

Emisiones de dióxido de carbono equivalente, dioxinas y carbono negro en la región occidental de Cuba provocada por incendios forestales



Emissions of equivalent carbon dioxide, dioxins and black carbon in the western region of Cuba caused by forest fires

<http://opn.to/a/ZGoVF>

Ricardo Manso-Jiménez ^{1*}, Ernesto Carrillo-Vital ^{1*}

¹Instituto de Meteorología, Centro de Contaminación y Química Atmosférica, La Habana, Cuba,

RESUMEN: La contaminación atmosférica es un problema creciente para el ambiente y la salud a nivel global. La quema de vegetación introduce cambios en la composición normal de la atmósfera, por lo que se hace necesario cuantificar las emisiones debidas a estas. Las emisiones de los fuegos a cielo abierto o descontroladas son reconocidas como una importante perturbación de los ciclos biogeoquímicos. Una metodología aplicada en estos casos junto con las mediciones y modelaciones son: los inventarios de emisiones atmosféricas, los cuales constituyen, un conjunto de datos que caracterizan las emisiones de contaminantes atmosféricos, de acuerdo con el tipo de fuente y el tipo y cantidad de contaminantes emitidos, en un área geográfica y en un intervalo de tiempo determinados. Los datos de hectáreas quemadas provienen de los anuarios de la Oficina Nacional de Estadísticas e Información de las provincias occidentales de Cuba. Se aplican las recomendaciones indicadas para los Inventarios de Emisiones y Remociones de Gases de Efecto Invernadero en las directrices IPCC 2006, estimándose el dióxido de carbono equivalente CO₂ eq. Para el cálculo de dioxinas y furanos se aplica la metodología del PNUMA, que es una de las sustancias tóxicas más estudiadas y en el caso del carbono negro se usan las Directrices de América del Norte. Directrices para la estimación de carbono negro de América del Norte: CCA (2015).

Palabras clave: calidad del aire, gases de efecto invernadero, dioxinas, carbono negro, cambio climático.

ABSTRACT : The burning of vegetation introduces changes in the normal composition of the atmosphere, so it is necessary to quantify the emissions due to these. Emissions from open or uncontrolled fires are recognized as a major disruption of biogeochemical cycles, especially greenhouse gas emissions, mainly carbon dioxide and methane that affect the climate. Also, compounds harmful to health and the environment are emitted such as mercury, dioxins, furans and carbon black. The data of burned hectares come from the yearbooks of the National Bureau of Statistics and Information of the western provinces of Cuba, which are considered from the Strait of Yucatan to the Strait of Florida. The recommendations in the Revised Guidelines of the 2006 Intergovernmental Panel on Climate Change considered for equivalent carbon dioxide. For the calculation of dioxins and furans, the UNEP methodology is applied, and in the case of carbon black the North American Guidelines are used.

Key words: air quality, greenhouses gas, dioxins, black carbon, climate change.

*Autores para correspondencia: Ricardo Manso-Jiménez y Ernesto Carrillo-Vital. E-mail: ricardo.manso@insmet.cu, ernesto.carrillo@insmet.cu

Recibido: 18/07/2018

Aceptado: 24/08/2018

INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales constituyen uno de los problemas ambientales más importantes de nuestro país. El incendio forestal provoca impactos en la estabilidad de los ecosistemas, la biodiversidad y la emisión de gases tóxicos, de efecto invernadero, dioxinas y furanos, partículas de varias índoles, incluyendo el carbono negro, más conocido por su término en inglés “blackcarbon”, con impacto en los cambios climáticos, la salud, el medio ambiente y la economía. Dada la importancia de evaluar y controlar la composición química y contaminación de la atmósfera, producto de la combustión de la vegetación, las acciones deben estar dirigidas a asegurar no sobrepasar los niveles de sustancias extrañas en esta, así como reducir y controlar emisiones de contaminantes. La biomasa como combustible es mucho más barata que el combustible de origen fósil. Las dioxinas y furanos se forman como productos secundarios no deseados, en procesos de combustión asociados a una gran variedad de actividades y/o procesos productivos.

El objetivo principal del trabajo es evaluar las emisiones de gases de efecto invernadero, resumidas en el dióxido de carbono equivalente, por su impacto en el clima, el carbono negro por sus efectos tanto en el clima como en la salud y las dioxinas y furanos por su impacto en la salud. Se selecciono la región occidental como un inicio de evaluar a una escala apropiada y por sus posibles impactos en la población, turismo, agricultura y pesca en el golfo de México.

La quema de biomasa, tanto por quema controlada o accidental, se han convertido en foco de atención de la comunidad científica. Las emisiones de los fuegos de vegetación son reconocidas como una importante perturbación de los ciclos biogeoquímicos, en especial el ciclo del carbono, así también emiten y reemiten compuestos dañinos a la salud como el mercurio y dioxinas y furanos. Los fuegos forestales al liberar importantes cantidades de CO₂, conjuntamente con otros tipos de gases y partículas, introducen cambios en la composición química normal de la atmósfera.

La [NASA \(2017\)](#) han confirmado que 2016 ha sido el año más caluroso desde 1880, ósea del

año donde se empiezan a tener registros de las variables climatológicas de manera sistemática. El año pasado la temperatura global se situó 1,1 grados centígrados por encima de la que había en la era preindustrial. 2016, además, fue 0,07 grados más caliente que 2015, cuyas altas temperaturas ya fueron un motivo de alarma mundial.

A la hora de abordar posibles medidas de mitigación del cambio climático conviene tener en cuenta los Contaminantes Climáticos de Vida Corta (CCVC), como el “Black Carbon”, que causan serios daños en la salud humana.

El principal impacto negativo del Black Carbon sobre el medio ambiente reside en su alta contribución al cambio climático, ya que genera efectos radiactivos: sus propiedades absorbentes de luz hacen que convierta la energía de la luz en calor y caliente el aire que le rodea ([US EPA, 2012](#)).

El carbono negro es un componente del PM 2.5 capaz de retener la luz y de transformar esa luz en calor. Con un elevado potencial de calentamiento climático, el carbono negro sólo se mantiene suspendido en la atmósfera por días a semanas antes de ser lavado por las lluvias. V. [Ramanathan et al \(2008\)](#).

En términos generales, el carbono negro proviene de la combustión de:

- Combustibles fósiles en el transporte;
- Biocombustibles sólidos para cocina y calefacción residencial;
- Biomasa en quemas agrícolas controladas e incendios forestales.

En Latinoamérica, la fuente más significativa de carbono negro son las quemas abiertas con un 70%, seguida por la quema de combustibles fósiles en el sector de transporte terrestre con un 14%.

El carbono negro se mantiene en la atmósfera entre varios días y semanas, mientras que el CO₂ tiene una vida atmosférica de más de 100 años. Dada la vida relativamente corta del carbono negro, la reducción de sus emisiones reduciría el calentamiento en algunas semanas.

Según [Fanner et al \(2007\)](#), “la presencia de carbono negro encima de superficies de alto reflejo, como ser la nieve y el hielo, o nubes,

puede causar una presión radioactiva positiva considerable". También se observa que emisiones de la quema de biomasa, que normalmente tienen una presión negativa, tienen una presión positiva encima de campos de nieve en áreas como ser el Himalaya. El carbono negro contribuye de manera considerable a que se derrita el hielo del Ártico.

Emisiones de dioxinas y furanos:

Se considera que las dioxinas, incluso en muy pequeñas cantidades, constituyen un problema para la salud y el medio ambiente, ya que:

- son persistentes y permanecen en el medio ambiente durante largos periodos, antes de degradarse;
- son acumulables y se almacenan en el tejido graso de animales y humanos, y
- pueden viajar grandes distancias en la atmósfera, de modo que en algunos casos las dioxinas generadas en una zona terminan en una región muy distante.

Las dioxinas y furanos (las dibenzo-p-dioxinas policloradas (PCDD) y los dibenzofuranos policlorados (PCDF)) son términos generales utilizados para referirse a 75 posibles congéneres de dioxinas y a 135 de furanos. Las dioxinas y furanos se forman como productos secundarios no deseados, en procesos de combustión asociados a una gran variedad de actividades y/o procesos productivos. Estos productos pueden ser detectados en cantidades de trazas en la atmósfera y en el ecosistema global en general, debido a su persistencia y elevada capacidad de transportación a larga distancia. Los procesos que la favorecen son temperaturas mayores a 150°C, condiciones alcalinas en la purificación radiación ultravioleta, contenido de cloro y metales catalíticos. La mayoría de la información disponible acerca de la toxicidad de los PCDD/PCDF según la [Convención de Estocolmo \(2004\)](#), está basada en estudios extensivos sobre el miembro más tóxico de la familia, la 2,3,7,8-tetracloro dibenzo-p-dioxina (TCDD), desarrollados en experimentos con animales y posiblemente también muchos de estos efectos en los humanos.

Según [Gullet y Touati \(2003\)](#), las emisiones de PCDD/PCDF desde estos incendios, se originan

fundamentalmente de la combustión de la biomasa y no simplemente en la vaporización de los compuestos de PCDD/PCDF, a los que ha estado expuesta la vegetación.

Los incendios forestales son una importante fuente de emisiones de gases y partículas a la atmósfera, incluyendo las de PCDD/PCDF. Se producen también liberaciones hacia la tierra.

MATERIALES Y MÉTODOS

A partir de la información reportada por la [ONEI \(2014\)](#), sobre hectáreas quemadas por provincias de Cuba, se seleccionó la región Occidental para un periodo de 10 años

Según las Directrices del [IPCC \(2006\)](#), para estimar el cambio promedio anual de biomasa se plantea un método simple que utiliza el área cubierta de bosques manejados (que permanecen como de uso forestal, es decir no cambian de uso en el año del inventario), la tasa de crecimiento promedio anual de la biomasa aérea en estos bosques y la pérdida de biomasa que ocurren en los mismos. Este balance queda representado en la [ecuación 1](#):

$$E = \sum^x A_i * B_i * F_i * FE * 10^{-6} \quad (1)$$

Donde:

- B - Cambio promedio anual de la biomasa aérea (t ms/año) (positivo o negativo)
- A - Área de los bosques manejados que permanecen como tal en el año inventario (ha)
- F - La fracción de biomasa quemada (la eficiencia de la combustión) en cada incendio forestal (i = 1....., n) (adimensional).
- FE - Factor de emisión asociado con un gas por unidad de actividad.

Con el empleo de la metodología del IPCC, se estimaron, metano (CH₄); monóxido de carbono (CO), óxido nitroso (N₂O), y óxidos de nitrógeno (NO_x (NO₂+ NO)). A partir de estos calculamos el CO₂ equivalente.

Calculo de dióxido de carbono equivalente

El dióxido de carbono equivalente (Carbon Dioxide Equivalent (CO₂eq)) es una medida universal de medición utilizada para indicar la posibilidad de calentamiento global de cada uno de los gases con efecto invernadero. La "posibilidad de calentamiento global", de los tres gases con efecto invernadero asociados con la silvicultura son los siguientes: dióxido de

carbono (CO₂), que persiste en la atmósfera entre 200 a 450 años, es definido como un potencial 1 del calentamiento mundial; el metano(CH₄); persiste en la atmósfera entre 9 a 15 años y tiene un potencial de calentamiento global 22 (tiene 22 veces la capacidad de calentamiento del dióxido de carbono); y el óxido nitroso(N₂O) ; que persiste por unos 120 años y tiene un potencial de calentamiento global 310.

Cálculo de carbono negro

El carbono negro es un componente del PM 2.5 capaz de retener la luz y de transformar esa luz en calor. Con un elevado potencial de calentamiento climático, el carbono negro sólo se mantiene suspendido en la atmósfera por días a semanas antes de ser lavado por las lluvias.

A diferencia de los inventarios específicos, en los que a partir de factores de emisión y datos de actividad se estiman las emisiones de *Black Carbon*, los inventarios globales más utilizados a nivel mundial, como el de [Bond et al \(2004\)](#), incorporan otros factores para estimar las emisiones de *Black Carbon* tales como el tipo de fuel, el tipo de tecnología usada en la combustión o el control de emisiones.

Las mediciones de emisiones directas de *Black Carbon* no son habituales y actualmente no existe ningún inventario basado en este tipo de medidas. Por ello, los inventarios existentes hoy en día se obtienen mediante cálculos a partir de inventarios de emisiones de PM_{2.5}. La metodología de cálculo seguida fue las Directrices para la estimación de carbono negro de América del Norte [CCA, \(2015\)](#).

El cálculo de estos inventarios, a su vez, se puede llevar a cabo siguiendo dos tipos de enfoques:

Enfoque *bottom-up*. Es el más común y parte de datos de actividad de una categoría de fuente para, mediante la aplicación de factores de emisión¹, generar una estimación de las emisiones de PM_{2.5}. Posteriormente, aplicando factores de especiación, estima la cantidad de *Black Carbon* contenida en esas emisiones de PM_{2.5}. Las emisiones de *Black Carbon* de una categoría de fuente individual se agregan y forman estimaciones de emisiones totales de *Black Carbon*.

Enfoque *top-down*. Este enfoque, en cambio, es muy poco habitual y en él se estiman las emisiones de *Black Carbon* mediante la técnica del “back-calculation” o retro-cálculo, a partir de emisiones de PM_{2.5} que proceden de sensores remotos o de medidas ambientales de la cantidad de aerosoles carbonáceos contenidos en la atmósfera.

Una vez estimadas las emisiones de PM_{2.5}, se pueden estimar las emisiones de *Black Carbon* aplicando un determinado factor de especiación.

Los incendios forestales son una parte de las quemaduras que se realizan a cielo abierto y sin control. Se aplicó esta metodología para estimar estas emisiones

Quema de Cielo Abierto

$$E_{cn} = A \times FE_{pm2.5} \times F_{Scn/pm2.5}$$

Donde:

E_{cn} - emisiones de carbono negro

A - Superficie Quemada

$FE_{pm2.5}$ - Factor de Emisión de PM 2.5 por área, en Nivel 1 es 334 kg/ha

$F_{Scn/pm2.5}$ - Factor de Especiación para convertir PM 2.5 en carbono negro, se usara como FS a 9.5

Cálculo de emisión de dioxinas y furanos

Se aplicó para Cuba, la adaptación de la metodología establecida por [López, C et al López et al \(2005\)](#), consistente en:

Primero, debe quedar claro que las relaciones de los compuestos del carbono, son la masa del carbono liberado con respecto a la masa total del carbono liberado durante la quema (en unidades de carbono).

En este caso, para calcular la masa del carbono liberado como dioxina y furanos (en unidades de carbono), con el objetivo de estimar las emisiones de estos compuestos procedentes de la quema de biomasa no controlada ya sea en praderas sabanas pastizales, brezos o residuos de cosechas, se hace uso de los factores de emisión dados en el Instrumental normalizado para la identificación y cuantificación de las liberaciones de dioxinas y furanos.

Cálculo de la relación de emisión de dioxinas procedentes de la quema de sabanas, praderas, pastizales y brezos.

El factor de emisión a la atmósfera es FE (5µg EQT/t ([Ecuación 2](#)).

$$M_{CDP} = FE * \frac{C}{CPDD} \quad (2)$$

Donde:

M_{CDP} - es la masa de carbono liberado como dioxina en la quema de sabanas, praderas, etc, en unidades de carbono.

FE - es el factor de emisión de dioxinas a la atmósfera

C - es el peso atómico del carbono

CPDD - es el peso molecular de la dioxina

La estimación simplificada de la emisión directa de PCDD/PCDF puede realizarse gracias a [López et al \(2005\)](#) mediante la [ecuación 3](#):

$$E = A * B * F_i * 10^{-6} \quad (3)$$

Donde:

E - Es la emisión anual directa (en g de EQT/año) procedente de los incendios forestales en el país durante el año del inventario.

A - Es el área quemada (hectáreas) en cada incendio forestal ($i = 1 \dots n$)

B - La biomasa combustible disponible (en toneladas de materia seca por hectárea) en el área quemada de cada incendio forestal ($i = 1 \dots n$)

F_i - La fracción de biomasa quemada (la eficiencia de la combustión) en cada incendio forestal ($i = 1 \dots n$)

FE - Es el factor de emisión (en μg de EQT/t de material quemado)

El primer paso para la estimación, comprende la clasificación de los incendios ocurridos por tipos, precisando el tipo de bosque en que ocurrió este. El segundo paso consistió en la determinación o estimación del área quemada (ha). Esta información solo pudo obtenerse de forma agregada para el país y las provincias. En el tercer paso consistió en la determinación de la biomasa combustible disponible B (en toneladas de materia seca por hectárea). Se aplicó la relación promedio de 15 t/ha, a partir de la cual fue posible determinar la cantidad de material consumido en los incendios forestales.

Con el cuarto paso se intenta determinar la fracción de biomasa quemada F (la eficiencia de la combustión). Esta es una corrección que se efectúa pues normalmente en los incendios forestales no se quema toda la biomasa disponible. Esta fracción depende, entre otros factores, del tipo de incendio, del tipo de bosque o vegetación y de las condiciones en que

transcurre la combustión (especialmente las condiciones de humedad de la biomasa). Se consideró que los incendios ocurridos carbonizaron toda la biomasa correspondiente a los diferentes tipos de bosques, en los que predominaban fundamentalmente especies arbóreas, y arbustivas, entre las que se incluían coníferas y latifolias. Este aspecto, también puede sobrestimar en algo la emisión calculada.

Con el quinto paso, se aplicó el factor por defecto recomendado en el Instrumental Normalizado del PNUMA, el cual corresponde a 5 μg EQT/t de material quemado.

El sexto paso consiste en sumar todas las emisiones calculadas para cada tipo de incendio, con el objetivo de obtener la emisión total, en el año inventario para esta subcategoría.

El factor de emisión utilizado es ligeramente superior al reportado en U.S. EPA (2000) para la determinación de emisiones de PCDD/PCDF desde incendios forestales, el cual es 2 μg EQT/t de material quemado.

Sin embargo, el factor utilizado en las estimaciones para Cuba, es bastante menor al usado, de forma preliminar, por los autores citados anteriormente (20 μg EQT/t de material quemado) para la estimación de las emisiones de PCDD/PCDF en EE.UU. y los factores diferenciados que mencionan para la biomasa de bosques en ese propio país (Oregón: 25 μg EQT/t material quemado; Carolina del Norte: 15 μg EQT/t de material quemado).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se han tomado metodologías para la realización de inventarios, que de manera coordinada se realizan en otros países, correspondientes a los Inventarios de Emisiones y Remociones de Gases de Efecto Invernadero, a los Inventarios de Emisiones de Sustancias Tóxicas, en nuestro caso solo a Dioxinas y Furanos, pero también existen para arsénico y mercurio, así mismo recién incorporamos de los Inventarios para material particulado y carbono orgánico. En nuestro caso solo fue hecho para incendios forestales, que no abarca todo el conjunto de fuegos sin control, como pudiera incorporarse la quema de pastos y herbazales. Refleja otros contaminantes perjudiciales a la salud y al medio ambiente, además de los

estudiados clásicamente como contaminantes criterios.

Aunque los datos se presentan para la región occidental, que si bien no ha sufrido cambios en su superficie total de la región occidental, si hubo una nueva distribución con creación de dos nuevas provincias, Artemisa y Mayabeque. La provincia de Pinar del Rio, pese a disminuir su superficie, posee los municipios con mayor superficie boscosa y se mantiene como la más boscosa de la región, y en la mayoría de los casos también donde más incendios ocurren seguidas de la provincia de Matanzas que se encuentra ya en el límite con la región central.

A priori, nos percatamos de la diferencias de escalas para graficar las especies estudiadas en un solo gráfico. Decidimos mostrar la variación temporal de las hectáreas quemadas en el [figura 1](#)

y las emisiones de las especies estudiadas en la [tabla 1](#)

La variabilidad en las hectáreas quemadas obedece a numerosos factores, desde los naturales como sequías y descargas eléctricas a los de origen humano como accidentes, descuidos y propagación de la quema de residuos agrícolas hacia regiones boscosas.

Si bien el carbono negro o “black carbon”, impacta también en el clima, tienen su impacto en la salud. Sin embargo, no hemos podido encontrar una norma o un trabajo que manifieste cualitativamente, la capacidad de resiliencia ante estas emisiones, aunque si existen para determinados niveles de concentración. En la [tabla 1](#) se expone los resultados para cada sustancia estudiada por año.

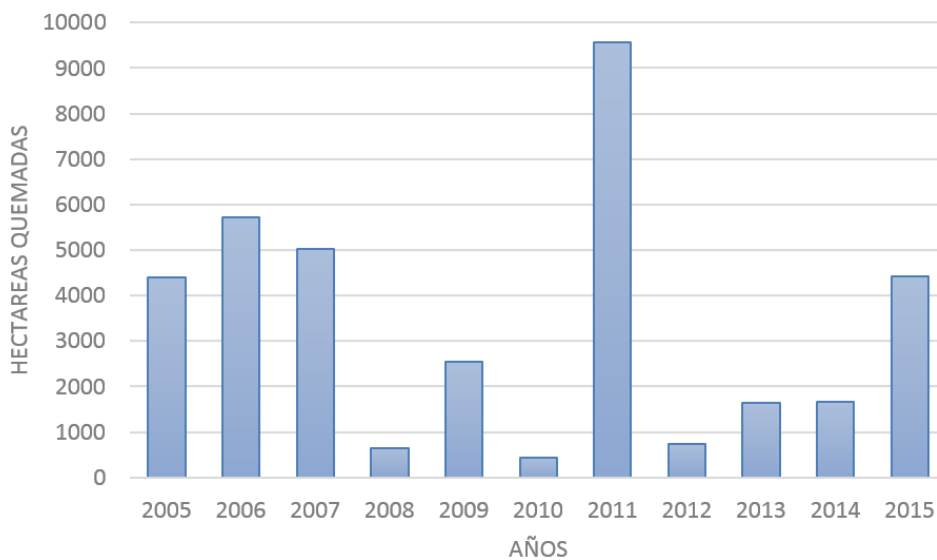


Figura 1. Hectáreas quemadas en el período de estudio

Tabla 1. Emisiones de distintas sustancias que se emiten durante los incendios forestales.

Años	Dioxinas y Furanos(μg EQT/t material quemado)	Carbono Negro (Gg)	CO2 eq (ton)
2005	0.33	13.51	119.34
2006	0.43	17.61	155.60
2007	0.38	15.48	136.78
2008	0.05	1.97	17.434
2009	0.19	7.80	68.95
2010	0.03	1.38	12.17
2011	0.72	29.43	260.08
2012	0.06	2.30	20.32
2013	0.12	5.04	44.57
2014	0.12	5.13	45.32
2015	0.33	13.59	120.10

CONCLUSIONES

Pese a que no podemos valorar con precisión el impacto en la salud de estas especies de dioxinas y furanos y carbono negro, pero si el efecto de potencial de calentamiento global del dióxido de carbono equivalente si podemos adelantar que:

Se obtiene por primera vez, las emisiones de CO₂ eq, dioxinas y furanos y carbono negro para la región occidental del país

Se manifiesta una relación lineal entre las hectáreas quemadas y las especies químicas calculadas, por las características de los datos de actividad muy generales, dados por total provincial

Se logró estudiar y aplicar las directrices para las emisiones de carbono negro

REFERENCIAS

- Bond T.C., D. Streets, K F, Yarber, S.M Nelson and J-H Woo (2004), a technology based global inventory of black and organic carbon emissions from combustion, en : Journal of geophysical Research, no 109, doi: 10.1029/2003JD003697: disponible en <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.168.4988&rep=rep&type=pdf>
- Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, (2015): Directrices para la estimación de carbono negro de América del Norte: métodos recomendados, Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, 105pag
- Convención de Estocolmo (2004): Stockholm Convention . Expert Group on BAT and BED (2004): guidelines on BEP (Draft). December, 2004, 317 pp.
- US EPA (2012). Report to Congress on Black Carbon. Department of the Interior, Environment, and Related Agencies Appropriations Act, 2010. Disponible en <http://www.epa.gov/blackcarbon/2012report/fullreport.pdf> (fecha de último acceso: 11/06/2014).
- Flanner et al (2007), Flanner M.G., C.S. Zender, J.T. Randerson, and P.J. Rasch, Present-day climate forcing and response from black carbon in snow, 112 J. GEOPHYS. RES. D11202 (2007)
- Gullett B.K., Touati A.; (2003) PCDD/F emissions from forest fire simulations; Atmospheric Environment 37 803-813, 2003
- Hansen, et al., Efficacy of Climate Forcing, 110 J. GEOPHYS. RES. D18104, 1 (2005), available at http://pubs.giss.nasa.gov/docs/2005/2005_Hansen_et_al_2.pdf
- IPCC (2006). Directrices del IPCC para los inventarios Nacionales de gases de efecto Invernadero. IPCC (UNEP; WMO), 2006.
- López, C., Pedro. V. Fernández., Ricardo W. Manso., Rafael Biart., Valentín L. Rabelo. Inventario Nacional de Fuentes y liberaciones de Dioxinas y Furanos del a República de Cuba. Reporte para el año 2002. Recálculo para el año 2000. CIGEA. INSMET. CITMA
- ONEI (2014): Anuario Estadístico de Cuba año 2014. Reporte 2015
- NASA (2017) NASA (2017) <http://climate.nasa.gov/evidence/> [consulta 10 junio 2017]
- V. Ramanathan and G. Carmichael (2008), *Global and regional climate changes due to black carbon*, 1 NATURE GEOSCIENCE (23 March 2008).p. 221. 15 Op cit supra nota i. *The Other Climate Changers*.

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)