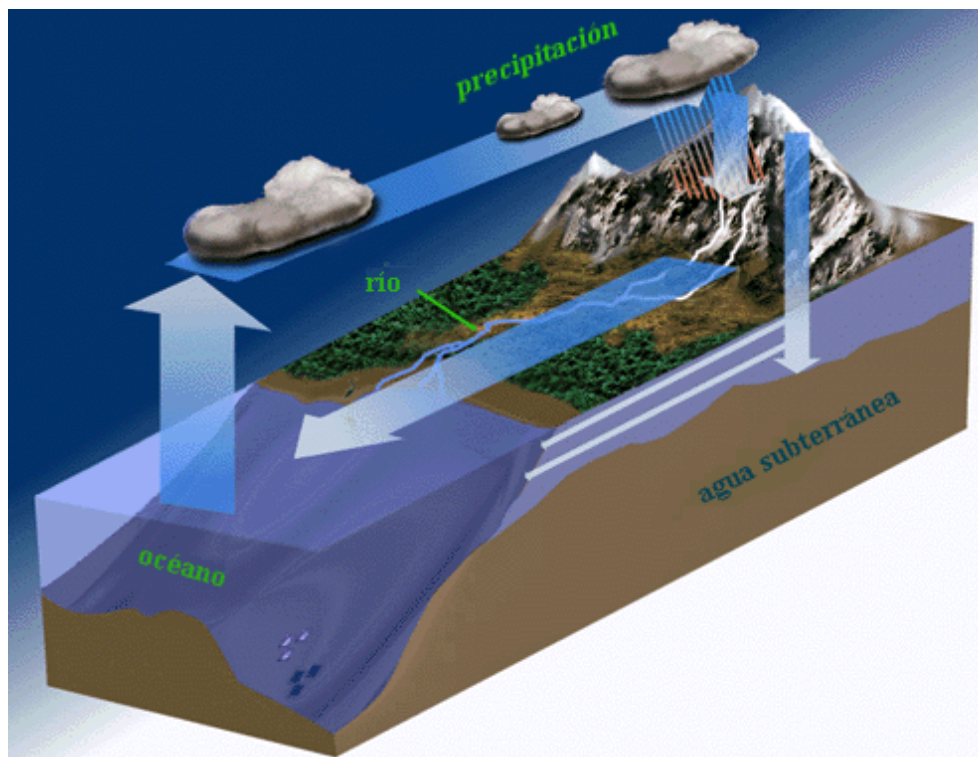


El Ciclo del Agua



El agua existe en la Tierra en tres estados: sólido (hielo, nieve), líquido y gas (vapor de agua). Océanos, ríos, nubes y lluvia están en constante cambio: el agua de la superficie se evapora, el agua de las nubes precipita, la lluvia se filtra por la tierra, etc. Sin embargo, la cantidad total de agua en el planeta no cambia. La circulación y conservación de agua en la Tierra se llama ciclo hidrológico, o ciclo del agua.

Cuando se formó, hace aproximadamente cuatro mil quinientos millones de años, la Tierra ya tenía en su interior vapor de agua. En un principio, era una enorme bola en constante fusión con cientos de volcanes activos en su superficie. El magma, cargado de gases con vapor de agua, emergió a la superficie gracias a las constantes erupciones. Luego la Tierra se enfrió, el vapor de agua se condensó y cayó nuevamente al suelo en forma de lluvia.

La hidrología es la ciencia que estudia la distribución del agua en la Tierra, sus reacciones físicas y químicas con otras sustancias existentes en la naturaleza, y su relación con la vida en el planeta. El movimiento continuo de agua entre la Tierra y la atmósfera se conoce como ciclo hidrológico. Se produce vapor de agua por evaporación en la superficie terrestre y en las masas de agua, y por transpiración de los seres vivos. Este vapor circula por la atmósfera y precipita en forma de lluvia o nieve.

Al llegar a la superficie terrestre, el agua sigue dos trayectorias. En cantidades determinadas por la intensidad de la lluvia, así como por la porosidad, permeabilidad, grosor y humedad previa del suelo, una parte del agua se vierte directamente en los riachuelos y arroyos, de donde pasa a los océanos y a las masas de agua continentales; el resto se infiltra en el suelo. Una parte del agua infiltrada constituye la humedad del suelo, y puede evaporarse directamente o penetrar en las raíces de las plantas para ser transpirada por las hojas. La porción de agua que supera las fuerzas de cohesión y adhesión del suelo, se filtra hacia abajo y se acumula en

la llamada zona de saturación para formar un depósito de agua subterránea, cuya superficie se conoce como nivel freático. En condiciones normales, el nivel freático crece de forma intermitente según se va rellenando o recargando, y luego declina como consecuencia del drenaje continuo en desagües naturales como son los manantiales.

Para explicarlo de una manera más específica; El ciclo hidrológico comienza con la evaporación del agua desde la superficie del océano. A medida que se eleva, el aire humedecido se enfría y el vapor se transforma en agua: es la condensación. Las gotas se juntan y forman una nube. Luego, caen por su propio peso: es la precipitación. Si en la atmósfera hace mucho frío, el agua cae como nieve o granizo. Si es más cálida, caerán gotas de lluvia.

Una parte del agua que llega a la tierra será aprovechada por los seres vivos; otra escurrirá por el terreno hasta llegar a un río, un lago o el océano. A este fenómeno se le conoce como escorrentía. Otro poco del agua se filtrará a través del suelo, formando capas de agua subterránea. Este proceso es la percolación. Más tarde o más temprano, toda esta agua volverá nuevamente a la atmósfera, debido principalmente a la evaporación.

Al evaporarse, el agua deja atrás todos los elementos que la contaminan o la hacen no apta para beber (sales minerales, químicos, desechos). Por eso el ciclo del agua nos entrega un elemento puro. Pero hay otro proceso que también purifica el agua, y es parte del ciclo: la transpiración de las plantas.

Las raíces de las plantas absorben el agua, la cual se desplaza hacia arriba a través de los tallos o troncos, movilizandole consigo a los elementos que necesita la planta para nutrirse. Al llegar a las hojas y flores, se evapora hacia el aire en forma de vapor de agua. Este fenómeno es la transpiración.

Ciclo del carbono

El carbono es un componente esencial de todos los seres vivos. Existe en su mayor parte como bióxido de carbono en la atmósfera, los océanos y los combustibles fósiles (carbón, petróleo y otros hidrocarburos). El bióxido de carbono en la atmósfera es absorbido por las plantas y convertido en azúcar y tejidos a través del proceso de fotosíntesis. Los animales ingieren las plantas, metabolizando el carbono y convirtiéndolo en tejidos y energía. Liberan el carbono a través de las heces fecales; cuando mueren, son desintegrados por otros organismos, los cuales a su vez liberan el carbono a la atmósfera y al suelo, iniciándose nuevamente el proceso.

Es el ciclo de utilización del carbono por el que la energía fluye a través del ecosistema terrestre. El ciclo básico comienza cuando las plantas, a través de la fotosíntesis, hacen uso del dióxido de carbono (CO₂) presente en la atmósfera o disuelto en el agua. Parte de este carbono pasa a formar parte de los tejidos vegetales en forma de hidratos de carbono, grasas y proteínas; el resto es devuelto a la atmósfera o al agua mediante la respiración. Así, el carbono pasa a los herbívoros que comen las plantas y de ese modo utilizan, reorganizan y degradan los compuestos de carbono. Gran parte de éste es liberado en forma de CO₂ por la respiración, como producto secundario del metabolismo, pero parte se almacena en los tejidos animales y pasa a los carnívoros, que se alimentan de los herbívoros. En última instancia, todos los compuestos del carbono se degradan por descomposición, y el carbono es liberado en forma de CO₂, que es utilizado de nuevo por las plantas.

Intercambios Aire-Agua

A escala global, el ciclo del carbono implica un intercambio de CO₂ entre dos grandes reservas: la atmósfera y las aguas del planeta. El CO₂ atmosférico pasa al agua por difusión a través de la interfase aire-agua. Si la concentración de CO₂ en el agua es inferior a la de la atmósfera, éste se difunde en la primera, pero si la concentración de CO₂ es mayor en el agua que en la atmósfera, la primera libera CO₂ en la segunda. En los ecosistemas acuáticos se producen intercambios adicionales. El exceso de carbono puede combinarse con el agua para formar carbonatos y bicarbonatos. Los carbonatos pueden precipitar y depositarse en los sedimentos del fondo. Parte del carbono se incorpora a la biomasa (materia viva) de la vegetación forestal y puede permanecer fuera de circulación durante cientos de años. La descomposición incompleta de la materia orgánica en áreas húmedas tiene como resultado la acumulación de turba. Durante el periodo carbonífero este tipo de acumulación dio lugar a grandes depósitos de combustibles fósiles: carbón, petróleo y gas.

Recursos Totales de Carbono

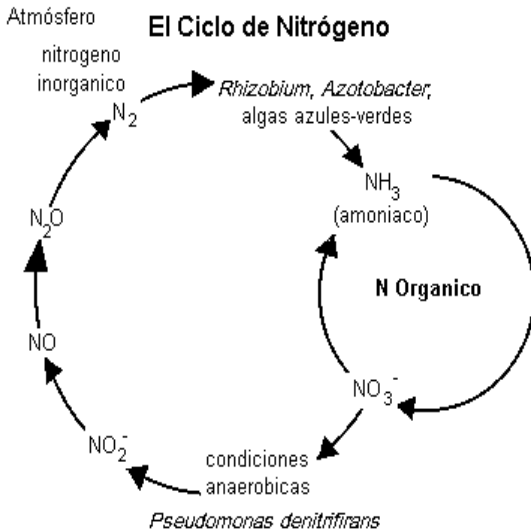
Los recursos totales de carbono, estimados en unas 49.000 gigatoneladas (1 gigatonelada es igual a 10⁹ toneladas), se distribuyen en formas orgánicas e inorgánicas. El carbón fósil representa un 22% del total. Los océanos contienen un 71% del carbono del planeta, fundamentalmente en forma de iones carbonato y bicarbonato. Un 3% adicional se encuentra en la materia orgánica muerta y el fitoplancton. Los ecosistemas terrestres, en los que los bosques constituyen la principal reserva, contienen cerca de un 3% del carbono total. El 1% restante se encuentra en la atmósfera, circulante, y es utilizado en la fotosíntesis.

Adiciones a la Atmósfera

Debido a la combustión de los combustibles fósiles, la destrucción de los bosques y otras prácticas similares, la cantidad de CO₂ atmosférico ha ido aumentando desde la Revolución Industrial. La concentración atmosférica ha aumentado de unas 260 a 300 partes por millón (ppm) estimadas en el periodo preindustrial, a más de 350 ppm en la actualidad. Este incremento representa sólo la mitad del dióxido de carbono que, se estima, se ha vertido a la atmósfera. El otro 50% probablemente haya sido absorbido y almacenado por los océanos. Aunque la vegetación del planeta puede absorber cantidades considerables de carbono, es también una fuente adicional de CO₂.

El CO₂ atmosférico actúa como un escudo sobre la Tierra. Es atravesado por las radiaciones de onda corta procedentes del espacio exterior, pero bloquea el escape de las radiaciones de onda larga. Dado que la contaminación atmosférica ha incrementado los niveles de CO₂ de la atmósfera, el escudo va engrosándose y retiene más calor, lo que hace que las temperaturas globales aumenten en un proceso conocido como efecto invernadero. Aunque el incremento aún no ha sido suficiente para destruir la variabilidad climática natural, el incremento previsto en la concentración de CO₂ atmosférico debido a la combustión de combustibles fósiles sugiere que las temperaturas globales podrían aumentar entre 2 y 6 °C a comienzos del siglo XXI. Este incremento sería suficientemente significativo para alterar el clima global y afectar al bienestar de la humanidad.

Ciclo del Nitrógeno



El nitrógeno se puede encontrar formando varias combinaciones químicas, además de como constituyente de moléculas orgánicas. Las que aquí nos interesan son: el amoniac (NH_3), el amonio (NH_4 , forma iónica de carácter básico), el nitrito (NO_2) y el nitrato (NO_3 , forma iónica de carácter ácido).

Estas combinaciones se encuentran disueltas en el agua de los acuarios; pueden ser empleadas por las plantas, a excepción del nitrito, para la síntesis de sus proteínas.

Todas estas formas se pueden inter convertir, el amonio y el amoniac lo pueden hacer espontáneamente; en los restantes casos se requiere la acción de organismos. Todos estos compuestos son tóxicos. Los máximos niveles admisibles en un acuario dependen del tipo de peces pero, en general, son:

El amonio tiene una baja toxicidad, semejante a la del nitrato. El amoniac produce lesiones en las branquias y el intestino, causando hemorragias y atacando al sistema nervioso. El nitrito se une a los pigmentos respiratorios: el pez muere por asfixia. Unos niveles de nitrito inferiores a los que causan la muerte inmediata producen la muerte al cabo de unos días pero con unos síntomas confusos y difíciles de interpretar.

El pH influye de una manera importantísima en la proporción relativa de amoniac/amonio existente en el acuario. Con un pH ácido o neutro no hay prácticamente amoniac, con pH básicos o alcalinos todo el amonio se transforma espontáneamente en amoniac. Al ser este 500 veces mas tóxico todos los peces empiezan a boquear inmediatamente. Los cambios de PH son fácilmente provocados por el cambio de agua.

La mineralización, nitrificación y desnitrificación

La mineralización es la transformación de las materia orgánica (proteína, azúcares, etc.) en compuestos sencillos como el amoniac, anhídrido carbónico, fosfato, etc. Este proceso es realizado por las bacterias mineralizantes. Estas bacterias son capaces de degradar la materia orgánica en un medio oxigenado. Como desechos producen principalmente CO_2 y el nitrógeno en forma de amoniac o amonio.

Existen dos géneros de bacterias nitrificantes, Nitrosomonas y Nitrobacter. Las bacterias nitrosoma transforman el amoniac/amonio en nitritos. Para su desarrollo esta bacteria necesita CO_2 , oxígeno, amoniac y elementos traza (sales minerales). La materia orgánica es tóxica para las Nitrosomonas.

Los nitritos son transformados en nitratos mediante la acción de las bacterias Nitrobacter. Estas bacterias

También necesitan CO₂, oxígeno, nitritos y elementos traza (sales minerales). El amoníaco bloquea su metabolismo.

Finalmente el nitrato es consumido por las plantas y transformado en compuestos orgánicos (los tejidos de las plantas). Las bacterias desnitrificantes, que viven en ausencia de oxígeno, son capaces de transformar el nitrato en nitrógeno, el cual se marcha a la atmósfera.

Es importante señalar que las bacterias que degradan los restos orgánicos y las que llevan a cabo la nitrificación son completamente distintas y las desnitrificantes tienen necesidades diferentes; para las primeras es fundamental la materia orgánica y para las segundas ésta constituye un veneno; las dos primeras todas requieren oxígeno pero las primeras son mucho más capaces de absorberlo que las nitrificantes, por lo que si la concentración de oxígeno es baja *Nitrosomonas* y, sobretudo, *Nitrobacter* no pueden sobrevivir. En cambio las desnitrificantes mueren rápidamente en presencia de oxígeno.

Los pasos principales o etapas en el ciclo del nitrógeno son:

– **Fijación:** Puede ser atmosférica, realizada por la influencia de los rayos o descargas eléctricas que transforman el Nucleo atmosférico inerte en formas del tipo de nitritos y/o nitratos. La fijación también puede ser industrial, ya que a través del proceso de Haber–Bosch el N de la atmósfera puede transformarse en amoníaco. El ultimo tipo de fijación es la biológica. En cuanto a esta etapa, los organismos involucrados son sólo del reino monera (carecen de núcleo celular), bacteria y actinomicetos. Entre las bacteria pueden existir de naturaleza simbiótica o de vida libre, aerobias y anaerobias. Para las simbióticas aerobias tenemos el caso de las del género *Rhizobium*, las cuales se asocian normalmente con muchos tipos de leguminosas (haba, chícharo, frijol, etc.).

– **Amonificación:** En esta etapa el nitrógeno orgánico se convierte en amoníaco. Entre las bacteria que participan en esta fase están: *Bacillus*, *Clostridium*, *Serratia*, entre otras; así como los hongos *Alternaria*, *Aspergillus*, *Mucor*, *Penicillium*, etcétera.

– **Nitrificación:** Es la conversión del amoníaco en nitritos y nitratos. En la conversión a nitritos participan las bacteria nitrificantes y en la segunda las nitrificantes. Las que participan en la primera etapa son *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus* y *Nitrosospira*; en la segunda fase hallamos a *Nitrobacter*.

– **Desnitrificación:** Es la fase que reintegra el nitrógeno a la atmósfera en forma de N₂, gaseoso u óxidos de nitrógeno. Un tipo de bacteria asociado es el *Thiobacillus* desnitrificans.

Ciclo del Oxígeno



En cuanto al caso particular del ciclo del oxígeno, el origen de este elemento libre se remonta a 3200 millones de años, cuando se inició la fotosíntesis en el planeta.

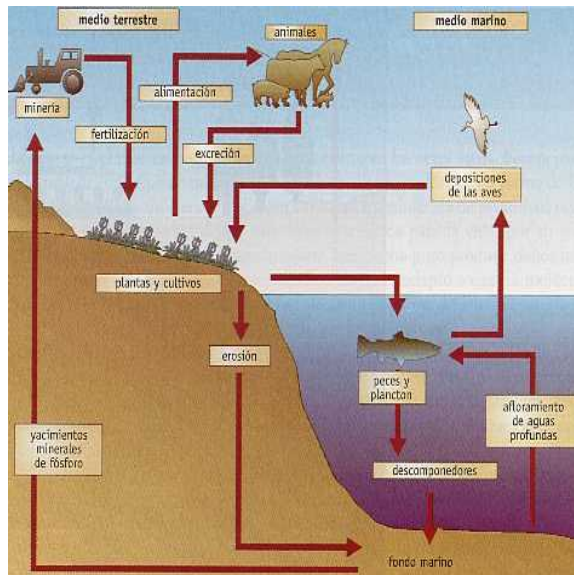
Recuerde que en la fotosíntesis se rompe de manera natural, y debido a la acción de la energía solar, la molécula de agua en sus dos componentes: el hidrógeno, necesario para la posterior síntesis de carbohidratos, y el oxígeno, que escapa hacia la atmósfera.

Recuerde también que el desprendimiento de este oxígeno primigenio contribuyó a la constitución de ozono (O_3) de la capa atmosférica, gas que impide, en las partes superiores de la atmósfera, el paso de las radiaciones UV (ultravioletas) del Sol; esta pantalla protectora posibilitó la salida y evolución gradual de los organismos del mar, sitio donde se desarrollaron inicialmente porque no podían abandonarlo mientras no existiese una protección contra la luz ultravioleta. Los estudios evolutivos señalan la presencia de las plantas vasculares terrestres hasta muchos millones de años después; las investigaciones indican que esto ocurrió hace apenas 400 millones de años.

El oxígeno en la naturaleza es requerido para activar cualquier combustión u oxidación; los procesos vivientes con los que se relaciona fundamentalmente son la fotosíntesis y la respiración, ya que en la primera se produce oxígeno, mientras que todos los organismos que respiran por métodos aeróbicos, requieren aire para desarrollar este proceso y especialmente consumen oxígeno.

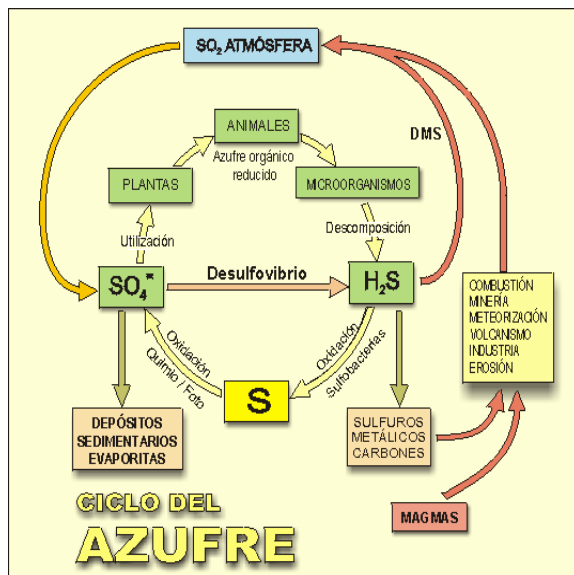
Como hoy en día esta de moda hablar del ozono podríamos preguntarnos: Acaso el ozono es el oxígeno triatómico (O_3) que se encuentra en las capas más superiores de la atmósfera? La respuesta sería sí, allí está el ozono cuyo origen biológico se remonta a un periodo mayor de 3000 millones de años y fue contemporáneo de las primeras bacterias fotosintéticas; pero el ozono de que se habla en nuestros días es otro y se le considera contaminante y tiene un origen diferente.

Ciclo del Fósforo



El fósforo es otro elemento que es usado por las plantas en los océanos y en la tierra, y esa disponibilidad de fósforo en los suelos y los océanos es un regulador de la actividad biológica. Hay muchas preguntas sin responder en relación al ciclo del fósforo. El mecanismo que controla la disponibilidad de fósforo en la tierra y como responde a procesos como la deposición de ácidos, fuego, y deforestación, no son bien conocidos. Por el uso de pesticidas en la tierra, podemos estar produciendo desbalances en la disponibilidad de otros nutrientes que las plantas necesitan. Cual es el flujo de fósforo marino en los océanos? Como ha cambiado en el pasado y como cambia hoy? Cuales son las consecuencias con estos cambios ? / Muchos temas se mantienen sin respuesta.

Ciclo del Azufre



El ciclo del azufre en la biosfera. J. D. Butler, Air Pollution Chemistry, 1979 .

El ciclo del azufre se puede dividir, en el ciclo en el agua y el ciclo en la tierra. En comparación con el ciclo del nitrógeno, inmediatamente notamos que el ciclo del azufre no tiene conexión con la atmósfera, por eso no hay especies de azufre con vida larga. El azufre es un problema, por supuesto en la atmósfera, como un contaminante aéreo, por el cual podemos volver en la unidad de aprendizaje posterior.

La próxima figura muestra una simulación de concentración de sulfato en la atmósfera baja (SO_4 a un nivel de 900 hectopascales, que corresponde a cerca de un kilómetro arriba de la superficie terrestre) . Los valores gratificados son relaciones sin dimensiones de la concentración antropogenica por el azufre natural dividido por la concentración basada en emisiones anuales. Las áreas industriales y altamente pobladas en la parte este de U.S. y el este de Europa tienen elevadas concentraciones. Las concentraciones sobre Asia se incrementan, particularmente en el área industrial del sudeste de China. Por supuesto, como la industrialización en China se incrementa rápidamente, probablemente esto es un problema en aumento en ese país.

Un resultado reciente, y otro que ha puesto a los ambientalistas en un dilema desconcertante, es que siempre es un efecto secundario del dióxido de azufre en la atmósfera terrestre. Aunque no es un gas invernadero, hace contribuciones al balance de la radiación en la tierra. Ante la presencia de nubes, el SO_2 atmosférico es disuelto en las gotas de agua y forma ácido sulfúrico acuoso, H_2SO_4 . Estas nubes observadas desde el espacio se aprecian mas brillantes que las nubes naturales, lo que hace pensar que ellas están reflejando mayor radiación solar que las naturales. Este proceso es llamado brillantes nubosa y reduce la cantidad de energía solar que penetra a la tierra/ atmósfera/ sistema oceánico, contribuyendo así al enfriamiento del planeta. El resultado neto de la combustión completa de fósiles de azufre feroz (principalmente carbón) es la inducida por emisión de CO_2 al calentamiento global y la emitida por SO_2 al enfriamiento global. Los ambientalistas han luchado por años para reducir la emisión de SO_2 pero el resultado de estos esfuerzos parecen ser que el calentamiento global será exacerbado.

Otra posible relación del azufre con el cambio global tiene que ver con la función del dimetil sulfato (DMS) en la formación de nubes sobre áreas oceánicas. El DMS es producido de forma natural en áreas oceánicas por actividad biológica. Los estudios han revelado que el DMS puede promover la producción de núcleos por (de) condensación de nubes, lo cual favorece a las partículas para el crecimiento de nubes con gotas. Por lo tanto la abundancia de plantas marinas puede producir suficientes cantidades de DMS y aumentar la formación de nubes locales y posibilita el incremento de la precipitación. Esto se convierte en el eslabón directo entre la biosfera y la meteorología local. También abre la posibilidad para que pueda haber un eslabón entre los cambios en el ozono estratosférico y la meteorología local, por lo tanto, al incrementarse los niveles de radiación ultravioleta sobre el océano, se puede suspender la actividad biológica en ellos, lo que en su momento permitiría reducir las emisiones de DMS, y a su vez reducir la nubosidad y precipitación en áreas oceánicas. No conocemos suficiente acerca de la magnitud de ese efecto, para poder evaluar su importancia en relación con otros procesos de cambio global.