cantidad de calor retenido en el agua.

[Ir al solucionario](#)



Semana 8



Actividades finales del bimestre

Estimados/as estudiantes, en esta semana haremos una revisión general de los contenidos del primer bimestre; con ello estarán más preparados para rendir las pruebas presenciales. Seguramente durante el estudio de los contenidos de este bimestre, le habrá parecido impresionante la influencia de la concentración de gases de efecto invernadero sobre los diferentes procesos que definen el clima del planeta.

Es importante que dedique esta semana a revisar nuevamente los contenidos que hemos revisado a lo largo del bimestre, poniendo énfasis en los siguientes puntos:

Unidad 1. Clima

- 1.1. ¿Qué es el clima?
- 1.2. ¿Es el mismo clima y tiempo?
- 1.3. El sistema climático y sus componentes

Unidad 2. Evidencias del Cambio Climático

- 2.1 ¿Qué es el cambio climático?
- 2.2 Historia del cambio climático
- 2.3 Evidencias del cambio climático



Actividad de aprendizaje recomendada

Desarrolle nuevamente las autoevaluaciones de la Unidad 1 y 2, luego realice un mapa mental de sus conocimientos.



Segundo bimestre

Resultado de aprendizaje 2

- Describir las evidencias del cambio climático, sus causas e impacto sobre el clima, la biodiversidad y el ser humano.

Con este resultado de aprendizaje usted podrá analizar e interpretar la información científica y las conclusiones que se incluyen en las evaluaciones del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). Para este resultado nos guiaremos principalmente, en los resúmenes para responsables de políticas, aunque también haremos uso de material procedente del informe completo y de otras fuentes oficiales de información.

Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje



Semana 9

Bienvenida/o al segundo bimestre. En esta semana analizaremos los problemas actuales relacionados con el incremento de las temperaturas, así como con el incremento del nivel del mar.

Unidad 3. Impactos del cambio climático

Hasta ahora hemos visto que el cambio climático implica comportamientos anómalos en diferentes procesos de los diferentes componentes del sistema climático. Debemos ser conscientes de que cada uno de los cambios que se están dando tiene sus consecuencias sobre el funcionamiento del sistema climático y, por ende, sobre toda la vida sobre el planeta. El aumento de la temperatura promedio del planeta ya ha provocado profundas alteraciones en los sistemas humanos y naturales, entre las que se puede mencionar el deshielo de glaciares y, con ello, cambios en el ciclo hidrológico, aumento de las sequías, inundaciones y algunos otros tipos de condiciones meteorológicas extremas, aumento

del nivel del mar y pérdida de biodiversidad. Además, estos cambios están causando riesgos para la población mundial, siendo más graves en unas regiones que en otras (Allen et al., 2018).

3.1. Deshielo de los glaciares



Los glaciares siguen retrocediendo prácticamente por todo el planeta debido al cambio climático (*nivel de confianza alto*), lo que afecta a la escorrentía y los recursos hídricos aguas abajo (*nivel de confianza medio*) (IPCC, 2014a)

Figura 19.

Glaciar de montaña en Illampu, Bolivia.



Fuente: By Bjork - Own work, CC BY-SA 3.0, [Enlace web](#).

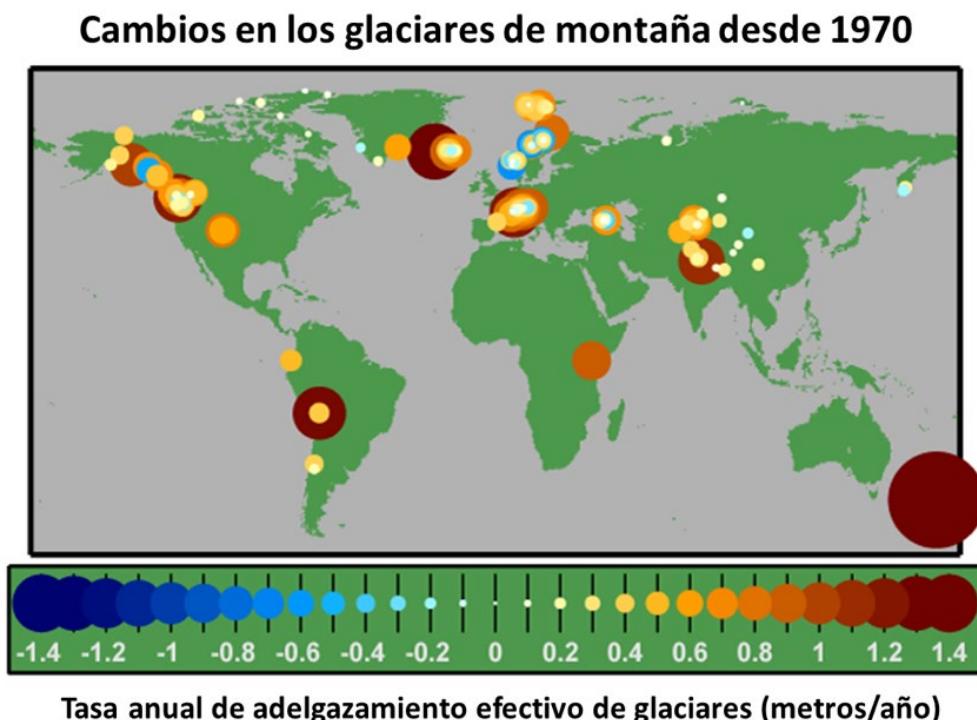
El deshielo de los glaciares de montaña, como el que se muestra en la Figura 19, tiene implicaciones importantes sobre los sistemas hidrológicos. La nieve y el hielo son factores clave controlando la circulación del agua desde las partes de alta montaña. Por ejemplo, en los Andes, los nevados regulan en gran medida la escorrentía de los arroyos, pero una parte del agua derretida ingresa a los suelos y es aprovechada por las plantas, o se filtra y recarga de agua a los acuíferos subterráneos, mientras que otra parte se evapora directamente.

Los incrementos de temperatura afectan de diferentes formas a los glaciares y a los flujos de agua que se forman en estos. Primero, un incremento de temperatura implica una menor caída de nieve sobre los glaciares, en su lugar, el agua ingresa en forma de lluvia (es decir, en estado líquido), por tanto, la capacidad de almacenarse es menor. Una consecuencia puede ser el **rápido crecimiento del cauce de los ríos en épocas de altas precipitaciones**. Por otro lado, se genera también una mayor evaporación de agua, con lo cual **se reduce la tasa de infiltración de agua hasta las capas subterráneas**. Las consecuencias en este caso son que en épocas de estiaje el cauce de los ríos se reduce drásticamente, además, se reduce la capacidad de recarga de los acuíferos subterráneos.

Muchas poblaciones humanas en todo el mundo dependen de los glaciares de montaña para su suministro de agua, tanto para el consumo doméstico, como para la agricultura, industria, turismo y cualquier actividad. En cualquiera de estos casos, el acceso al agua puede ser; (a) directamente de los ríos, como sucede en la mayor parte de la Sierra y Amazonía de Ecuador, o (b) tomando el agua de los acuíferos subterráneos, como sucede en muchas zonas bajas de la región Costa. De manera que cualquier cambio en la disponibilidad de agua en las zonas de alta montaña afecta al desarrollo de las actividades humanas.

Figura 20.

Cambios en los glaciares de montaña.



Fuente: CC BY-SA 3.0, [Enlace web](#).

En la Figura 20 se puede observar la tasa de cambio en el grosor de la masa de hielo de glaciares de diferentes partes del mundo. Se estima que desde 1970, los glaciares presentados en la figura (173 glaciares) han perdido en promedio 0.31 m/año de grosor, aunque en algunos casos se ha registrado un engrosamiento (puntos azules). El caso más extremo fue el del glaciar Ivory, en Nueva Zelanda, que entre los años 70 y 80 perdió anualmente 2.4 m de grosor, hasta casi desaparecer (Chinn, 1996).

3.2. Incremento del nivel del mar

El derretimiento de los glaciares de alta montaña ha sido señalado como una de las principales causas para el incremento del nivel del mar, junto con la expansión térmica del océano (*alto nivel de confianza*). Además, los últimos informes del IPCC concluyen con un *nivel de confianza alto* que el

incremento del nivel del mar desde 1970 hasta la actualidad se debe a las emisiones de origen antropogénico (Oppenheimer et al., 2019).

Este incremento del nivel del mar, trae consigo algunas consecuencias importantes para la población humana, una de las más preocupantes es el riesgo de la contaminación con agua salada de los acuíferos de agua dulce que se encuentran cercanos al mar, y de los cuales se abastecen muchas poblaciones.

Otros impactos a corto plazo están relacionados con inundaciones más frecuentes, lo que a su vez causa daños a la infraestructura y los cultivos, salinización de los suelos, hasta el desplazamiento permanente de las comunidades costeras. Además, no hay que olvidar que las zonas costeras sostienen varios ecosistemas importantes y frágiles, que también pueden verse impactados por estas vías.

En el transcurso del siglo XXI, se prevé que los niveles globales del mar aumenten entre 0.60 y 2.1 metros, y posiblemente más, dependiendo de las emisiones de GEI de las próximas décadas. Bajo un escenario de emisiones bajas (RCP2.6), se espera una reducción en el riesgo de impactos en las zonas costeras e islas debido a que el calentamiento será más lento que bajo los escenarios de emisiones altas.

3.3. Eventos extremos



Es muy probable que las olas de calor se produzcan con más frecuencia y que sean de más duración, y que los eventos extremos de precipitación sean más intensos y frecuentes en muchas regiones (IPCC, 2013).

Aproximadamente desde mediados del siglo XX se han observado cambios en numerosos fenómenos meteorológicos y climáticos extremos. Algunos de estos cambios se han relacionado con la influencia humana. Por ejemplo, la reducción del número de días y noches fríos, así como incremento en el número de días y noches cálidos. Así mismo, es *probable* que en gran parte de Europa, Asia y Australia haya aumentado la frecuencia de las olas de calor (IPCC, 2013). En este contexto, uno de los eventos más extremos del presente siglo fue en el verano del 2003 en Europa, cuando

murieron aproximadamente 35.000 personas por causas relacionadas con la intensa ola de calor del verano.

En 2018, se registraron varios récords de temperatura en muchos sitios del mundo, incluidos varios sitios de Centro y Sudamérica. También en 2019 se vivieron olas de calor muy intensas. Francia, por ejemplo, estableció un récord histórico de 46 °C.

En cuanto a precipitaciones extremas, es *probable* que existan más regiones en las que haya aumentado el número de sucesos de precipitaciones intensas que en las que haya disminuido. También es *probable* que la frecuencia o intensidad de las precipitaciones intensas haya aumentado en América del Norte y Europa. En otros continentes existe, como máximo, un *nivel de confianza medio* en los cambios ocurridos relativos a los sucesos de precipitaciones intensas (IPCC, 2013).

Por otro lado, existe un nivel de confianza bajo respecto a los incrementos en la intensidad y/o duración de las sequías a escala global, así como de la contribución humana a los cambios observados, esto debido en parte a las inconsistencias geográficas en las tendencias de las sequías y la dificultad de diferenciar las tendencias atribuibles al cambio climático actual de las variaciones decenales que ocurren de forma natural. Sin embargo, el quinto informe del IPCC reconoce que es *probable* que la frecuencia e intensidad de las sequías haya aumentado en el Mediterráneo y en África occidental, y es *probable* que haya disminuido en la zona central de América del Norte y el noroeste de Australia.

Una situación similar se presenta con la actividad de los ciclones tropicales, pues si bien es *prácticamente seguro* que la intensidad de la actividad de los ciclones tropicales haya aumentado en el Atlántico Norte desde 1970, a escala global la atribución de estos cambios a una causa concreta presenta un *nivel de confianza bajo*.

A pesar del bajo nivel de confianza en la atribución de los cambios extremos actuales a una causa concreta, lo que está claro es que los fenómenos climáticos extremos recientes, como olas de calor, inundaciones, incendios forestales, sequías y ciclones, ponen de manifiesto que muchos ecosistemas y sistemas humanos están expuestos y son vulnerables a la variabilidad climática actual (IPCC, 2014b).

Si bien no existe información suficiente respecto a los efectos del cambio climático en la salud humana, se ha producido un aumento de la mortalidad asociada al calor y una disminución de la mortalidad asociada al frío en algunas regiones como resultado del calentamiento (*nivel de confianza medio*). Además, los cambios locales en la temperatura y la precipitación han alterado la distribución de algunas enfermedades transmitidas por el agua y vectores de enfermedades (nivel de confianza medio) (IPCC, 2014a).

A manera de síntesis, en la actualidad ya se han experimentado algunos impactos del cambio climático. Aunque hasta ahora no se ha podido atribuir a una causa concreta varios de los cambios observados en diferentes fenómenos climáticos, es innegable que los estamos experimentando. Lo más inquietante es cuáles serán los impactos en el futuro. Para esta pregunta no existe una respuesta concreta, pues dependerá de la cantidad de gases de efecto invernadero que sigamos emitiendo a la atmósfera en los siguientes años. Recordemos que para hacer este análisis el IPCC considera al menos cuatro posibles escenarios de emisiones (ver el apartado 2.3.1. Modelos climáticos para comprender el clima pasado, actual y futuro).



Actividad de aprendizaje recomendada

Continuemos con el aprendizaje mediante su participación en la actividad que se describe a continuación:

- Realice un esquema que sintetice las tendencias en el clima para América Latina y relacione a cada una los impactos actuales y riesgos futuros del cambio climático.

Para esta actividad se sugiere revisar el informe de [CDKN](#) (2014):

Nota: conteste las actividades en un cuaderno de apuntes o en un documento Word.

Como seguramente habrá analizado durante el desarrollo de esta actividad, el cambio climático está implicando cambios en los patrones de precipitación a lo largo de América Latina, lo cual tiene implicaciones importantes para el acceso al agua de calidad. Pero los cambios no son homogéneos en América Latina, mientras que en Centroamérica se registra

reducción de las precipitaciones e incrementos de temperaturas extremas, hacia el Sur de Sudamérica se reportan episodios de temperaturas más bajas de lo normal, y también reducción de precipitaciones.

Además de estos cambios, como ya vimos en las semanas anteriores, es preocupante la situación del retroceso de los glaciares andinos.



Semana 10

Estimado/a estudiante, en esta semana analizaremos los impactos del cambio climático sobre la seguridad alimentaria. Recuerde destinar una hora diaria para revisar los contenidos de la presente guía, así como para realizar las lecturas y actividades sugeridas.

3.4. Impactos para la seguridad alimentaria

Otra de las consecuencias del cambio climático que se ha reportado desde el IPCC está relacionada con la producción y distribución de alimentos, lo cual en gran medida es una consecuencia de los fenómenos extremos conexos al clima que acabamos de revisar en el apartado anterior.

De acuerdo a la definición de la FAO (2001), la seguridad alimentaria es una condición que existe cuando todas las personas tienen, en todo momento, acceso físico y económico a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos que satisfagan sus necesidades dietéticas y preferencias alimentarias para una vida activa y sana. Esta definición lleva implícita la equidad intergeneracional y, por lo tanto, de “sostenibilidad” en la producción de alimentos.

Este concepto deja claro que la seguridad alimentaria no depende únicamente de la producción de alimentos, sino también de la capacidad de acceso que tenga la población, así como de la calidad de los alimentos. La seguridad alimentaria está compuesta por cuatro pilares (Figura 21):

Figura 21.

Cuatro pilares de la seguridad alimentaria.



Nota: Elaborado por la autora.

Como podrán imaginarse, el sistema alimentario es muy complejo, ya que depende de muchos factores, tanto sociales, como económicos y ambientales, a los cuales se suma el cambio climático. Además, el sistema alimentario actual es, por un lado, afectado por el cambio climático, pero también es un impulsor de este.

En el reporte del IPCC sobre seguridad alimentaria (Mbow et al., 2019) se reporta que el cambio climático observado ya está afectando la seguridad alimentaria a través del aumento de las temperaturas, cambios en los patrones de precipitación y una mayor frecuencia de algunos eventos extremos (*nivel de confianza alto*). Y los impactos se han evidenciado en los cuatro pilares de la seguridad alimentaria que se muestran en la Figura 21. A continuación se listan algunos ejemplos de los impactos del cambio climático observados:

Disponibilidad de alimentos

- Reducción de la productividad de cultivos y fertilidad de los suelos.
- Incremento en la degradación de las tierras cultivables, principalmente en las regiones áridas.
- Reducción en la productividad de sistemas ganaderos.
- Reducción de la productividad de cultivos debido a la falta de polinizadores o al incremento de enfermedades y plagas.
- Reducción en la calidad de alimentos debido al deterioro y pérdida durante el almacenamiento.
- Interrupciones en las redes de transporte y almacenamiento de alimentos debido al cambio climático, incluidos los eventos extremos.

Acceso a alimentos

- Reducciones en el rendimiento de los cultivos, acompañado de un incremento de los costos de producción.

Estabilidad

- Mayor inestabilidad para proveer alimentos debido al incremento en la frecuencia y severidad de eventos extremos.
- Mayor inestabilidad de ingresos para los agricultores.
- Malas cosechas generalizadas que contribuyen a la migración y conflictos sociales.

Consumo adecuado

- Aumento de la prevalencia de microorganismos y toxinas en los alimentos, que conllevan a una mayor exposición a enfermedades.

Si bien la producción agrícola mundial tiene que aumentar para satisfacer las demandas de la creciente población, se prevé que varios factores climáticos causen una disminución de la productividad agrícola mundial en las próximas décadas, lo que aumentará la pobreza y conducirá a la inseguridad alimentaria.

Pero ¿se están presentando efectos sobre la seguridad alimentaria en nuestra región? El reciente informe del IPCC sobre seguridad alimentaria desarrollado por Mbow et al. (2019) señala que en la región Andina se han experimentado cambios en el clima que han afectado al sector agrícola a través de reducción en el rendimiento de los cultivos, incertidumbre para definir el momento adecuado para las siembras, e incluso generando cambios en las variedades que se cultivan.

Sin embargo, los efectos del cambio climático sobre la producción de alimentos no siempre son negativos. En algunas zonas de las regiones templadas (por ejemplo, algunas regiones de Estados Unidos) la duración de temporadas de crecimiento se han alargado, permitiendo un mayor tiempo para la producción y cosecha (USEPA, 2016). Pero la tendencia global señala que el calentamiento está teniendo efectos negativos en los rendimientos de los principales cultivos.



Sobre la base de muchos estudios que abarcan un amplio espectro de regiones y cultivos, los impactos negativos del cambio climático en el rendimiento de los cultivos han sido más comunes que los impactos positivos (*nivel de confianza alto*) (IPCC, 2014a).

Al hablar de los efectos del cambio climático sobre la distribución de alimentos no podemos olvidarnos de los efectos sobre la productividad pesquera. Las evaluaciones realizadas en el quinto informe del IPCC señalan que el aumento de temperaturas reducirá las capturas de las principales especies de peces del mundo en un 40 %. Estos cambios proyectados son un resultado del análisis de la redistribución global de las especies marinas y la reducción de la biodiversidad marina en las regiones sensibles al incremento de las temperaturas, pero sin tomar en cuenta los impactos de la sobreexplotación y de la acidificación del océano. De manera que el impacto real sobre el sector pesquero puede ser mucho más fuerte de lo que se esperaría por incremento de temperatura global.

3.5. Impactos en la migración

Los patrones de los asentamientos humanos y de movimientos migratorios han estado desde siempre definidos por los cambios en los patrones climáticos y la disponibilidad y el acceso a los recursos naturales. En la actualidad, la preocupación acerca de cómo los diferentes impulsores del cambio global, entre ellos el cambio climático, podrían afectar los patrones de migración humana han ido en aumento. Es muy evidente cómo los impactos del cambio climático, como la escasez de agua y las sequías están relacionados con la migración. Si bien estos problemas son frecuentemente el foco de las noticias mundiales, es importante que revisemos lo que dicen los científicos al respecto.

Las proyecciones del IPCC indican que el cambio climático hará que se reduzcan los recursos de aguas superficiales y aguas subterráneas renovables en la mayoría de las regiones áridas y semiáridas subtropicales (*evidencia sólida, nivel de acuerdo alto*) (IPCC, 2014b).

Esto se debe a que, a medida que aumentan las temperaturas, aumenta la evaporación, limitando así la cantidad de agua disponible tanto en lagos y ríos como en acuíferos subterráneos. Pero además, el incremento de

temperaturas también aumenta la demanda de agua para la producción agrícola (IPCC, 2014b).



Las proyecciones indican que el cambio climático causará un incremento en el número de personas desplazadas (*evidencia media, nivel de acuerdo alto*). Las poblaciones que carecen de los recursos para realizar una migración planificada se ven más expuestas a episodios meteorológicos extremos, principalmente en los países en desarrollo y países de bajos ingresos. Además, el cambio climático puede aumentar indirectamente los riesgos de conflictos violentos al agravar la pobreza y las crisis económicas (*nivel de confianza medio*) (IPCC, 2014b).

Los resultados de diversas investigaciones en este tema, revelan un fuerte consenso acerca de que el aumento del estrés hídrico puede hacer que las personas decidan migrar. Por otro lado, se señala que la mayoría de los desplazamientos por desastres se deben a eventos de tormentas. Documentos recientes demuestran que una combinación de temperaturas más altas y precipitaciones extremas se correlacionan con aumentos en las tasas de migración fuera de las áreas donde se pueden observar los eventos extremos. Y estos procesos migratorios implican diferentes escalas espaciales y diferentes objetivos, ya sea la búsqueda de tierras más productivas para la agricultura o ganadería, o la búsqueda de nuevas actividades en áreas urbanas.

Con el fin de llamar la atención de la comunidad internacional sobre los desastres ambientales como factores generadores de desplazamiento se ha definido el término “desplazado ambiental” o “migrante ambiental”.

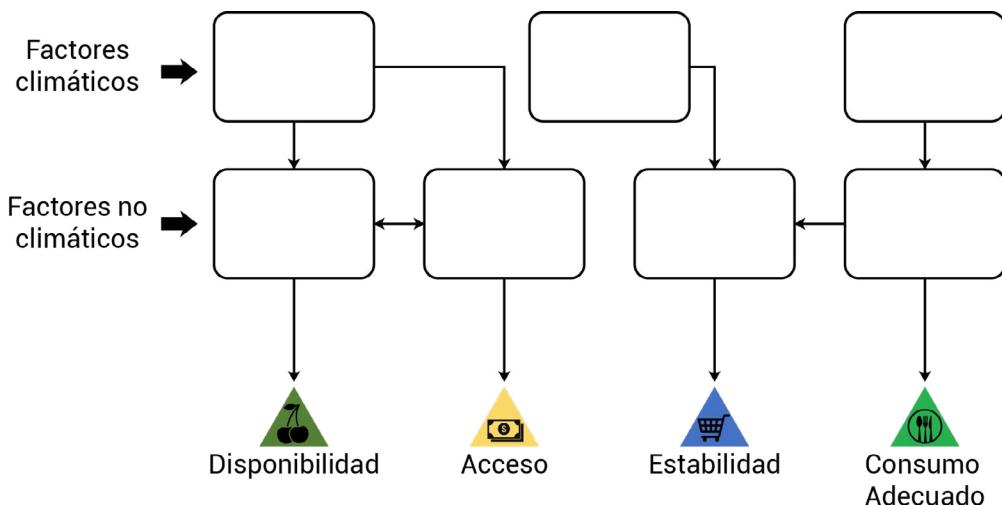
Respecto a la relación entre el cambio climático y los procesos de migración aún existen muchos vacíos de información, además, es complejo atribuir de forma específica las razones por las que la gente migra. Sin embargo, para tener una idea los datos del informe de “[The Global Report on Internal Displacement](#)” señalan que en el año 2016 hubo 24,2 millones de nuevos desplazamientos por desastres, mucho más que por conflictos armados.



Actividades de aprendizaje recomendadas

Continuemos con el aprendizaje mediante su participación en la actividad que se describe a continuación:

- Realice un diagrama causal que sintetice los impactos actuales y futuros en términos de seguridad alimentaria y relacionelos con los eventos de cambio climático que los generan. A continuación, se incluye un esquema de referencia, incluyendo factores climáticos, factores no climáticos y flechas que indican relaciones de causalidad. Puede utilizar este esquema como referencia y modificarlo para construir uno con su análisis propio, según los factores y relaciones causales que considere.



- Analice también qué conclusiones tienen un nivel de acuerdo alto y cuáles un nivel de acuerdo medio o bajo.

Nota: conteste las actividades en un cuaderno de apuntes o en un documento Word.

Con el desarrollo de esta actividad usted habrá comprendido la compleja relación entre factores climáticos (ej. incremento de temperatura o cambios en los patrones de la precipitación) y factores no climáticos (ej. degradación del suelo, políticas y modelos de producción agropecuaria,

acceso a tecnología, etc.) que interaccionan de diferentes formas y afectan a los diferentes pilares de la seguridad alimentaria.



Semana 11

Estimado/a estudiante, esta semana vamos a dedicarla a analizar los impactos del cambio climático en la biodiversidad. Recuerde destinar una hora diaria para revisar los contenidos de la presente guía, así como para realizar las lecturas y actividades sugeridas.

3.6. Impactos del cambio climático sobre las especies y los ecosistemas



Una gran parte de las especies afrontan un riesgo creciente de extinción debido al cambio climático durante el siglo XXI y posteriormente, especialmente porque el cambio climático interactúa con otros factores de estrés (*nivel de confianza alto*).

Muchas especies terrestres, dulceacuícolas y marinas han modificado sus áreas de distribución geográfica, actividades estacionales, pautas migratorias, abundancias e interacciones con otras especies en respuesta al cambio climático en curso (*nivel de confianza alto*) (IPCC, 2014b).

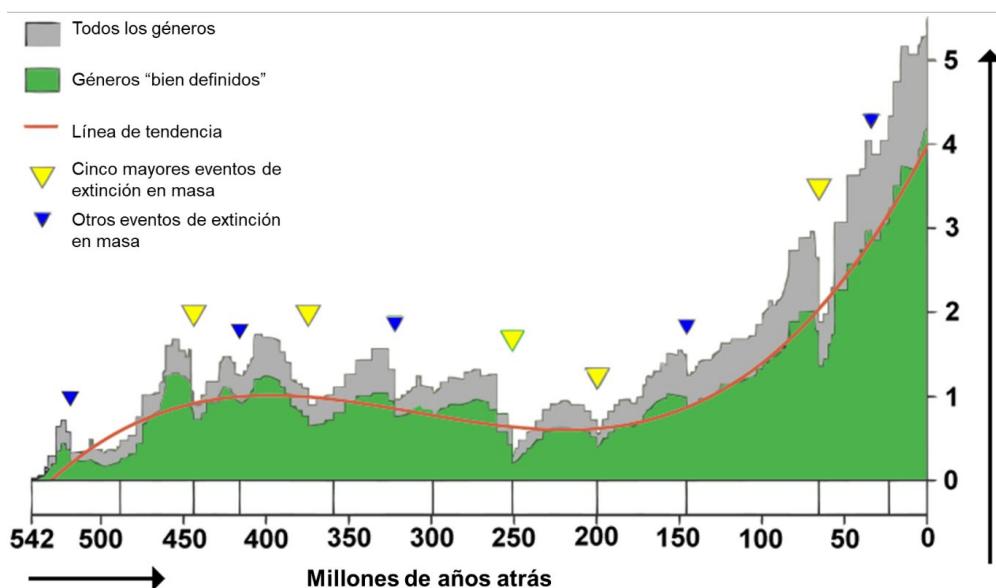
Como seguramente ya habrán revisado en asignaturas anteriores, a lo largo de la historia geológica de la Tierra las especies han logrado adaptarse a muchos cambios. Por ejemplo, las diferentes eras geológicas que han sucedido en diferentes períodos han estado marcadas por cambios en las condiciones climáticas. También el clima se ha ido modificando, de forma más lenta, como resultado de la fragmentación y deriva de los continentes, lo que ha alterado los patrones de circulación de las corrientes marinas, entre otros factores que regulan el clima. A todos estos cambios que han ocurrido de forma natural los organismos se han ido adaptando, ya sea porque han logrado aclimatarse y tolerar las nuevas condiciones, o porque tuvieron la capacidad de desplazarse a nuevos sitios. Pero también es cierto que, a lo largo del tiempo muchas especies se han extinguido y han dejado sus nichos para ser ocupados por otras especies. Este reemplazo de especies es posible ya que la tasa de extinción “normal” está entre 0,1 y

1 especie por cada 10.000 especies cada 100 años, por tanto, es menor o igual a la tasa de especiación (formación de nuevas especies).

Pero también es cierto que a lo largo de la historia geológica del planeta han sucedido extinciones masivas, es decir períodos en los que la tasa de extinción de especies ha sido mayor que la tasa de especiación. Usted puede revisar estos eventos en la Figura 22. Los eventos de extinción han sido definidos como eventos de extinción masiva (o en masa) cuando aproximadamente el 75 % de las especies del mundo han desaparecido en un período de tiempo geológico “corto”, menos de 2,8 millones de años. Se conoce que, durante los últimos 600 millones de años han sucedido 5 eventos de extinciones masivas que fueron causadas por cambios extremos de temperatura, aumento o disminución del nivel del mar, o eventos catastróficos únicos, como la erupción de un gran volcán o el impacto de un asteroide con la Tierra. Dichos eventos se muestran en la Figura 23 con un triángulo invertido de color amarillo.

Figura 22.

Eventos de extinción en masa a lo largo de la historia geológica de la Tierra.



Adaptado de: Philcha (talk) 13:39, 10 January 2009 (UTC) - Image: Phanerozoic Biodiversity.svg by Albert Mestre, CC BY-SA 3.0, [Enlace web](#).

Entonces ¿Por qué el cambio climático actual genera esta preocupación sobre las respuestas de las especies y los ecosistemas? Finalmente,

la diversidad de especies sobre la Tierra tiene una historia de grandes extinciones.

Existe un consenso científico respecto a que estamos atravesando un sexto evento de extinción en masa. Este consenso se sustenta en tres aspectos críticos (Ceballos and Ehrlich, 2018):

1. La tasa de extinción de especies es ahora hasta 100 veces superior a la “tasa normal a lo largo del tiempo geológico”.
2. Al igual que las extinciones masivas pasadas, el episodio actual es el resultado de eventos inusuales que están cambiando el medioambiente tan rápidamente que muchos organismos no tienen tiempo de evolucionar en respuesta a estos.
3. Los eventos de extinción están sucediendo a lo largo de todo el planeta.



La mayoría de especies vegetales no pueden desplazar sus rangos de distribución geográfica de forma natural con la suficiente rapidez para acompañarse a las tasas del cambio climático actuales. La mayoría de los pequeños mamíferos y moluscos dulceacuícolas no serán capaces de acompañar su tasa de desplazamiento a las tasas proyectadas de cambio climático bajo los escenarios RCP4.5 y superiores en paisajes llanos o semi llanos en el siglo actual (*nivel de confianza alto*) (IPCC, 2014b).

Los organismos marinos se verán confrontados progresivamente a niveles decrecientes de oxígeno y altas tasas y magnitudes de acidificación oceánica (*nivel de confianza alto*), con los riesgos consiguientes agravados por el aumento de las temperaturas oceánicas extremas (*nivel de confianza medio*). Los ecosistemas de arrecifes de coral y los ecosistemas polares son muy vulnerables (IPCC, 2014b).

Entonces, la clave para responder la pregunta de por qué la preocupación de un sexto evento de extinción masiva, está en “el tiempo”, empezando por *el período de tiempo en el que tienen lugar los cambios ambientales*. De acuerdo a los reportes del IPCC el incremento de la media de la temperatura global será durante este siglo más rápido que lo experimentado por el

planeta al menos en los últimos 10 000 años. En segundo lugar, está el *período de tiempo necesario para que la diversidad se “recupere”*. Si se toma como referencia a las cinco extinciones masivas pasadas para proyectar la velocidad a la que los procesos de diversificación evolutiva habituales podrían recuperar un nivel razonable de biodiversidad y servicios ecosistémicos, es probable que la espera sea de millones, o incluso decenas de millones de años (Ceballos and Ehrlich, 2018).

Pero además, otro factor que genera alarma por las tasas de extinción actuales es que, a diferencia de los eventos pasados, actualmente existe una población humana de casi 8 mil millones de personas totalmente dependiente de los servicios ecosistémicos que brinda la biodiversidad, como la polinización, el control de plagas y la mejora del clima (Ceballos and Ehrlich, 2018).

3.6.1. ¿Cómo están respondiendo las especies al cambio climático?

Frente al cambio climático actual, no todas las especies tienen el mismo riesgo de extinguirse, algunos grupos son más vulnerables que otros. Quizá los primeros cambios que pueden observarse están relacionados con su abundancia, pues los cambios en el ambiente pueden afectar de forma directa, por ejemplo, al limitar su capacidad de crecer o la capacidad reproductiva, o pueden afectar indirectamente al limitar la disponibilidad de sus alimentos.

Frente a los cambios ambientales, las especies pueden responder de diferentes formas: pueden adaptarse a las nuevas condiciones, lo cual dependerá en gran medida de su tolerancia fisiológica a incrementos de temperaturas o al estrés hídrico. Otra manera de responder es migrando a nuevos sitios, lo cual dependerá de su capacidad de dispersión y de la disponibilidad de sitios con condiciones adecuadas para la especie. La tercera opción es extinguirse, cuando las condiciones son extremas como para tolerarlas y cuando la posibilidad de desplazarse a nuevos sitios es limitada.

Pero ¿existen casos de extinción de especies que se puedan atribuir al cambio climático?

En realidad, las evidencias actuales señalan que un número muy bajo de las extinciones recientes son atribuibles al cambio climático, posiblemente 20 de 864 casos. Sin embargo, la dificultad de atribuir una causa para

las extinciones está presente debido a que por lo general se trata de un conjunto de factores actuando de forma sinérgica.

En un estudio reciente analizaron casos de más de 500 especies de plantas y animales que han presentado reducciones poblacionales, incluidas especies que ya han presentado extinciones locales (Román-Palacios and Wiens, 2020). De acuerdo a los resultados de este estudio las extinciones locales estarían relacionadas principalmente con cambios grandes y rápidos en las temperaturas anuales máximas. Esto quiere decir, que los años con temperaturas altas extremas explican la extinción local mejor que el incremento en las temperaturas promedio anuales.

Para revisar algunos ejemplos de especies cuya extinción local o reducción en el tamaño poblacional se ha relacionado con el cambio climático actual le invito a ver el recurso a continuación.

[**Ejemplos de especies con extinción local o poblaciones reducidas Causas próximas**](#)

Como habrá revisado en el recurso anterior, los eventos de extinción local asociados a los cambios actuales en el clima están sucediendo en diferentes regiones del planeta, y están relacionados, además del clima, con otros factores de cambio global, como contaminación, deforestación y pérdida de hábitat.

Por otro lado, muchos organismos se están adaptando al cambio climático. Una de las formas de adaptarse que se ha registrado con más frecuencia en diferentes grupos, es mediante ajustes en la fenología. En las plantas estos ajustes fenológicos pueden implicar cambios en el inicio, duración o finalización de las épocas de floración y fructificación.

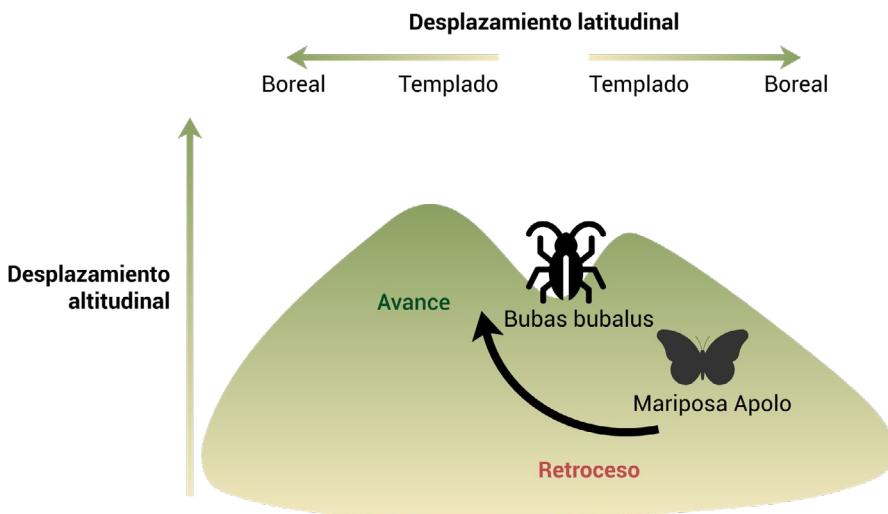
Los animales por su lado, pueden modificar los períodos de actividad, como en el caso de la mariposa apolo, en el mediterráneo, que ha mostrado un cambio en el inicio de su período de vuelo. Estos cambios fenológicos, sin embargo, pueden derivar en desajustes entre especies interactuantes, por ejemplo, entre el período de floración y llegada de polinizadores, o entre período de producción de frutos y la llegada de dispersores de semillas. De manera que estos desajustes ponen en riesgo el mantenimiento de poblaciones de diferentes especies, pero también a las comunidades naturales y, así, al funcionamiento de ecosistemas enteros.

Otra respuesta frente a los cambios en el clima es el desplazamiento o migración hacia zonas que aún mantienen condiciones apropiadas. Pero ¿en dónde se encuentran esas zonas “adecuadas”? Existen muchos estudios que han evidenciado que las especies se están moviendo hacia las partes altas de las montañas, buscando temperaturas más frescas y ambientes más húmedos. Igualmente, las especies de las zonas templadas, se están moviendo hacia mayores latitudes, desplazándose también a sitios más frescos (Figura 23).

Algunos ejemplos de desplazamientos altitudinales se desprenden de estudios realizados en zonas de alta montaña en España (Zamora et al., 2015), en donde se ha comprobado una migración altitudinal escarabajos coprófagos, los cuales, en un período de 25 años de seguimiento, han ascendido en promedio 400 m de altitud, ampliando así su límite de distribución superior. El caso más representativo es el *Bubas bubalus*, que ha ascendido 1.200 m en 25 años (aproximadamente 50 m/año). En estas mismas regiones se ha registrado también la migración a mayores altitudes de la mariposa apolo de Sierra Nevada. Pero la situación es más grave para las especies que ya habitan y están restringidas a las cimas de las montañas, porque un incremento de temperatura puede implicar que el área ya no es apta para ser ocupada, al tiempo que las posibilidades de migrar son limitadas.

Figura 23.

Patrones de migración de las especies frente al incremento de temperaturas.



Nota: Elaborado por la autora.

3.6.2. ¿Cómo se están afectando los ecosistemas?

En el apartado anterior analizamos de qué forma las especies se están viendo afectadas por el cambio climático, sin embargo, hay que tener presente que la pérdida de una especie, e incluso una reducción de su abundancia, cambio en su comportamiento, o cambio en su distribución, afectan de diferentes formas al equilibrio de las comunidades naturales y, finalmente, al funcionamiento de los ecosistemas. A estos efectos se les conoce como “efectos en cascada”. Por ejemplo, la desaparición de un depredador conduce al incremento en la población de las especies presas. Si las especies presa son herbívoros, un incremento en su tamaño poblacional puede conducir a la sobreexplotación de la vegetación y, con ello producir alteraciones en el suelo.

Pero los ecosistemas pueden verse afectados por otras vías. En muchos casos el cambio climático interactúa con otros factores antropogénicos estresantes, como la deforestación, fragmentación, sobreexplotación de recursos, entre otros. Lo más grave, es que estas interacciones pueden tener un efecto sinérgico, es decir, generar un impacto mucho mayor que la suma de sus efectos individuales.

El problema es que cuando un ecosistema sufre alteraciones este puede perder su capacidad de recuperarse (es decir, su resiliencia). Mientras

mayor es la degradación, más difícil es que el ecosistema pueda recuperarse, por tanto, es más vulnerable a eventos extremos. Un claro ejemplo lo tenemos en los arrecifes de coral; el incremento de temperatura del agua genera un estrés en los corales y, bajo esta condición de estrés los microorganismos que habitan en sus tejidos terminan expulsados. Esto se conoce como “blanqueamiento de corales” y afecta gravemente la salud de los corales. Este problema puede ser más frecuente a medida que las temperaturas y la acidez del océano incrementan, y los arrecifes de coral sometidos a estrés crónico tienen menos probabilidades de recuperarse (Leong et al., 2014).



Actividad de aprendizaje recomendada

Continuemos con el aprendizaje mediante su participación en la siguiente actividad:

- Revise el apartado 1.3.2 Impactos observados atribuidos al cambio climático (págs. 52 -54) del informe de síntesis del quinto informe del IPCC (IPCC, 2014b) y realice una breve síntesis de los principales impactos observados en las especies y ecosistemas.

A partir de esta revisión usted habrá notado que la información científica permite concluir con niveles de confianza alto y muy alto que diferentes especies, tanto de ambientes marinos, dulceacuícolas y terrestres están cambiando sus áreas de distribución en respuesta al cambio climático. Posiblemente con esta revisión usted notó que los cambios en ecosistemas terrestres y marinos de América Latina presentan un nivel de confianza bajo, además, la contribución del cambio climático a estos cambios es pequeña. Sin embargo, también es importante que analice en la Figura 1.11 de dicho documento, que la cantidad de estudios sobre estos temas es muy limitada aún para nuestra región. Por tanto, mejorar el conocimiento del funcionamiento de los ecosistemas y su relación con factores climáticos es urgente para garantizar una gestión adecuada de nuestros recursos naturales.



Autoevaluación 3

1. () Independientemente de si las entradas de agua son en forma de lluvia o en forma de nieve, los glaciares tienen la capacidad de mantener la masa de hielo estable en el tiempo.
2. () La principal causa del incremento del nivel del mar actual se debe al derretimiento del Ártico.
3. El incremento del nivel del mar genera un riesgo de:
 - a. Reducción del caudal de arroyos y ríos.
 - b. Contaminación de acuíferos subterráneos.
 - c. Reducción del albedo del planeta.
 - d. Todas las opciones son correctas.
4. () Señale verdadero o falso para la siguiente afirmación: En los informes publicados hasta ahora por el IPCC se concluye que, incluso con el escenario de emisiones más optimista (RCP2.6), el incremento del nivel del mar superará los 2 metros para finales de siglo.
5. Señale cuál de las siguientes tendencias de eventos extremos se ha registrado en los últimos tiempos en diferentes partes del planeta, y se ha relacionado con el cambio climático:
 - a. Reducción en la duración de las sequías.
 - b. Reducción del número de días y noches frías.
 - c. Incremento en el número de días y noches cálidas.
 - d. Nuevos récords de temperaturas máximas.
 - e. Todas las opciones son correctas.

6. Señale las afirmaciones correctas acerca de las conclusiones de los reportes del IPCC sobre la seguridad alimentaria:
- a. El cambio climático aún no afecta a la seguridad alimentaria, pero se prevé bajo todos los escenarios que se verá afectada en las próximas décadas.
 - b. La reducción en la productividad de los sistemas ganaderos afecta el acceso a alimentos.
 - c. En algunas regiones, el cambio climático ha favorecido la producción de alimentos debido a que la duración de la temporada de crecimiento de las plantas se ha alargado.
 - d. En cuanto a la productividad de los cultivos, los impactos del cambio climático han sido más positivos que negativos.
 - e. El sector pesquero está siendo afectado negativamente por el incremento de temperatura, más los problemas de sobreexplotación y acidificación de océanos.

7. Señale las afirmaciones correctas acerca de las conclusiones de los reportes del IPCC sobre los procesos de migración humana:
- Las proyecciones del IPCC indican que el cambio climático hará que se reduzcan los recursos de aguas superficiales y aguas subterráneas renovables en las regiones de mayor latitud.
 - El incremento en las temperaturas está afectando a la capacidad de recarga de los acuíferos subterráneos de las regiones áridas, debido a que genera un incremento en la tasa de evaporación de agua desde los suelos.
 - Las proyecciones indican que el cambio climático causará un incremento en el número de personas desplazadas.
 - Aún existe un consenso bajo respecto a que el aumento del estrés hídrico puede hacer que las personas decidan migrar.
 - El término “desplazado ambiental” hace referencia a grupos de personas que migran debido a desastres naturales.
 - El número de personas que migran debido a desastres naturales es mínimo comparado con el número de personas que migran huyendo de conflictos armados.
 - El número de personas que migran por desastres naturales es más del doble que el número de personas que migran por conflictos armados.

En cuanto a los efectos del cambio climático sobre la biodiversidad:

- () De acuerdo a las conclusiones del IPCC, se espera que muchas especies terrestres, dulceacuícolas y marinas modifiquen sus áreas de distribución para finales del siglo XXI.
- () Las conclusiones del IPCC señalan que la mayoría de casos de extinción de especies recientes se explican por el cambio climático.

10. Las especies están respondiendo al cambio climático de diferentes formas, entre las cuales se puede mencionar:
- a. Modificación de sus ciclos fenológicos, por ejemplo, retrasan o adelantan el inicio de la floración.
 - b. Migrando hacia nuevos sitios.
 - c. Modificando sus hábitos de alimentación.
 - d. En el caso de especies de alta montaña, estas están ampliando su área de distribución hacia zonas de menor altitud.
 - e. En el caso de especies de zonas templadas, están ampliando su área de distribución hacia latitudes tropicales.

[Ir al solucionario](#)

Resultado de aprendizaje 3

- Comprender las principales medidas de mitigación y adaptación frente al cambio climático y su aporte desde su ámbito profesional.

Con este resultado de aprendizaje usted podrá realizar un análisis crítico, basado en el conocimiento científico, acerca de los factores relacionados con la vulnerabilidad al cambio climático, así como las medidas de adaptación y mitigación necesarias para hacer frente a este problema mundial. Usted comprobará que no todas las regiones del planeta son igual de vulnerables al cambio climático y que, actualmente, es necesario incrementar tanto los esfuerzos para lograr la reducción de GEI a la atmósfera, cómo los esfuerzos para adaptarnos a los cambios actuales y proyectados para las próximas décadas.

Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje



Semana 12

Esta semana nos centraremos en analizar qué es la vulnerabilidad, es decir, qué regiones, ecosistemas y grupos humanos son más vulnerables al cambio climático y por qué.

Unidad 4. Vulnerabilidad, mitigación y adaptación al cambio climático

Como hemos visto en las unidades anteriores, se espera que el cambio climático impacte los diferentes sistemas, tanto naturales como humanos, principalmente como resultado de cambios anómalos en la temperatura y precipitación. De manera que la intensidad y duración de un evento extremo relacionado con alguna de estas variables definirá el impacto del cambio climático en un sistema y lugar puntual. Frente a estos impactos, es necesario generar ajustes que permitan que los sistemas, tanto naturales como humanos, puedan adaptarse para reducir los riesgos. Pero también es necesario encontrar y aplicar medidas para reducir la cantidad de GEI de origen antropogénico que se emiten anualmente a la atmósfera, lo cual

no es una tarea sencilla, pero al final de la unidad revisaremos algunas iniciativas orientadas a lograr este objetivo.

4.1. Vulnerabilidad frente al cambio climático

En el contexto del cambio climático, el IPCC aborda la vulnerabilidad como el grado al cual un sistema es **susceptible** de ser afectado negativamente, e **incapaz de responder** o hacer frente a los efectos adversos del cambio climático, incluyendo la variabilidad climática y los extremos.

La vulnerabilidad es una función del carácter, la magnitud y la tasa de cambio y variación del clima al que está expuesto un sistema, su sensibilidad y su capacidad de adaptación. Para profundizar en los componentes que definen la vulnerabilidad frente al cambio climático, le invito a revisar el recurso a continuación (Fellmann, 2012):

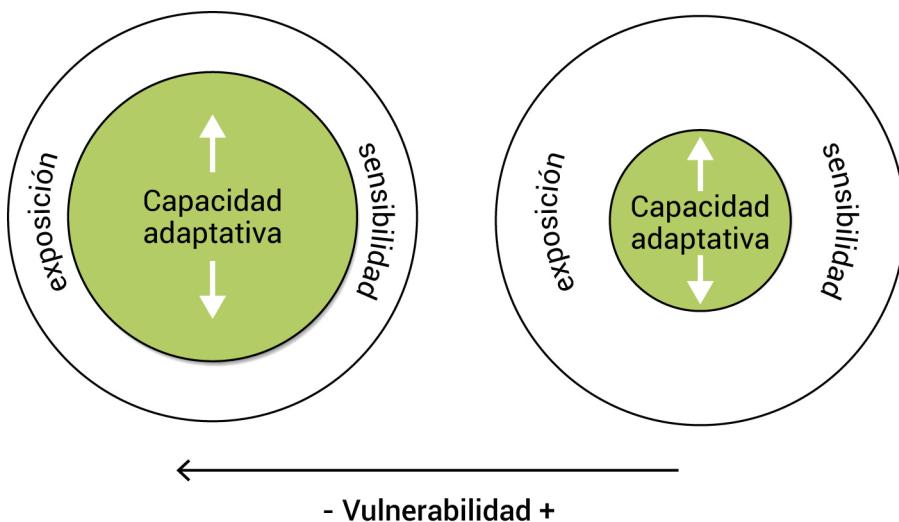
[**Componentes de la vulnerabilidad al cambio climático**](#)

Como podemos ver, la exposición y la sensibilidad son dos componentes importantes definiendo el impacto potencial que el cambio climático tiene en un determinado sector. Pero, mientras que la exposición está definida directamente por cambios en las condiciones climáticas, la sensibilidad depende de otros impulsores antropogénicos diferentes, como el crecimiento poblacional, los patrones de asentamientos humanos históricos y recientes, pobreza, equitatividad y forma de aprovechamiento de los recursos naturales. La capacidad adaptativa, por su lado, depende en gran medida de factores socioeconómicos, especialmente la gobernanza y la capacidad de gestión de los recursos.

En la Figura 24 podemos analizar la relación de estos tres componentes de la vulnerabilidad; exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa. Como puede observarse, en general un sistema es vulnerable si está expuesto y es sensible a los efectos del cambio climático y, al mismo tiempo, tiene una capacidad limitada para adaptarse. Pero si un sistema tiene una fuerte capacidad de adaptación, este será menos vulnerable (Fellmann, 2012).

Figura 24.

Capacidad adaptativa como moduladora de la exposición y sensibilidad al cambio climático.



Adaptado de (Fellmann, 2012).

Pero no todas las regiones ni todos los sistemas son igual de vulnerables al cambio climático. Entonces, ¿Qué regiones o sectores son más vulnerables al cambio climático?

Está claro que en todo el planeta existen zonas vulnerables, sin embargo la mayor repercusión se observa en los países en desarrollo, pues algunos de estos tienen litorales amplios y bajos, principalmente las islas. Recordemos que el incremento del nivel del mar trae consecuencias a las zonas costeras como inundaciones e intrusión de agua salada. Además, está la dependencia de los recursos del mar para su alimentación e ingresos económicos, lo cual se ve afectado por los daños en arrecifes y cambios en los hábitos migratorios de los peces a consecuencia del incremento de temperaturas y de la acidez del océano.

A continuación revisemos algunas de las conclusiones del reporte más reciente del IPCC sobre Incremento del nivel del mar y sus implicaciones en islas y zonas costeras (Oppenheimer et al., 2019):

Los impulsores antropogénicos no climáticos, incluidas las tendencias demográficas y de asentamientos recientes e históricas han desempeñado un papel importante en el aumento de la exposición y vulnerabilidad de las comunidades costeras bajas frente al incremento del nivel del mar y eventos de niveles extremos del mar (*nivel de confianza muy alto*).



En los deltas costeros, por ejemplo, estos impulsores han alterado la disponibilidad de agua dulce y sedimentos (*nivel de confianza alto*). En áreas costeras bajas en general, los cambios inducidos por el hombre pueden ser rápidos y modificar las costas en períodos cortos de tiempo, superando los efectos de incremento del nivel del mar (*nivel de confianza alto*).

Y es que la sensibilidad al cambio climático es generalmente alta cuando las sociedades dependen de los recursos o los ecosistemas naturales, lo cual es común en islas y zonas costeras, pero también hacia el interior de los continentes. Por ejemplo, muchas poblaciones dependen estrictamente de la producción de los cultivos para subsistir.

Si bien la vulnerabilidad debe definirse caso por caso, generalmente se puede decir que las comunidades pobres son especialmente vulnerables al cambio climático. Pero esto se debe no solo a los factores de alta sensibilidad, sino también a la baja capacidad adaptativa por su acceso limitado a recursos, vivienda segura, infraestructura adecuada, seguros, tecnología e información (GIZ, 2014).

Y ¿Qué sucede con los ecosistemas? Finalmente, queda claro que la vulnerabilidad de los sistemas humanos no es ajena a la vulnerabilidad de los ecosistemas naturales.

Ya hemos visto un claro ejemplo con el caso del blanqueamiento del coral y su relación con las poblaciones de peces que dependen de estos, y de los cuales, a su vez, depende el sector pesquero. Otro ejemplo lo tenemos en los manglares, un ecosistema que es altamente sensible debido a factores no climáticos, principalmente, su conversión a camaroneras y otros usos, mientras incrementa su exposición al incremento del nivel del mar. Pero, por otro lado, la pérdida del manglar está incrementando la exposición de las poblaciones humanas a todos los problemas que trae el incremento del nivel del mar, y que ya hemos mencionado en varias ocasiones.

Pero, ¿Cómo se aplica la capacidad adaptativa cuando nos referimos a sistemas naturales? Si bien el concepto de capacidad adaptativa se propuso inicialmente para analizar sistemas sociales, en la actualidad también se ha aplicado en un contexto ecológico para reflejar las capacidades de un sistema (ya sean especies o ecosistemas) para adaptarse o hacer frente a condiciones cambiantes (Foden et al., 2019).

Aunque ya lo revisamos en el apartado 3.6, vale la pena señalar que la capacidad adaptativa de una especie es la capacidad de ajustarse a un cambio o factor estresante, la cual dependerá de los niveles de plasticidad fenotípica, capacidad de dispersión, o capacidad de evolución, asociada con su diversidad genética. Estas características, a su vez, pueden permitir que una especie se ajuste a las nuevas condiciones cambiando de ubicación, modificando los comportamientos, la fisiología o los factores de la historia de vida, o desarrollando rasgos nuevos y mejor adaptados (Foden et al., 2019). Pero, como sabemos, no todas las especies pueden responder de la misma forma a los cambios en el ambiente, pues cada una tiene su paquete de adaptaciones para unas condiciones específicas. En algunas especies, ese paquete de adaptaciones permite que sean más tolerantes a rangos de condiciones más amplios, mientras que, en otras, solo les otorga la capacidad para desarrollarse bajo unas condiciones muy específicas. El hecho de que dentro de una misma comunidad natural unas especies se vean favorecidas y otras perjudicadas por el cambio climático, da como resultado alteraciones de las interacciones entre especies y, posteriormente, cambios en la composición y abundancia de especies, lo cual finalmente genera desequilibrios y afecta la capacidad de los ecosistemas para resistir o adaptarse a los cambios futuros.



Actividad de aprendizaje recomendada

Continuemos con el aprendizaje mediante su participación en la actividad que se describe a continuación:

- IPCC, 2014: Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad – Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E.

Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea y L.L. White (eds.)]. Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, Suiza, 34 págs.

En este reporte, usted puede revisar las principales conclusiones sobre vulnerabilidad en las páginas 4 – 7.

Como habrá revisado en el informe del IPCC, muchos de los impactos previstos están relacionados con cambios en los sistemas hidrológicos, que incrementan la vulnerabilidad tanto de ecosistemas, como de la población humana, debido a incrementos en su exposición a desastres naturales, mayor sensibilidad debida a problemas para acceder al recurso agua.

Seguramente usted habrá concluido que el cambio climático interactúa de manera importante con factores sociales, como la pobreza y desigualdad, incrementando así la vulnerabilidad en los países en desarrollo.



Semana 13

4.2. Adaptación al cambio climático

A lo largo del presente curso hemos ido analizando la evidencia respecto al cambio climático actual, y hemos analizado la posición de los diferentes organismos internacionales que trabajan en este tema, encabezados por el IPCC, quienes han reunido y analizado evidencia científica suficiente para concluir que el cambio climático es ya una realidad y que lleva una huella de la actividad humana. Esto ha permitido emprender acciones para luchar a escala global en contra del incremento de emisiones de GEI. Pero, incluso si se lograra cumplir el objetivo de reducir las emisiones de GEI y mantener el incremento de la temperatura global por debajo de los 2 °C, se prevé que las tendencias de incremento de temperatura se mantendrán por varias décadas debido a la inercia del sistema climático. Por eso es necesario hablar de cómo adaptarnos a los cambios que ya estamos atravesando, y los que vendrán en las próximas décadas. En el siguiente enlace le invito a revisar un poco más acerca de lo que implica adaptarse al cambio climático: [Adaptación al cambio climático; es tiempo de tomar decisiones](#)

Como habrá visto en el vídeo, las medidas de adaptación al cambio climático están orientadas a limitar al máximo los impactos o daños del cambio climático, reducir las vulnerabilidades e incrementar la resiliencia, tanto de los sistemas naturales como de sistemas humanos.

En los sistemas humanos la adaptación implica responder al cambio climático de forma planificada. Se trata de reducir riesgos combatiendo y previniendo los efectos negativos, pero también se trata de aprovechar oportunidades en los casos en los que sea posible. En el caso de sistemas naturales, la intervención humana puede facilitar el ajuste de estos a las nuevas condiciones climáticas (IPCC, 2014b).

Estas respuestas “adaptativas”, pueden estar orientadas a tratar cualquiera de los componentes de la vulnerabilidad. Por ejemplo, en áreas costeras en las que las zonas de manglar han sido deforestadas y destinadas a otros usos, la población puede ser particularmente vulnerable debido a una alta exposición a las marejadas, intrusión salina, erosión, e incluso ciclones tropicales. A continuación se muestran algunas de las estrategias de adaptación que podrían aplicarse para prevenir los impactos del cambio climático (IPCC, 2014a).

- a. Actuando para **reducir el grado de exposición**. Ej. La restauración y rehabilitación de manglares se ha llevado a cabo en varios lugares para reducir los riesgos asociados al incremento del nivel del mar y a fenómenos extremos. Se ha demostrado que los manglares restaurados atenúan la altura de las olas, reduciendo el daño y la erosión por el oleaje. Además, protegen la industria de la acuicultura del daño de las tormentas y reducen la intrusión de agua salada (IPCC, 2014a).
- b. Actuando para **reducir la sensibilidad**. Ej. Implementando sistemas de alerta temprana, o mejorando el acceso a servicios de ayuda en casos de emergencia.

Un punto importante cuando hablamos de “adaptación al cambio climático” es que las estrategias de adaptación deben contemplar cambios en los fenómenos climáticos que van más allá de las variaciones naturales, por ejemplo, adaptarnos no solo a los eventos de precipitaciones extremas que ocurren de forma natural cada cierto tiempo, sino, a un incremento en la frecuencia e intensidad de dichos eventos.

4.2.1. ¿Cómo se definen estas estrategias de adaptación?

Las organizaciones internacionales que trabajan en estos temas, así como los gobiernos nacionales y locales, generan planes de adaptación para sus áreas de acción. Las diferentes fases que se contemplan en los planes de adaptación se describen de forma general en el recurso a continuación.

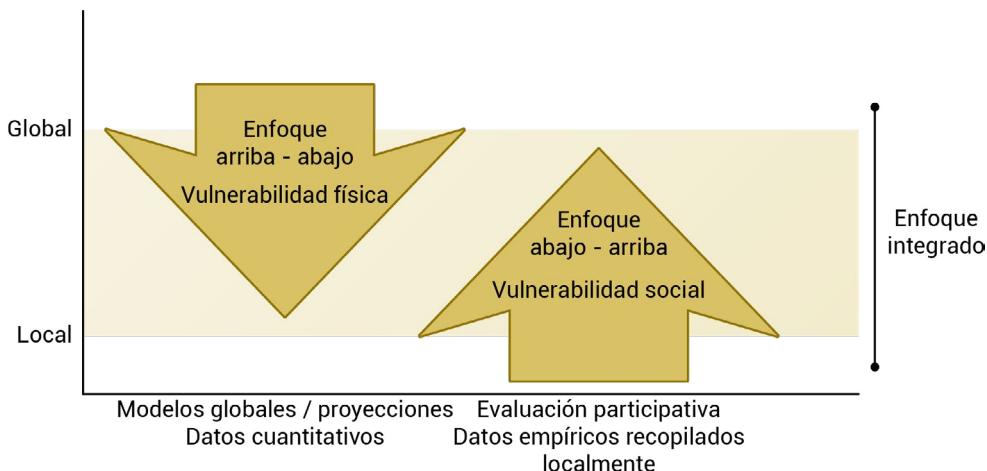
Estructura de los planes de adaptación

Centrémonos un momento en comprender cómo se desarrolla la evaluación de vulnerabilidad. Para esta fase existen dos enfoques principales que suelen aplicarse (Figura 25). El primer enfoque es el **enfoque de arriba abajo**, que es un enfoque centralizado, basado en datos cuantitativos de escenarios climáticos y socioeconómicos y, también, en las interacciones entre estos. En general es el modelo más adecuado para evaluar la vulnerabilidad a largo plazo y a escalas grandes, ya sea regional o global.

Por otro lado, tenemos el **enfoque de abajo arriba (o ascendente)**, el cual se aplica generalmente para la evaluación de unidades de análisis pequeñas y localizadas, como comunidades, sectores de la población o sectores productivos de una localidad. Este tipo de análisis se utiliza con frecuencia para analizar la vulnerabilidad social actual, es decir, a corto plazo. Por lo general la información se integra de forma participativa, con datos empíricos, por ejemplo, a partir de encuestas o talleres en los cuales se recoge la opinión de la población y de los tomadores de decisión. Entre las ventajas que tiene este enfoque está el hecho de que reconoce que la vulnerabilidad al cambio climático no depende solo de los eventos biofísicos, sino también del contexto socioeconómico. Además, representa mejor las opciones locales de adaptación, y por eso es idóneo para horizontes a corto-medio plazo.

Figura 25.

Enfoques para la evaluación de la vulnerabilidad al cambio climático.



Adaptado de: (Dessai and Hulme, 2004).

También existen enfoques “integrados”, es decir, enfoques que incluyen tanto información de la vulnerabilidad física, a partir del enfoque arriba abajo, así como información social, a partir del enfoque abajo arriba.

En resumen, la adaptación al cambio climático implica un proceso de planificación que debe ser elaborado considerando lo complejo de las interacciones que están detrás del cambio climático. Es importante tener un propósito claro del plan de adaptación, considerando la escala espacio temporal de actuación. Además, es fundamental realizar un análisis de vulnerabilidad que refleje los impactos actuales y los riesgos futuros frente al cambio climático, así como la capacidad adaptativa actual. Finalmente, con esta información, se procede a formular una estrategia o plan de adaptación, que por lo general implica no una, sino varias acciones que permitan trabajar sobre los factores de exposición y sensibilidad. Como se habrán dado cuenta, la planificación de la adaptación requieren considerar las cuestiones relacionadas con gobernanza, equidad, economía y riesgos. En este contexto, es clave contar con la participación de múltiples actores, tanto gobiernos, como diferentes sectores de la población.

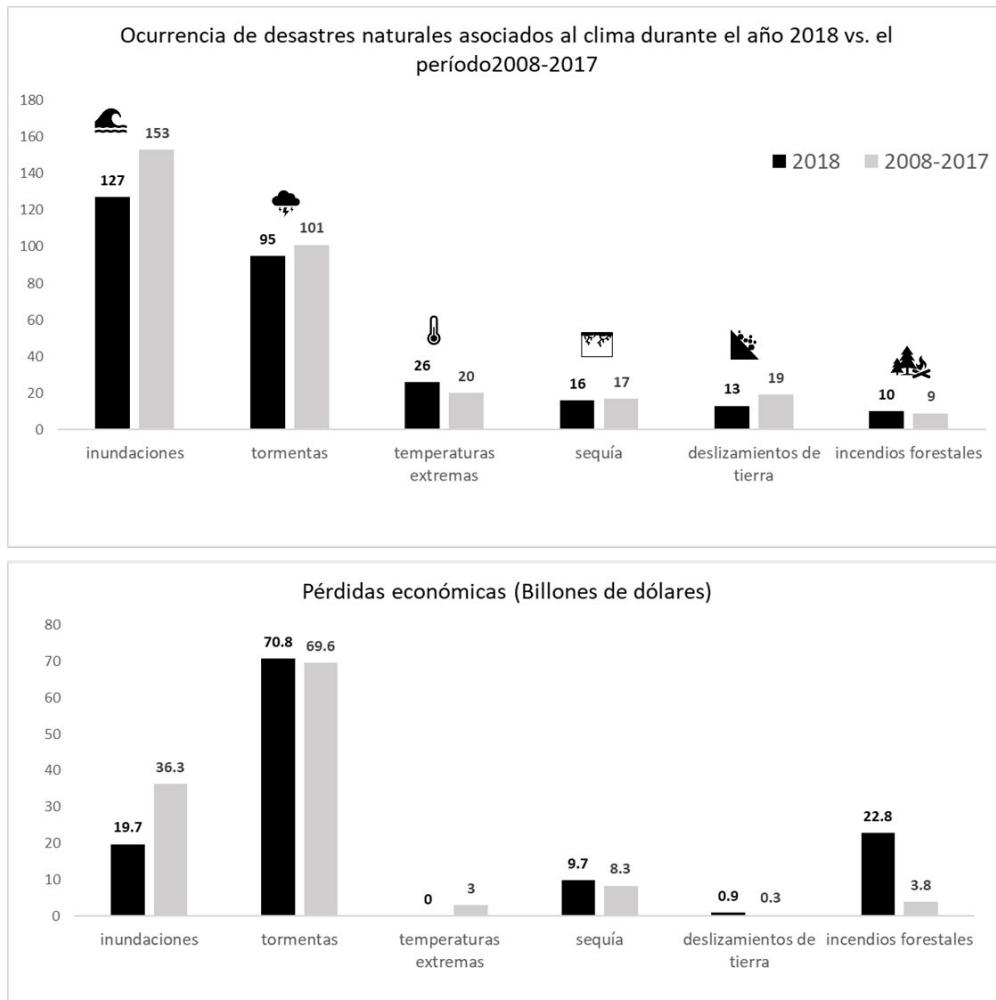


La adaptación puede reducir sustancialmente los riesgos de los impactos del cambio climático, pero cuanto mayor sea el ritmo y la magnitud del cambio climático, mayor es la probabilidad de sobrepasar los límites de la adaptación (*nivel de confianza alto*) (IPCC, 2014b).

Para tener una idea de la importancia de implementar acciones efectivas de adaptación al cambio climático, en la Figura 26 podemos analizar algunos datos sobre desastres naturales en 2018, y los costos generados en términos monetarios, de acuerdo al informe del Centro de Investigación sobre Epidemiología de Desastres (CRED, 2019).

Figura 26.

Estadísticas sobre desastres naturales asociados al clima ocurridos en el año 2018, en comparación con el período 2008-2017. Se muestran los datos del número de eventos ocurridos por diferentes causas, y los costos económicos de los mismos. Datos tomados de CRED (2019).



Como puede observar en la Figura 26, el año 2018 presentó una cantidad muy alta de eventos extremos asociados al clima, a tal punto que lo que ha ocurrido en un año es casi igual a lo ocurrido en una década. Por supuesto, serán necesarios análisis posteriores para analizar la evolución de estas tendencias, pero lo importante de estos datos es que nos permiten ver que están ocurriendo cambios, y que estos cambios generan pérdidas que pueden superar a los costos de implementación de medidas de adaptación al cambio climático. Mucho más aún si consideramos que solo en el 2018

estos eventos afectaron a 68.5 millones de personas, del cual el 94% corresponde a personas afectadas por inundaciones, tormentas y sequías.



Semana 14

Estimada/o estudiante las siguientes dos semanas las dedicaremos a analizar el trabajo desarrollado en torno a la mitigación del cambio climático. Analizaremos qué alternativas de mitigación existen, los logros alcanzados y retos actuales.

4.3. Mitigación del cambio climático

La semana anterior analizamos lo que implica adaptarse al cambio climático y la importancia de las estrategias de adaptación para reducir sus impactos. Sin embargo, es necesario considerar que las medidas de adaptación no son suficientes para hacer frente al cambio climático, pues las emisiones antropógenas de GEI totales han continuado en aumento desde 1970 (IPCC, 2014c). Esto implica que los esfuerzos deben orientarse, tanto a lograr una adaptación, como a mitigar o reducir la concentración de GEI en la atmósfera.

De acuerdo a lo expresado en el reporte sobre Mitigación del Quinto informe del IPCC (IPCC, 2014c), **la mitigación del cambio climático implica una intervención humana encaminada a reducir las fuentes o potenciar los sumideros de gases de efecto invernadero.**

Entonces, mientras que la adaptación al cambio climático se enfoca en reducir los efectos adversos del cambio climático y aprovechar oportunidades, la mitigación implica acciones orientadas a combatir “las causas”. Esto implica trabajar en reducir las emisiones, así como también en incrementar los sumideros de carbono.

Junto con las acciones de adaptación, la mitigación al cambio climático, contribuye al objetivo expresado en el artículo 2 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC):

"Lograr, de conformidad con las disposiciones pertinentes de la Convención, la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático. Ese nivel debería lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible."

Reducir las emisiones de GEI en las próximas décadas es necesario para reducir notablemente los riesgos asociados al cambio climático. Estas acciones podrían limitar el calentamiento en la segunda mitad del siglo XXI y posteriormente, pero depende del nivel de reducción de emisiones de GEI que se logre.

Y como la principal fuente de emisiones de GEI antropogénico procede de la quema de combustibles fósiles, para mitigar el cambio climático, es necesario trabajar en la generación de alternativas al uso de combustibles fósiles. Si lo analizamos por sectores es clave trabajar en la generación de fuentes alternativas de energía, pues hasta el momento, el sector energético es el que presenta la mayor demanda de combustibles fósiles, seguido por la industria y el transporte.

4.3.1. Mecanismos para la mitigación del cambio climático

En el año de 1997 el protocolo de Kioto planteó un marco para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero de las naciones industrializadas a partir de lo que se conoce como “Mercados de Carbono”. Específicamente, los mecanismos de reducción de emisiones planteados en el protocolo de Kioto incluye mecanismos que permiten la compra venta de “bonos de carbono”. Cada país industrializado, firmante del protocolo de Kioto, tiene un techo límite para emisiones anuales de GEI, las cuales se estiman en toneladas. Un bono de carbono representa el derecho a emitir “una tonelada de dióxido de carbono anualmente”. A continuación se describen los mecanismos de mitigación actuales:

1. **Mercado internacional de emisiones**, un mercado de carbono mediante el cual los países con emisiones menores a los límites comprometidos pueden vender esas emisiones a países que están por encima del límite comprometido.
2. **Mecanismo de implementación conjunta**, el cual permite a un país industrializado (con obligaciones de reducción de GEI) invertir en proyectos que reducen las emisiones de GEI en otros países industrializados. De esta forma, los créditos, es decir, la reducción de emisiones lograda por estos proyectos, cuenta para su compromiso de reducción de emisiones.
3. **Mecanismo de desarrollo limpio**, el cual surge como una forma de incentivar un desarrollo económico sustentable y reducir las emisiones en los países no industrializados (sin obligaciones de reducción de GEI) al mismo tiempo que se flexibiliza el tiempo para cumplir los compromisos de reducción de emisiones de GEI en los países industrializados.

Entonces, si un proyecto en un país en desarrollo reduce emisiones, este puede obtener “Reducciones certificadas de emisión”, y venderlas a empresas o países industrializados que las requieran para cumplir con sus objetivos.

Como puede ver, de los tres mecanismos, el mecanismo de desarrollo limpio representa una alternativa para los países en desarrollo con el fin de avanzar hacia el desarrollo sostenible. Es importante mencionar que los proyectos de este tipo contemplan inversiones en sistemas de eficiencia energética, energías alternativas, captura de carbono, reforestación, entre otros.

América Latina se ha convertido en la región de países en desarrollo más activa en este mercado emergente, con alrededor de US\$210,6 millones de créditos de carbono en negociación en el marco de mecanismos de desarrollo limpio.

4.3.2. Descarbonización

El Informe especial sobre **1,5 grados de calentamiento** presentado por el IPCC en 2018 destaca la urgencia de las acciones climáticas necesarias:



“Las emisiones globales deberán alcanzar su punto máximo para 2030 y disminuir rápidamente a cero para 2050 si queremos ser capaces de mantenernos dentro de los límites de seguridad establecidos por el Acuerdo de París”.

En este contexto, un tema que ha tomado fuerza en los últimos años y que es necesario comprender con claridad es el de la “descarbonización”. De acuerdo a la definición del IPCC, la descarbonización es un proceso mediante el cual los países u otras entidades tratan de lograr una economía con bajas emisiones de carbono, o mediante el cual las personas tratan de reducir su consumo de carbono (IPCC, 2014b), con la finalidad de alcanzar la neutralidad en las emisiones de CO₂.

En otras palabras, la descarbonización hace referencia a lograr un balance global entre las emisiones de CO₂ que se emiten a la atmósfera y las remociones antropogénicas de CO₂ durante un período específico, lo que se conoce como “emisiones netas cero”. Si bien el término descarbonizar se refiere a la reducción de las emisiones de dióxido de carbono, a menudo se utiliza para abarcar los esfuerzos para reducir emisiones de otros GEI.

Para analizar un poco qué es lo que se está haciendo en esta línea en diferentes partes del mundo, lo invito a revisar algunos ejemplos en el siguiente enlace: [Naciones Unidas](#)

Como habrá revisado en el enlace, la descarbonización implica compromisos y esfuerzos muy grandes para cambiar nuestro estilo de vida y la forma de desarrollo actual. Y, nuevamente la mirada está puesta sobre todo en el sector energético para alcanzar los objetivos.



Actividad de aprendizaje recomendada

Le invito a participar en la siguiente actividad:

- Acceda a la página de la [Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático \(CMNUCC\)](#) que recoge la información sobre los proyectos de mecanismo de desarrollo limpio que se ejecutan en todo el mundo. Realice una búsqueda de proyectos que se hayan realizado o se estén desarrollando actualmente en Ecuador

bajo este mecanismo. Para realizar la búsqueda seleccione Ecuador en la casilla de “Host Country”.

Como podrá revisar en la página de la CMNUCC Ecuador ha participado en el desarrollo de varios proyectos en el marco de mecanismo de desarrollo limpio, la mayoría de estos enfocados en reducir emisiones a través del desarrollo de proyectos de energías alternativas.



Semana 15

Continuamos analizando el tema de mitigación del cambio climático. Esta semana cerraremos este tema analizando la sinergia entre adaptación y mitigación, pues como ya lo habrán considerado, las estrategias de adaptación y mitigación no son excluyentes entre sí. **¡Adelante!**

4.4. Sinergias entre mitigación y adaptación

Conforme se avanza en los objetivos de reducir emisiones de GEI, y en la medida en la que las estrategias de mitigación no alcancen los objetivos de reducción de emisiones, la adaptación será clave para paliar los impactos del cambio climático.

Un punto importante es que las medidas de mitigación y las medidas de adaptación no están desvinculadas, por el contrario, pueden y deben implementarse de forma conjunta.

A continuación, puede revisar algunos ejemplos de estrategias que aportan tanto a la adaptación como a la mitigación en los ámbitos de la agricultura y forestería:

- **Estrategia:** adopción de prácticas que reducen la labranza y aumentan la materia orgánica del suelo (Ej. Acolchados, labranza cero, compost)

Mitigación: refuerzan el secuestro de carbono

Adaptación: mejora el suministro de nutrientes y la capacidad de retención de agua del suelo, lo que fortalece la resiliencia de los sistemas agrícolas y aumenta la productividad.

- **Estrategia:** cambio de sistemas pastoriles por sistemas silvopastoriles.

Mitigación: Permite aumentar la capacidad de almacenamiento de carbono en el suelo y vegetación.

Adaptación: aumenta la productividad del ganado al reducir el estrés térmico y, en cierta medida, mejora las fuentes de alimento.
- **Estrategia:** Reducción del metano entérico en la ganadería. La producción de metano entérico está directamente relacionada con el nivel de ingesta, tipo y calidad del alimento, la temperatura ambiental, entre otros factores. Se ha encontrado una fuerte correlación entre el aumento de productividad animal y la reducción de emisiones de metano entérico ([FAO](#)).

Mitigación: reducción de las emisiones de metano con un bajo costo.

Adaptación: incremento en el rendimiento del ganado, lo que implica beneficios sociales y económicos.
- **Estrategia:** protección de cuencas hidrográficas.

Mitigación: Mejora la capacidad de almacenamiento de carbono en el suelo y vegetación.

Adaptación: reduce el riesgo de inundaciones y deslaves, mejora en el acceso y calidad del agua.

Síntesis

Estamos a punto de finalizar el período académico, es el momento de realizar una breve síntesis de lo revisado.

Empezamos esta asignatura revisando los hechos que demuestran que estamos viviendo un cambio climático, cuáles son los motores de cambio, cuáles son las evidencias científicas que respaldan los cambios difundidos por la comunidad internacional, así como cuáles son las tendencias proyectadas y las consecuencias de estas.

No cabe duda de que estamos atravesando una emergencia climática, es decir un punto en el cual es necesario, primero, reconocer que las medidas tomadas hasta ahora no son suficientes para frenar el cambio climático y evitar sus consecuencias. La emergencia climática precisa, además, que adoptemos medidas para reducir las emisiones de carbono.

Un punto clave que hace del cambio climático una emergencia es que existe un grado de irreversibilidad en los efectos del cambio climático, lo cual implica que mientras mayor sea el incremento de temperatura promedio del planeta, más difícil será que podamos actuar para revertir sus efectos. Además, no podemos olvidar que todos los diferentes escenarios posibles de cambio climático, incluso los más optimistas (RCP 2.6) muestran que la temperatura del planeta seguirá aumentando en las próximas décadas.

En este ámbito, hemos hablado también de la necesidad de adaptarnos al cambio climático como sociedad, justamente porque los cambios son evidentes. Aunque no hay una certeza de cuán fuertes serán los cambios ni a qué velocidad, porque esto dependerá del comportamiento de las actividades humanas, lo que está claro es que están habiendo cambios y es necesario estar preparados para reducir la vulnerabilidad.

Estar preparados para los diferentes escenarios de cambio climático nos permite ganar tiempo para:

- Mejorar la tecnología y buscar alternativas apropiadas para lograr un desarrollo limpio.
- Los científicos comprendan mejor lo que sucede en los diferentes componentes del sistema climático.
- La sociedad se adapte a las nuevas condiciones.
- Las especies tengan tiempo de evolucionar y los sistemas naturales se adapten a las nuevas condiciones.

De esta manera, el estado de emergencia climática puede ser adoptado por los gobiernos a diferentes escalas y por otras entidades para reconocer la situación crítica y tomar decisiones que garanticen el bienestar de la población.

Desde el ámbito científico se ha realizado un gran esfuerzo en el análisis y diagnóstico de las causas y consecuencias de los diferentes escenarios de cambio climático, pero a partir de ahí, es necesario trabajar en establecer

vínculos entre científicos, políticos, y la sociedad civil, de manera que el conocimiento se pueda transferir y usar en la planificación de soluciones desde los diferentes sectores de la sociedad.



Autoevaluación 4

1. La vulnerabilidad de un sistema al cambio climático es una función de:
 - a. El nivel de exposición frente a cambios en el clima.
 - b. La sensibilidad de la población frente a los cambios en el clima.
 - c. La capacidad de adaptarse a los cambios en el clima.
 - d. Todas las opciones son correctas.
 2. () El incremento en la frecuencia de precipitaciones extremas es un ejemplo del nivel de sensibilidad al cambio climático.
 3. () La implementación y aplicación de sistemas de alerta temprana es un ejemplo de la capacidad adaptativa frente al cambio climático.
 4. La falta de información sobre riesgos es un factor que define la sensibilidad frente al cambio climático.
-
-

5. Señale qué regiones del planeta son más vulnerables al cambio climático.
 - a. Países industrializados.
 - b. Países en vías de desarrollo.
 - c. Regiones costeras.
 - d. Regiones áridas.
 - e. Todas las opciones son correctas.

6. La capacidad adaptativa de un sistema depende de su capacidad para:
 - a. Controlar los daños potenciales.
 - b. Aprovechar las oportunidades.
 - c. Hacer frente a las consecuencias.
 - d. Todas las opciones son correctas..
7. Cuando se requiere evaluar la percepción de un sector de la población, respecto a su vulnerabilidad frente cambio climático el enfoque que más adecuado es:
 - a. Enfoque de arriba abajo.
 - b. Enfoque de abajo arriba.
 - c. Enfoque integrador.
8. Señale las afirmaciones correctas acerca de los mecanismos de desarrollo limpio:
 - a. Son certificados otorgados a los países en vías de desarrollo por las Naciones Unidas.
 - b. Son un mecanismo de reducción de emisiones de GEI de obligado cumplimiento para todos los países firmantes del Protocolo de Kioto.
 - c. Permite a los países industrializados cumplir sus metas de reducción de emisiones de GEI.

9. Señale las características que definen a los componentes de mitigación y a los componentes de adaptación al cambio climático.

- a. Mitigación
 - ___ Busca mejorar la capacidad de respuesta frente a los efectos del cambio climático.
 - b. Adaptación
 - ___ Se enfoca en reducir emisiones de GEI.
 - ___ Busca incrementar los sumideros de carbono.
 - ___ Se enfoca en las consecuencias del cambio climático.
 - ___ Busca reducir riesgos frente al cambio climático.
 - ___ Se enfoca en los factores causantes del cambio climático.
-

10. De los siguientes ejemplos de proyectos ejecutados a través del mecanismo de desarrollo limpio, señale cuáles aportan a mitigar el cambio climático reduciendo emisiones y cuáles aportan incrementando sumideros.

- a. Incrementa sumideros
 - ___ Tanzania: 10.814 hectáreas de tierra degradada serán reforestadas y 7.565 puestas en conservación para proteger la biodiversidad local.
 - b. Reduce emisiones
 - ___ Biogás: uso de metano derivado del tratamiento de estiércol de ave para producción de calor y electricidad.
 - ___ Plantación de árboles para madera, leña y producción de forraje en tierras degradadas.
 - ___ Producción de biomasa: generación de electricidad a partir de los residuos del cultivo de mostaza en India.
-

[Ir al solucionario](#)



Actividades finales del bimestre

Estimados/as estudiantes, en esta semana haremos una revisión general de los contenidos del segundo bimestre; con ello estarán preparados para rendir la segunda prueba presencial. Como habrá visto, el tema del cambio climático es muy extenso y se puede analizar desde diferentes enfoques, por lo que es muy importante que usted analice y se asegure de comprender los conceptos principales.

Es importante que dedique esta semana a revisar nuevamente los contenidos que hemos revisado a lo largo del bimestre, poniendo énfasis en los siguientes puntos:

Unidad 3. Impactos del cambio climático

- 3.1. Deshielo de los glaciares
- 3.2. Incremento del nivel del mar
- 3.3. Eventos extremos
- 3.4. Impactos para la seguridad alimentaria
- 3.5. Impactos en la migración

3.6. Impactos sobre las especies y los ecosistemas

Unidad 4. Vulnerabilidad, mitigación y adaptación al cambio climático

4.1. Vulnerabilidad frente al cambio climático

4.2. Adaptación al cambio climático

4.2.1. ¿Cómo se definen estas estrategias de adaptación?

4.3. Mitigación del cambio climático

4.3.1. Mecanismos para la mitigación del cambio climático

4.3.2. Descarbonización

4.4. Sinergias entre mitigación y adaptación



4. Solucionario

Autoevaluación 1		
Pregunta	Respuesta	Retroalimentación
1a	Clima	Recuerde que el clima y el tiempo están definidos en función de las mismas variables meteorológicas. La diferencia está en que el tiempo se puede predecir para una escala de tiempo corta, según el comportamiento de los patrones atmosféricos en un momento puntual, mientras que el clima está definido por los valores promedio de esas variables durante décadas.
1b	Tiempo	Se describe una condición meteorológica esperada para un día específico.
1c	Clima	Los valores promedio, calculados con información de varias décadas, permiten describir las características del clima.
1d	Tiempo	Se hace referencia a un descenso de temperatura en un momento puntual, aunque no describe las características del clima en esa región.
2a	V	Dos de las variables más importantes en la definición del clima de una región son la temperatura y la humedad, tanto sus valores promedio anuales como sus variaciones a lo largo del año.
2b	F	La precipitación promedio de cada mes se representa con las barras azules, siendo marzo el mes de mayores precipitaciones.
2c	F	La temperatura promedio está representada por la línea roja. En noviembre la temperatura promedio es de aproximadamente 21 °C.
2d	V	La precipitación promedio de cada mes se representa con las barras azules, siendo julio el mes con menos precipitaciones en el año (aprox. 15 mm).
2e	V	Correcto, la precipitación promedio de cada mes se representa con las barras azules.
2f	V	Correcto, la precipitación promedio anual se puede observar en la parte superior derecha del climodiagrama.
3	a	Las superficies de color oscuro tienen un bajo albedo, lo que implica una alta capacidad de absorber energía y, por tanto, contribuyen a calentar la superficie de la Tierra.
4	V	Correcto.

Autoevaluación 1		
Pregunta	Respuesta	Retroalimentación
5	F	Recuerde, el albedo es la capacidad de reflejar la radiación solar de regreso al espacio.
6	F	La nieve y el hielo reflejan hasta el 90 % de los rayos del sol, lo que contribuye a enfriar el planeta.
7	F	El albedo es la capacidad de reflejar la energía, a mayor albedo, mayor cantidad de energía reflejada a la atmósfera.
8	V	Correcto.
9	F	La capacidad térmica o calorífica del agua es muy alta, esto implica que para aumentar su temperatura necesita absorber mucha energía por unidad de masa.
10	V	Correcto. La hidrosfera es toda el agua en la Tierra, mientras que la criósfera es una subsección de eso, solo el agua congelada en la Tierra.

[Ir a la autoevaluación](#)

Autoevaluación 2		
Pregunta	Respuesta	Retroalimentación
1	c b a	Durante las últimas décadas se han generado acuerdos y comités internacionales para trabajar de forma global en la lucha contra el cambio climático.
2	d	Los modelos climáticos utilizan datos de variables climáticas de períodos largos de tiempo, con ellas modelan el clima del pasado para determinar la precisión del modelo y, posteriormente, utilizan los modelos para analizar relaciones causa-efecto.
3	c	El forzamiento radiativo está relacionado con la potencia de gas de efecto invernadero para retener energía.
4	a	La mayor cantidad de CO ₂ emitido a la atmósfera proviene de la quema de combustibles fósiles.
5	b	El sector de producción de electricidad y calor emite el mayor porcentaje de las emisiones globales de gases de efecto invernadero con un 25%. El sector de la agricultura, la silvicultura y otros usos de la tierra ocupa el segundo lugar con un 24 %.
6	c	El vapor de agua es el GEI más abundante en la atmósfera, seguido por el dióxido de carbono.
7	b	Correcto, 300 ppm.
8	a	El agua de los glaciares de montaña, al derretirse fluye hacia el mar, aportando así al incremento del nivel del mar.
9	b	Conforme incrementa la temperatura del agua, se genera una expansión, es decir, ocupa un mayor volumen.
10	a	El hidrógeno genera acidez en el agua.

Ir a la
autoevaluación

Autoevaluación 3		
Pregunta	Respuesta	Retroalimentación
1	F	Cuando el agua ingresa al sistema en forma de lluvia (estado líquido) y no en forma de nieve, esto implica un cambio en la capacidad de mantener masas de hielo debido a la diferencia en el albedo del agua en ambos estados.
2	F	La principal causa del incremento del nivel del mar actual se debe al derretimiento de los glaciares de alta montaña, incluidos los glaciares tropicales, como los de los Andes.
3	b	Muchos acuíferos de agua dulce cercanos a las zonas de litoral presentan un riesgo de contaminación por agua salada debido al incremento del nivel del mar.
4	F	Mientras menor sea el incremento de emisiones anuales de GEI menor el incremento del nivel del mar, además, este sería más lento, dando tiempo para establecer medidas de adaptación adecuadas.
5	b, c y e	Aunque los reportes acerca de los cambios en los eventos de sequías son menos concluyentes en cuanto a su relación con el cambio climático, las tendencias generales son a incrementar la intensidad y duración de las sequías, más no a reducirse.
6	c y d	El cambio climático ya está afectando la seguridad alimentaria, ya sea por incrementos de temperatura, inundaciones, sequías, entre otros factores. Además, los impactos negativos del cambio climático en el rendimiento de los cultivos han sido más comunes que los impactos positivos.
7	b, c, e y g	Los principales efectos en cuanto a disponibilidad de agua se esperan en las regiones áridas y semiáridas subtropicales. Además, el consenso científico respecto a que el aumento del estrés hídrico puede hacer que las personas decidan migrar es alto.
8	F	Las conclusiones del IPCC señalan que estos cambios en la distribución de especies ya están ocurriendo en la actualidad.
9	F	Son muy pocos los casos de extinción de especies a nivel mundial que se hayan podido relacionar directamente con el cambio climático.
10	a, b y c	Las evidencias actuales señalan que las especies están modificando sus áreas de distribución o sus patrones de comportamiento en respuesta al cambio climático.

**Ir a la
autoevaluación**

Autoevaluación 4		
Pregunta	Respuesta	Retroalimentación
1	d	La vulnerabilidad es el impacto neto que queda después de tener en cuenta la capacidad adaptativa, pues esta regula la exposición y la sensibilidad de un sistema a las variaciones del clima.
2	F	Ya que se trata de la alteración de una variable climática, este es un ejemplo de exposición. Recuerde, la sensibilidad refleja el grado en que un sistema se ve afectado.
3	V	Correcto. La capacidad adaptativa de un sistema depende de su capacidad para responder a las variaciones climáticas anómalas.
4	V	Correcto. La sensibilidad refleja el grado en que un sistema se ve afectado.
5	b, c y d	Las regiones costeras y áridas están más expuestas al incremento del nivel del mar y eventos extremos, respectivamente. Muchos países en desarrollo tienen extensas zonas costeras o regiones con altos niveles de aridez. Además, la desigualdad genera una menor capacidad de adaptarse.
6	d	Todas estas condiciones permiten que un sistema sea capaz de responder a las variaciones climáticas anómalas y reducir los riesgos.
7	b	El enfoque de abajo arriba permite analizar mejor las vulnerabilidades cuando se trabaja en escalas locales, pequeñas.
8	a y c	Los mecanismos de desarrollo limpio son una forma de incentivar un desarrollo económico sustentable y reducir las emisiones en los países no industrializados (sin obligaciones de reducción de GEI), al mismo tiempo que se flexibiliza el tiempo para cumplir los compromisos de reducción de emisiones de GEI en los países industrializados.
9	b, a, a y b b a	Recuerde, mientras que la mitigación se enfoca en combatir las causas del cambio climático, la adaptación se enfoca en mejorar la resiliencia de los diferentes sistemas naturales y humanos.
10	a, b, a y b	Las estrategias de mitigación pueden estar orientadas tanto a reducir las emisiones de GEI, como a incrementar los sumideros para evitar que los GEI sean liberados a la atmósfera.

Ir a la
autoevaluación



5. Referencias bibliográficas

- Allen, M. R., Dube, O. P., Solecki, W., Aragón-Durand, F., Cramer, W., Humphreys, S., et al. (2018). "Framing and Context," in *Global Warming of 1.5 °C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change*, 49–91.
- Benavides, H. O., and León, G. (2007). Información técnica sobre Gases de Efecto Invernadero y el cambio climático. doi:IDEAM–METEO/008-2007.
- Ceballos, G., and Ehrlich, P. R. (2018). Greenland sled dogs at risk of extinction. *Science* (80) 360, 1080–1081.
- Chinn, T. J. (1996). New Zealand glacier responses to climate change of the past century. *New Zeal. J. Geol. Geophys.* 39, 415–428. doi:10.1080/00288306.1996.9514723.
- Climate and Ocean, O. (2015). The interactions between ocean and climate 6 fact sheets for the general public.
- Cordero, R. R., Feron, S., Damiani, A., Llanillo, P., Carrasco, J., Jorquera, J., et al. (2019). *Cambio Climático. Respuestas a las Preguntas Claves*.
- CRED (2019). Natural disasters 2018. Brussels Available at: <https://www.emdat.be/>.
- Dessai, S., and Hulme, M. (2004). Does climate adaptation policy need probabilities? *Clim. Policy* 4, 107–128. doi:10.1080/14693062.2004.9685515.

Fellmann, T. (2012). "The assessment of climate change-related vulnerability in the agricultural sector: reviewing conceptual frameworks," in *Building resilience for adaptation to climate change in the agricultural sector* (Proceedings of a Joint FAO/OECD Workshop), 37–62. Available at: <http://www.fao.org/3/i3084e/i3084e04.pdf>.

Foden, W. B., Young, B. E., Akçakaya, H. R., Garcia, R. A., Hoffmann, A. A., Stein, B. A., et al. (2019). Climate change vulnerability assessment of species. *Wiley Interdiscip. Rev. Clim. Chang.* 10, 1–36. doi:10.1002/wcc.551.

GIZ (2014). A framework for climate change vulnerability assessments. Nueva Delhi.

Hock, R., Rasul, G., Adler, C., Cáceres, B., Gruber, S., Hirabayashi, Y., et al. (2019). "Chapter 2: High Mountain Areas. IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate," in *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*, 131–202.

IPCC (2013). "Resumen para responsables de políticas. En: Cambio Climático 2013: Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático". Cambridge y Nueva York, Available at: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL_SPANISH.pdf.

IPCC (2014a). Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad – Resumen para responsables de políticas. , ed. P. R. M. y L. L. W. Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken Ginebra Available at: <https://www.ipcc.ch/pdf/climate-changes-2001/impact-adaptation-vulnerability/impact-spm-ts-sp.pdf>.

IPCC (2014b). Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. , eds. R. K. Pachauri and L. A. Meyer Ginebra.

IPCC (2014c). Resumen para responsables de políticas. En: Cambio climático 2014: Mitigación del cambio climático. Contribución del Grupo de trabajo III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Cambridge, Reino Unido y Nueva York.

Le Treut, H., Cubasch, U., Ding, Y., Mauritzen, C., Mokssit, A., Peterson, T., et al. (2007). "Historical Overview of Climate Change Science," in *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press), 95–127.

Leong, J.-A., Marra, J. J., Finucane, M. L., Giambelluca, T., Merrifield, M., Miller, S. E., et al. (2014). "Hawaii and the U.S.-affiliated pacific Islands," in *Climate Change Impacts in the United States: The Third National Climate Assessment* (U.S. Global Change Research Program), 537–556. doi:10.7930/J0W66HPM.On.

Martínez, J., and Fernández, A. (2004). *Cambio climático: una visión desde México*. 1st ed. México D.F.: Ávalos Gómez.

Mbow, C., Rosenzweig, C., Barioni, L. G., Benton, T. G., Herrero, M., Krishnapillai, M., et al. (2019). "Food Security," in *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*, 437–550. Available at: <https://burundi-food-securityhealthywealthywise.weebly.com/food-security.html>.

National Snow and Ice Data Center (2022). All About Frozen Ground.
Available at: <https://nsidc.org/frozenground/>

Oppenheimer, M., Glavovic, B. C., Hinkel, J., Wal, R. van de, Magnan, A. K., Abd-Elgawad, A., et al. (2019). "Sea levelRise and implications for low-lying islands, coasts and communities," in *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*, ed. N. M. W. H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, 321–445. doi:10.1126/science.aam6284.

- Rodríguez Becerra, M., Mance, H., Barrera Rey, X., and García Arbeláez, C. (2015). *Cambio climático: lo que está en juego*. 2nd ed. Bogotá: Universidad de los Andes.
- Román-Palacios, C., and Wiens, J. J. (2020). Recent responses to climate change reveal the drivers of species extinction and survival. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 117, 4211–4217. doi:10.1073/pnas.1913007117.
- U.S. Global Change Research Program (2019). The climate report. The national climate assessmentte - implacts, risks, and adaptation in the United States.
- US EPA (2016). Climate change indicators in the United States 2016 Fourth Edition. *Clim. Chang. Indic. United States 2016*, 663–670. Available at: <http://www.epa.gov/climate-indicators>
- Zamora, R., Pérez-Luque, A. J., Bonet-García, F. J., Barea-Azcón, J. M., and Aspizua-Cantón, R. (2015). *La huella del Cambio Global en Sierra Nevada: Retos para la conservación*.
- Zemp, M., Huss, M., Thibert, E., Eckert, N., Mcnabb, R., Huber, J., et al. (2019). Global glacier mass changes and their contributions to sea-level rise from 1961 to 2016. *Nature* 568, 382–386. doi:doi:10.1038/s41586-019-1071-0.



6. Anexos

El forzamiento radiativo en los modelos climáticos

Un punto importante para comprender los diferentes procesos relacionados con el clima y la evidencia respecto al cambio climático, está relacionado con el “forzamiento radiativo”, que como veremos en los siguientes apartados se utiliza para predecir las tendencias futuras en el clima.

Para una mejor comprensión de lo que representa el forzamiento radiativo es necesario recordar la definición de “equilibrio radiativo”, el cual revisamos en la semana 2. El equilibrio radiativo representa el equilibrio entre la cantidad de energía proveniente del sol que atraviesa la atmósfera y la cantidad de energía devuelta desde la Tierra al espacio. Este equilibrio es, por tanto, el que permite que la temperatura de la Tierra se mantenga dentro de un rango de variación definido. Pero, ¿qué sucede si la concentración de GEI, que atrapan calor en la atmósfera, incrementa? Como los GEI tienen la capacidad de retener energía en la atmósfera, un incremento de su concentración genera un incremento del calor retenido y, así, un desajuste en ese balance o equilibrio radiativo. A este cambio en el flujo de energía causado por un elemento impulsor (ej. gas de efecto invernadero) se le conoce como “forzamiento radiativo”, el cual se expresa en vatios por metro cuadrado (W/m^2) y puede ser positivo o negativo, según la tendencia sea a incrementar o reducir el calor. Por ejemplo, en la Figura 1 se puede apreciar el forzamiento radiativo de los principales gases de invernadero, dióxido de carbono CO_2 , metano CH_4 , óxido nitroso N_2O , compuestos orgánico-halogenados, ozono O_3 , entre otros.

Componentes del forzamiento radiativo

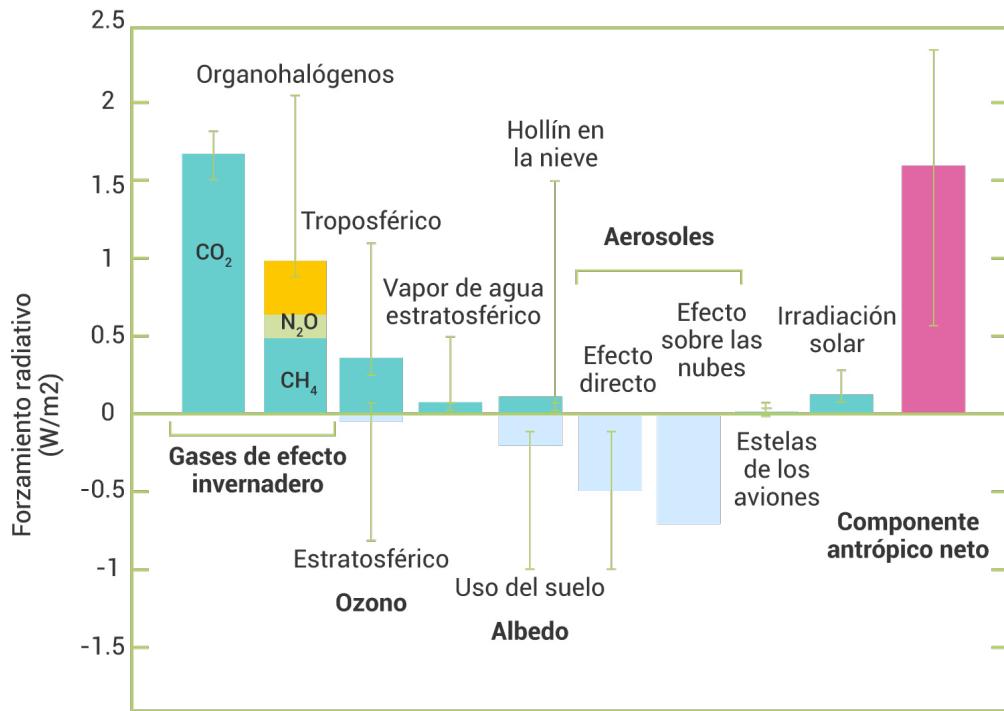


Figura 1 Diferentes componentes que aportan al forzamiento radiativo. Se muestra el cambio en el forzamiento radiativo para el período entre 1750 y 2005. Los valores representan el cambio en el forzamiento con respecto a la era preindustrial. Las barras rojas, naranjas y amarillas representan un forzamiento radiativo positivo, es decir que el componente aporta al calentamiento de la Tierra. Las barras azules representan el forzamiento radiativo negativo, es decir que el componente aporta al enfriamiento de la Tierra. Las cifras utilizadas para generar esta figura han sido obtenidas del Grupo de trabajo I del IPCC Cuarto Informe de Evaluación Resumen para Políticos, página 4. 1, CC BY-SA 3.0. Tomado de: De Radiative-forcings.svg: This figure was produced by Leland McInnes (Radiative-forcings.svg) using gnuplot and Inkscape and is licensed under the GFDL. All data is from publicly available sources.derivative work: Ortisa (talk) - Radiative-forcings.svg (Traducción de la imagen en catalán.), <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=7770256>

Los informes del IPCC utilizan diferentes escenarios de forzamiento radiativo para predecir lo que podría pasar a futuro con el cambio climático, a nivel global y en diferentes regiones. En el quinto informe del IPCC, se incluyen cuatro de estos escenarios denominados RCP que significa (trayectorias representativas de concentración). Estos escenarios representan entonces diferentes tendencias en la concentración de GEI en la atmósfera y, por tanto, diferentes niveles de forzamiento radiativo.

Recurso de aprendizaje

En la primera columna de la tabla señale cuál es la localidad o ciudad en la que usted reside. Luego, en la segunda columna escriba al menos una característica que describa mejor al clima de esa localidad, puede ser frío, caliente, húmedo, seco, etc., intente incluir todas las variables que considere importantes. A continuación, agregue otras dos localidades de las otras regiones naturales del Ecuador. En la segunda columna indique cómo es el clima en esas localidades con respecto a la localidad en la que usted reside (más frío, más caliente, más húmedo...). Finalmente, en la tercera columna indique cuál podría ser la explicación a estas diferencias en el clima entre localidades que se encuentran dentro de una misma faja latitudinal, la faja tropical.

Localidad	¿Cómo es el clima en esa localidad? (frío, caliente, húmedo, seco...)	Explique qué factores pueden estar determinando el clima en la localidad seleccionada (cercanía al mar, cercanía a nevados, altitud, influencia de corrientes marinas...).
-----------	---	--

Localidad que usted habita:

Localidad en otra región de Ecuador:

Localidad en otra región latitudinal: