

El balance anual global del carbono

por Josep (Pep) Canadell¹ y David Carlson²

Cada año desde 2005, un colectivo de investigadores del Proyecto Carbono Global produce y difunde un balance global del carbono que cuantifica las emisiones de CO₂ del año anterior y luego asigna ese carbono a la atmósfera, el océano o la tierra. Este cuidadoso recuento de la perturbación humana del ciclo natural del carbono, acompañado de la cuantificación de las incertidumbres en cada término fuente y sumidero, permite a la comunidad científica entender y vigilar los principales componentes y los procesos que contiene el ciclo global del carbono.

El balance anual del carbono también proporciona un recurso muy valioso dentro de un marco de política climática, proporcionando un registro definitivo de las tendencias recientes, así como actualizaciones cuantitativas de las emisiones permisibles para unos objetivos dados de estabilización climática. Con una justificación sólida, se pueden describir los balances anuales del carbono como productos de alta calidad científica con fuerte relevancia política.

¿Un balance para el carbono?

Para realizar el seguimiento de un balance financiero, se deben conocer los saldos entre ingresos y gastos. Del mismo modo para el carbono, con el CO₂ de la atmósfera como la "cuenta" relevante, se cuantifican las entradas (fuentes) y las salidas (sumideros). Un balance global del carbono determina la entrada de CO₂ en la atmósfera procedente de las emisiones de las actividades humanas, compensada por su salida (almacenamiento) a los reservorios de carbono en la tierra o en el océano. Podemos escribir el balance del carbono en una forma relativamente simple:

Fuentes = cantidad en la atmósfera + cantidades en los sumideros; donde los sumideros representan cantidades retiradas de la atmósfera y aportadas al océano o a la tierra.

¹ Proyecto Carbono Global, Centro principal de estudio de los océanos y la atmósfera de la Organización de Investigaciones Científicas e Industriales de la Commonwealth (CSIRO), Australia

² Director del Programa Mundial de Investigaciones Climáticas, OMM

Para una cantidad dada de emisiones, cuanto menos carbono vaya a la tierra o al océano más quedará en la atmósfera.

Más específicamente:

Emisiones procedentes de la combustión de combustibles fósiles + emisiones derivadas del cambio de uso de la tierra = aumento de la concentración en la atmósfera + cantidad que va (química y biológicamente) al océano + cantidad que va a la vegetación terrestre y a los suelos.

Para el año contable más reciente, 2015, el balance anual del carbono³ especifica (en unidades de gigatoneladas de carbono por año, GtC año⁻¹):

9,9 ± 0,5	1,3 ± 0,5	=	6,2 ± 0,2	3,0 ± 0,5	2,0 ± 0,9
Emisiones de combustibles fósiles (incluye producción de cemento)	Cambio en el uso de la tierra, principalmente deforestación		Aumento en la concentración atmosférica (6,2 GtC = 2,9 ppm)	Absorción por el océano	Absorción por la tierra

Preparando el balance: emisiones

El equipo del balance del carbono cuantifica las emisiones provenientes de combustibles fósiles y de la industria basándose en las estadísticas de energía y en datos de producción fiables. En su mayor parte, estos datos a su vez se basan en las emisiones nacionales estimadas por los propios países. El equipo del balance del carbono supone que las emisiones nacionales comunicadas a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) poseen la más alta exactitud debido a que: 1) los expertos nacionales tienen acceso a la información específica del país y 2) las estimaciones de la emisión nacional pasan auditorías periódicas a través de una metodología internacional supervisada por la CMNUCC. También utilizan un conjunto de datos de emisiones mundiales y nacionales –extraídos principalmente de datos de energía proporcionados por la División de Estadística de las Naciones Unidas y recopilados por el Centro de Análisis de la Información sobre el Dióxido de Carbono (CDIAC)– que extiende hacia atrás en el tiempo

³ Le Quéré, C. y otros, 2016: doi:10.5194/essd-8-605-2016

hasta el año 1751 una serie de datos consistentes bien documentados de emisiones procedentes de combustibles fósiles, de la producción de cemento y de la quema de gas. Para los dos años inmediatamente anteriores a cada cálculo del balance anual del carbono, antes de que hayan salido a la luz los datos de la CMNUCC y de las Naciones Unidas, el equipo utiliza las revisiones anuales de energía recopiladas y publicadas por la compañía British Petroleum.

En general, las emisiones globales totales no son exactamente iguales a la suma de las emisiones nacionales, en gran parte debido a las emisiones de la navegación marítima y la aviación internacionales que se producen fuera de los territorios domésticos. Otras incertidumbres en las emisiones surgen de las incertidumbres en las cantidades de combustible consumido, en los contenidos carbónico y calorífico de los combustibles y en las eficiencias de las combustiones. Por medio de una secuencia completa de análisis y reanálisis, el equipo ha reducido el error total de estas estimaciones de emisiones a un +5%; en el caso aquí citado para 2015: $9,9 \pm 0,5 \text{ GtC año}^{-1}$.

La incertidumbre como porcentaje de emisiones probablemente aumente con el tiempo a medida que crezca el número de países que informen, mientras la precisión estadística nacional interna disminuya. Cada balance anual del carbono incluye una comparación de datos de emisión basados en la producción y en el consumo, que reconoce las diferencias entre los inventarios territoriales de emisiones basados en la producción y los basados en el consumo que distribuyen las emisiones globales en base a los productos consumidos dentro de un país determinado; también es un reconocimiento de que los datos de emisiones basados en el consumo podrían permitir el diseño de políticas climáticas más eficaces y eficientes.

Las emisiones adicionales provienen de cambios en el uso de la tierra promovidos por el ser humano, incluyendo la deforestación, la forestación, la tala (degradación de los bosques y actividad de cosecha), la agricultura nómada (tala de bosques para agricultura y posterior abandono) y la recuperación de los bosques tras la tala para madera o el abandono de la agricultura. El equipo del balance del carbono calcula las emisiones del cambio de uso de la tierra debido al ser humano como la suma de todas las actividades antrópicas identificadas. Algunas de estas actividades llevan CO_2 a la atmósfera, mientras que otras lo llevan a los sumideros de CO_2 . Para complementar un análisis contable basado en datos del cambio neto de superficie forestal y de biomasa de las evaluaciones de los recursos forestales de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (solamente disponibles en intervalos de cinco años), se incorpora la variabilidad interanual de deforestación y de degradación estimada a partir de imágenes

de satélite de la actividad de los incendios forestales en las áreas tropicales.

El equipo complementa más aún estos datos de observación con las emisiones de CO_2 por cambio de uso de la tierra estimadas usando un conjunto de simulaciones del modelo dinámico de vegetación mundial. Las incertidumbres en las emisiones por el uso de la tierra provienen de las diferencias entre la contabilidad a partir de imágenes de satélite y según los métodos de modelización, y de las incertidumbres en los conjuntos de datos relativos al cambio de cubierta terrestre subyacente. En conjunto, el equipo del balance del carbono estima una incertidumbre de $+0,5 \text{ GtC año}^{-1}$ para estos términos de uso de la tierra; en el ejemplo de 2015: $1,3 \pm 0,5 \text{ GtC año}^{-1}$.

Preparando el balance: concentraciones atmosféricas

Para cuantificar las tasas de crecimiento anual de la concentración atmosférica de CO_2 , el equipo se basa en mediciones directas. Utiliza las tasas de crecimiento global de CO_2 recopiladas por el Laboratorio de Investigación del Sistema Terrestre de la Administración Nacional del Océano y de la Atmósfera (NOAA) de los Estados Unidos de América de un promedio de emplazamientos en la capa límite marina con entornos de aire bien mezclado. Los incrementos anuales se calculan haciendo la diferencia entre el promedio del período de diciembre a enero más reciente, corregido por el ciclo estacional promedio, y el mismo promedio del año anterior.

La cuidadosa intercalibración de las mediciones y el procesamiento de los datos de las mediciones directas realizadas por múltiples y consistentes instrumentos y estaciones distribuidos por todo el mundo, unido a una rigurosa revisión científica de las tecnologías de medición y de los datos anuales, permiten al equipo asignar a este término del balance del carbono una incertidumbre relativamente baja: $+0,2 \text{ GtC año}^{-1}$ para 2015. Utilizando datos de CO_2 de núcleos de hielo para establecer una concentración preindustrial de referencia ($277 \pm 3 \text{ ppm}$), los autores de cada balance anual del carbono pueden hacer un seguimiento y actualizar el carbono total acumulado en la atmósfera desde 1750.

Preparando el balance: sumideros oceánico y terrestre

Para cuantificar la absorción de CO_2 por el océano, el equipo utiliza una combinación de observaciones desde la década de 1990 combinadas con modelos de biogeoquímica oceánica que producen estimaciones de tendencia y variabilidad para el período de tiempo 1959-2015. Se validan sus

Gracias al trabajo dedicado de este grupo, las comunidades investigadora y política conocen el balance del carbono presente y pasado, dentro de las incertidumbres señaladas.

estimaciones de absorción del océano con dos estimaciones basadas en la observación disponibles para las últimas décadas. Combinando las incertidumbres de los datos con las incertidumbres de los modelos, se obtiene una estimación de la incertidumbre total de $+0,5 \text{ GtC año}^{-1}$ para el término del sumidero oceánico.

En tierra, las combinaciones variables por regiones de los efectos fertilizantes del aumento del CO_2 atmosférico sobre el crecimiento de las plantas y la deposición de nitrógeno, y los efectos climáticos (como el alargamiento del período de crecimiento en las zonas templadas septentrionales y en las áreas boreales), influyen en la absorción de carbono. La cuantificación de la absorción global anual por la vegetación terrestre y los suelos resulta, por tanto, la tarea más difícil en la realización del balance anual del carbono.

Con cuatro de los cinco términos –las emisiones de combustibles fósiles, las fuentes de uso del suelo, la concentración atmosférica y la absorción del océano– y sus incertidumbres conocidas, los autores del balance anual primero calculan la absorción terrestre como el residuo de los otros cuatro términos y luego comparan ese residuo con la información producida por las simulaciones del modelo dinámico de vegetación mundial. Por lo tanto, por diseño, el proceso del balance completo asigna la mayor parte de las incertidumbres del método a procesos de tierra poco conocidos o mal modelados. Por ejemplo, en 2015 el sumidero de tierra tiene la mayor incertidumbre de los cinco términos: $+0,9 \text{ GtC año}^{-1}$.

¿Cómo han cambiado los términos del balance con el tiempo?

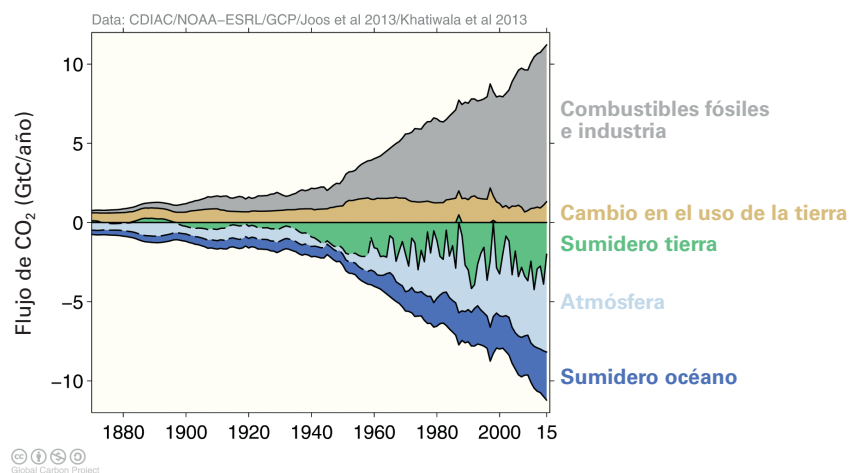
Mediante la identificación de fuentes de datos fiables para cuantificar cada término del actual balance del carbono, el equipo también reúne los conjuntos de datos más adecuados para análisis históricos. El seguimiento de los términos del balance a lo largo del tiempo permite a los usuarios comprender las tendencias recientes y a largo plazo.

La figura de la página siguiente, extraída del documento del balance del carbono de 2015, muestra la historia de los cinco términos de balance del carbono para aproximadamente los últimos 140 años. En el lado de la entrada (la mitad superior del gráfico), se ve el claro aumento de las emisiones de combustibles fósiles por encima de una contribución relativamente estacionaria del cambio de uso de la tierra. La mitad inferior de la gráfica muestra que la suma de carbono acumulado en la tierra, la atmósfera y el océano equilibra las entradas. Obsérvese también la gran variabilidad de los términos tierra y atmósfera, con los términos atmosféricos bastante bien delimitados por las mediciones.

Gracias al trabajo dedicado de este grupo, las comunidades investigadora y política conocen el balance del carbono presente y pasado, dentro de las incertidumbres señaladas.

La comunidad y su impacto

El Proyecto Carbono Global establece y mantiene conexiones entre las comunidades climática, ecológica y económica, sirviendo a la comunidad investigadora como punto de coordinación y encuentro necesario y eficaz para la ciencia y la información sobre el ciclo global del carbono. El balance anual del carbono para 2015 involucró a 68 coautores de los campos de la bioquímica, la economía, la química atmosférica, la



Historia de los cinco términos del balance del carbono para aproximadamente los últimos 140 años.

geografía y la oceanografía, e incorporó información de 11 categorías de fuentes de datos de observación y de modelo, varias de ellas con múltiples implementaciones o versiones. También generaron el primer balance global del metano.

Todos los productos del Proyecto Carbono Global demuestran ser acertadas combinaciones de observaciones con modelos. El citado Proyecto depende de redes externas de medición, como la red de observación de gases de efecto invernadero, coordinada y mantenida por el Programa de la Vigilancia de la Atmósfera Global de la OMM. Su funcionamiento también requiere un profundo compromiso positivo con la comunidad de la climatología física del Programa Mundial de Investigaciones Climáticas (PMIC). El Gran reto de la retroalimentación del carbono del PMIC aborda cuestiones urgentes sobre la capacidad y la durabilidad de los sumideros terrestre y oceánico del carbono con los cambios climáticos.

Solo se puede admirar el nivel de compromiso individual y la coordinación internacional necesarios para cuantificar, en bases anuales, este importante componente del sistema Tierra. Cuando los seres humanos finalmente ralenticen o paren las emisiones de carbono, los investigadores y las instancias normativas mirarán al Proyecto Carbono Global y a sus detallados y creíbles balances anuales para obtener pruebas claras y fiables de cuándo y cómo tales reducciones se manifiestan en el ciclo del carbono y en el sistema climático.

Referencias

Le Quéré, C., Andrew, R. M., Canadell, J. G., Sitch, S., Korsbakken, J. I., Peters, G. P., Manning, A. C., Boden, T. A., Tans, P. P., Houghton, R. A., Keeling, R. F., Alin, S., Andrews, O. D., Anthoni,

P., Barbero, L., Bopp, L., Chevallier, F., Chini, L. P., Ciais, P., Currie, K., Delire, C., Doney, S. C., Friedlingstein, P., Gkritzalis, T., Harris, I., Hauck, J., Haverd, V., Hoppema, M., Klein Goldewijk, K., Jain, A. K., Kato, E., Körtzinger, A., Landschützer, P., Lefèvre, N., Lenton, A., Lienert, S., Lombardozzi, D., Melton, J. R., Metz, N., Millero, F., Monteiro, P. M. S., Munro, D. R., Nabel, J. E. M. S., Nakaoka, S.-I., O'Brien, K., Olsen, A., Omar, A. M., Ono, T., Pierrot, D., Poulter, B., Rödenbeck, C., Salisbury, J., Schuster, U., Schwinger, J., Séférian, R., Skjelvan, I., Stocker, B. D., Sutton, A. J., Takahashi, T., Tian, H., Tilbrook, B., van der Laan-Luijckx, I. T., van der Werf, G. R., Viovy, N., Walker, A. P., Wiltshire, A. J. y Zaehle, S., 2016: Global Carbon Budget 2016, *Earth Syst. Sci. Data*, 8, 605-649, doi:10.5194/essd-8-605-2016.

Saunois, M., Bousquet, P., Poulter, B., Pregon, A., Ciais, P., Canadell, J. G., Dlugokencky, E. J., Etiope, G., Bastviken, D., Houweling, S., Janssens-Maenhout, G., Tubiello, F. N., Castaldi, S., Jackson, R. B., Alexe, M., Arora, V. K., Beerling, D. J., Bergamaschi, P., Blake, D. R., Brailsford, G., Brovkin, V., Bruhwiler, L., Crevoisier, C., Crill, P., Covey, K., Curry, C., Frankenberg, C., Gedney, N., Höglund-Isaksson, L., Ishizawa, M., Ito, A., Joos, F., Kim, H.-S., Kleinen, T., Krummel, P., Lamarque, J.-F., Langenfelds, R., Locatelli, R., Machida, T., Maksyutov, S., McDonald, K. C., Marshall, J., Melton, J. R., Morino, I., Naik, V., O'Doherty, S., Parmentier, F.-J. W., Patra, P. K., Peng, C., Peng, S., Peters, G. P., Pison, I., Prigent, C., Prinn, R., Ramonet, M., Riley, W. J., Saito, M., Santini, M., Schroeder, R., Simpson, I. J., Spahni, R., Steele, P., Takizawa, A., Thornton, B. F., Tian, H., Tohjima, Y., Viovy, N., Voulgarakis, A., van Weele, M., van der Werf, G. R., Weiss, R., Wiedinmyer, C., Wilton, D. J., Wiltshire, A., Worthy, D., Wunch, D., Xu, X., Yoshida, Y., Zhang, B., Zhang, Z. y Zhu, Q., 2016: The global methane budget 2000-2012, *Earth Syst. Sci. Data*, 8, 697-751, doi:10.5194/essd-8-697-2016.