

## Evaluación de las emisiones de carbono en plantas hidroeléctricas y bioenergéticas.

### Evaluation of carbon emissions in hydroelectric and bioenergetic plants



<https://eqrcode.co/a/Y52aDr>

 Ricardo Manso Jiménez

Sociedad Meteorológica de Cuba, Cuba

Asociación Nacional de Economistas de Cuba. Filial Economía y Medio Ambiente, Cuba.

**RESUMEN:** Las fuentes de energía renovable son una respuesta favorable ante los precios de los combustibles tradicionales, así como para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero. Cuba incrementará el uso de fuentes de energías renovables y así aumentar su potencial energético. En el presente trabajo tenemos como objetivo hacer análisis de dos tipos de tecnologías de generación de energía renovable, las cuales han sido usadas más tradicionalmente como el uso de la bioenergía y de las hidroeléctricas respecto al balance de emisiones de gases de efecto de invernadero, ya que usualmente se considera que tienen emisión nula. Se pueden aplicar las metodologías **IPCC (2006)**, conjugados con experimentos en ambos casos. Aunque se accedió a poca información para las condiciones nacionales, muchos experimentos internacionales confirman la tesis del trabajo. Se concluye que el balance general es positivo pero es necesario los análisis se realicen caso a caso.

**Palabras claves:** Fuentes de Energía Renovables, Gases de Efecto invernadero, Cambio Climático.

**ABSTRACT:** Renewable energy sources are a favorable response to the prices of traditional fuels, as well as to reduce greenhouse gas emissions. Cuba will developed use of renewable energy source and increases its energetic potential. It is very common to consider that greenhouse emissions are avoided by substituting fossil fuels for others. In this work we aim to analyze two types of renewable energy generation technologies more traditional bioenergy and hydroelectric in relation with balance of Greenhouse Gas. These sources are generally considered to have zero emissions. The **IPCC (2006)** methodologies can be applied, combined with experiments. Although little information was accessed for national conditions, many international experiments confirm the thesis of the work. It is concluded that although the balance is positive, it is necessary that these analyzes be taken into account on a case-by-case basis.

**Key words:** renewable energy sources, greenhouses gas, climate change.

### INTRODUCCIÓN

El desarrollo social y económico humano ha alcanzado tales niveles que la energía se ha convertido en un elemento indispensable del vivir diario y además la seguridad energética es una prioridad para todos los países. La quema de combustible fósil es fuente de gases y partículas que afectan la calidad del aire, la salud y el medio ambiente además las fuentes de energía renovable son una respuesta favorable ante los precios de los combustibles tradicionales, así como para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero. Los rendimientos en la obtención de energía según la tecnología considerada, es un dato relevante. Así, una central termonuclear llega a rendimientos del 33%, que alcanzan el 38,5 % en una central térmica convencional y llegan al 90% en los aprovechamientos hidroeléctricos. (**IPCC. 2011**).

Cada región tiene sus propias fuentes y las que presenta el mayor potencial pudiera ser la mejor en términos de factibilidad técnica, aunque no pudiera serlo en cuanto a factibilidad económica. Los estudios realizados hasta el momento confirman que la energía más limpia en cuanto a emisiones de gases de efecto invernadero a lo largo de su vida útil es la eólica con 10 gramos de CO<sub>2</sub>, luego le sigue la solar fotovoltaica con 32 gramos. La aplicación tecnológica del carbón es la que más emite con 960 gramos por KWh. La de gas natural emite 443 gramos por KWh. (**IPCC 2012**). No obstante es recomendable hacer estudios locales que aseguren un manejo sostenible de los recursos naturales y en particular aquellos que se consideran *per se* aunque los estudios de varias fuentes cuestionan estas afirmaciones y alertan la necesidad de profundizar más. Nos enfocaremos en dos fuentes tradicionales que deben ser analizados con más detalles.

Autor para correspondencia: [ricardo.mansojimenez@yahoo.com](mailto:ricardo.mansojimenez@yahoo.com).

Recibido: 01/06/2020

Aceptado: 12/01/2021

Cuba realiza importantes esfuerzos y como ejemplo de ello son las 34 658 instalaciones que utilizan energías renovables. Tal cifra puede desglosarse en 10 595 calentadores solares, 827 plantas de biogás, 187 emplazamientos hidroeléctricos, cuatro parques eólicos (Martínez 2013)

Los embalses, son un ejemplo clásico de cómo alteraciones importantes del paisaje de la Tierra por humanos pueden tener efectos inesperados. Los principales GEI emitidos son el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y el metano (CH<sub>4</sub>), y en menor medida el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). La emisión ocurre en forma de metano cuando la descomposición se produce de manera anaeróbica (con baja o sin presencia de oxígeno). En condiciones normales, el agua fría en la parte inferior está separado por debajo de la termoclina y el oxígeno disuelto en el agua se agota rápidamente con la oxidación de una parte de las hojas y otra, por la materia orgánica en el fondo del embalse; después de esto esencialmente toda la descomposición debe terminar en CH<sub>4</sub> en lugar de CO<sub>2</sub> (Fearnside, 2013). Este es un factor relevante ya que el potencial de calentamiento global (GWP por sus siglas en inglés) del metano ha sido calculado en varias etapas, cuyo valor ha ido cambiando en sucesivas evaluaciones de 21, a 24, y actualmente de 34. Esto quiere decir que un kilogramo de CH<sub>4</sub> equivale a 34 kilogramos de CO<sub>2</sub>. En particular, existen suficientes evidencias que confirman que los embalses hidroeléctricos son emisores principalmente de dióxido de carbono y sobre todo, de metano (Briones, 2019). A pesar de sus importantes emisiones de GEI a la atmósfera, la hidroenergía es considerada por muchos una fuente de energía limpia cuando se le compara con la electricidad producida por la quema de combustibles fósiles (carbón, gas, petróleo), que agravan el problema del calentamiento global (Duque - Grisalesa, 2014).

Las Centrales Hidroeléctricas analizadas emiten GEI, en especial CH<sub>4</sub> por parte de sus embalses (Pau-car, 2014). Gracias a las investigaciones y estudios existentes a nivel mundial, los embalses implementados para la generación hidroeléctrica emiten cantidades significativas de GEI, contribuyendo al calentamiento global, dependiendo de la ubicación geográfica del embalse, su edad, área, profundidad, fluctuaciones del nivel del agua, cantidad de nutrientes y carbono, tiempo de rotación, ubicación de aliviaderos y turbinas (Cuadros, 2017). En el informe bienal de actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de Costa Rica 2015 (Ministerio de Ambiente y Energía, 2015), se refieren a Tierras inundadas (wetlands) se consideraron las emisiones de CH<sub>4</sub> correspondientes a los embalses destinados a la producción de energía eléctrica.

La biomasa se considera actualmente como la segunda fuente de energía más ecológica y sostenible del mercado, después de la energía solar. La sustitución de

energía fósil por biomasa, no reduce por sí misma las emisiones de gases de efecto invernadero. Puede tener varias variantes Biogás, Biodiesel y Biomasa Forestal y Agro - residuos.

Como fuente de energía renovable la biomasa puede ser usada tanto directa como indirectamente. Estudios recientes muestran el aumento de la eficiencia y con menos contaminación de esta fuente.

Para Cuba, Moreno (2016) plantea que para la transición energética en Cuba, es necesario hacer una serie de pasos que son:

- Disminuir la ineficiencia del sistema eléctrico
- Reducir la dependencia de combustibles fósiles
- Contribuir a la sustentación medioambiental
- Modificar la matriz energética de generación y consumo
- Incrementar la competitividad de la economía en su consunto
- Disminuir el alto costo de la energía que se entrega a los consumidores

## DESARROLLO

Para hacer una evaluación cuantitativa del balance entre las emisiones evitadas por el uso de fuentes de energía renovables en Cuba, deberíamos tener estudio de caso a caso.

En el 2011 el factor de emisión asociado a la generación de electricidad en Cuba fue de 867 gCO<sub>2</sub>/KWh. (valor elevado y se debe a la utilización generalizada de los combustibles fósiles y a la obsolescencia e ineficiencia de algunas tecnologías empleadas en la generación eléctrica) Arrastía (2016). Por lo mencionado, se hace necesario, aplicar nuevas tecnologías que tengan menos emisiones y sean, además más eficientes.

Los cálculos, pueden variar según se tome referencia del tipo de motores usados, como se puede apreciar (Tabla 1).

Se tiene experiencia en pero solo fue posible acceder a la producción de electricidad que aportan, pero no a los datos necesarios para realizar el balance, como el área de las termoeléctricas y más detalle sobre las emisiones de las bioeléctricas y su correspondiente respaldo de plantaciones para su ejecución. Aunque también se aplica Marabú, que actualmente no se considera como secuestrador de carbono. Tenemos también bagazo, pero requiere de estudios más avanzados. También se aplican biocombustibles.

### Hidroeléctricas

La generación hidroeléctrica es, junto con la eólica, la fotovoltaica y la nuclear, una de las fuentes de energía que menos CO<sub>2</sub> emiten hacia la atmósfera. Sin embargo, en la evaluación de las emisiones es preciso tener en cuenta no sólo el proceso productivo

**Tabla 1.** Factores de Emisión para Grupos electrógenos (para 4 motores)

Contaminante	Factor de emisión (kg/m3)		Referencia
	Fuel Oil	Diesel	
NOx	42,59	17,0	CUJAE/CUBAENERGIA
SO2	22,43	16,0	CUJAE/CUBAENERGIA
PM	0,42	0,25	AP42/CUBAENERGIA
PM	0,21	0,125	AP42/CUBAENERGIA
CO	2,07	1,44	CUJAE/CORINAIR
COVDM	0,183	1,80	CORINAIR

Fuente Cuesta *et al* (2012).

en sí mismo sino otros aspectos como el ciclo de vida completo de las instalaciones industriales (fabricación, construcción, mantenimiento, demolición, etc.). En el caso de la hidroelectricidad, tiene particular importancia el tipo de en un líquido depende de su presión parcial hidráulico (fluyente, con un gran embalse, etc.), ya que por la ley de Henry la cantidad de gas disuelto así como las características hidromorfológicas y biológicas de la masa de agua implicada. Por otro lado, en los aprovechamientos hidroeléctricos que explotan grandes embalses es preciso tener en cuenta los tipos de comunidades naturales que sustituyen y su potencial capacidad como sumideros de carbono.

Existe la necesidad de comprender y predecir los GEI procedentes de sus embalses. Se aplican las metodologías IPCC (2006) y las actualizaciones del 2013 para humedales. A la hora de aprobar la construcción de una central hidroeléctrica generalmente, no se tienen en cuenta los verdaderos costos y daños ambientales sobre el capital natural (Barros *et al.* (2012).

Existe una alta variabilidad en las tasas de emisión de GEI desde embalses. Dentro de los factores más relevantes que van a incidir en esa tasa de emisión se encuentra:

- Nivel de materia orgánica inundada por embalse;
- Nivel de nutrientes y materia orgánica ingresando al embalse
- Temperatura

De manera indirecta (por efectos en productividad de materia orgánica y nutriente y temperatura) la latitud es un factor relevante por los procesos anaeróbicos existentes.

Existe una alta variabilidad en las tasas de emisión de GEI desde embalses, pero en primera aproximación se expone el nivel 1 de las metodologías del IPCC, pero una correcta evaluación debe considerar las emisiones netas que descuentan las emisiones que existían de manera natural en el sistema antes de construirse el embalse.

Según IPCC (2006) para calcular las emisiones de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> causadas por las presas, en este caso para las hidroeléctricas son:

$$Emisiones\ difusoras\ de\ CO_2 = ((Pf \times Efj (difusas (CO_2)) \times (FA \times fa \times 10^{-6}))$$

Pf=Periodo libre de hielos

FA=Área inundada por la hidroeléctrica

fa=Fracción de área inundada en los últimos diez años

Efj (difusas (CO<sub>2</sub>) Valor dado por defecto según zona climática

Emisiones difusoras de CH<sub>4</sub> (( Pf x Efj (difusas (CH<sub>4</sub> ) X (FA x 10<sup>-6</sup>)

Pf=Periodo libre de hielos

FA=Área inundada por la hidroeléctrica

Efj (difusas (CH<sub>4</sub>) Valor dado por defecto según zona climática

Se determinó para algunos casos en España que en términos generales por cada GWh hidroeléctrico se evita quemar 223 toneladas de petróleo o 319 toneladas de carbón (Palau *et al.*, 2008)

La hidroeléctricas representan una fuente de energía renovable pero no libre de emisiones y dichas emisiones han sido globalmente ignoradas de manera sistemática. No obstante, el balance es positivo y está disponible cuando otras Fuentes de energía renovables pueden disminuir, tales como las de origen eólico, por la variabilidad de los vientos, así como de la radiación solar en las fotovoltaicas.

Este sería un primer paso para evaluar las emisiones evitadas, tanto por uso de hidroeléctricas como de las bioenergéticas. Para estimar las emisiones procedentes de los embalses hidroeléctricos en Colombia, se hizo un primer cálculo de acuerdo con las directrices del IPCC (2006) a partir de las cuales fue posible obtener emisiones de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> por difusión (las que ocurren en la interfase agua aire en la superficie del embalse). Es importante enfatizar que el IPCC recomienda que para las emisiones de CH<sub>4</sub> se realice un muestreo para cada caso.

En el caso de Colombia, de acuerdo con las estimaciones hechas, estas emisiones representarían un porcentaje adicional, a las provenientes de la generación termoeléctrica (aquella que utiliza combustibles fósiles), que oscila entre el 11 y 20% Bird (2011), Duque (2014). Podemos aceptar este valor como un indicador para estudios preliminares de lo que pudiera pasar en Cuba.

## Bioenergéticas

Las plantas termoeléctricas de biomasa comparten características similares con las centrales eléctricas convencionales alimentadas con combustibles fósiles: ambas implican la combustión de materias primas para generar electricidad. Por lo tanto, también presentan inconvenientes similares en tanto a emisiones a la atmósfera y uso del agua. La combustión de la biomasa produce emisiones muchas veces menores de dióxidos de azufre y mercurio que el carbón. La quema de combustibles de madera sólidos en fuego abierto sólo convierte el 5% de la energía potencial de la madera, mientras que el resto se pierde. No obstante, existen tecnologías capaces de incrementar su eficiencia hasta un 80% mediante sistemas combinados que utilizan madera para producir calor y electricidad.

La bioenergía moderna incluye los biocombustibles que se derivan de cultivos de plantas, e incluyen:

- Biomasa que es directamente quemada para calefacción y energía eléctrica
- Biogás
- Biodiesel de semillas oleaginosas (por ejemplo, de palma, soya, colza)
- Etanol (o metanol) que es el producto de la fermentación de los granos, pasto, paja o madera (incluyendo, por ejemplo, maíz, caña de azúcar, remolacha)

Las tecnologías modernas producen combustibles para calefacción, electricidad y transporte; el reciente interés se ha centrado en los biocombustibles líquidos, en particular el etanol y el biodiesel.

Los biocombustibles avanzados, también llamados biocombustibles de “segunda generación”, son combustibles hechos de material vegetal no comestible (de biomasa lignocelulósica) que requieren de procesos técnicos avanzados.

Existen varias maneras de usar fuentes de bioenergía. Para el caso de plantaciones boscosas con fines energéticos, deberíamos calcular el secuestro de carbono, para poder compararlo con las emisiones, para lo cual en primera aproximación se requiere:

- Superficie de cada tipo de vegetación leñosa/kha
- Tasa de crecimiento anual (tms/ha), por tipos de especies que puede estar influenciada por la atención cultural y la edad de la plantación
- Fracción de carbono de la materia seca

A partir de estos datos de base se calcula:

- Incremento anual de la biomasa por tipos kt ms
- Incremento total de la absorción de carbono por tipos ktC

Indicadores

- kha (kilo hectáreas)
- kt ms (kilo toneladas de masas seca)
- ktC (kilo toneladas de carbono)
- tms/ha (toneladas de masa seca por ha)

La cantidad liberada de carbono o CO<sub>2</sub> o CO, u otras especies químicas dependen del tipo de combustión. Una combustión completa libera solo CO<sub>2</sub> y agua, si la temperatura de combustión se reduce y es más incompleta, se empieza a incrementar más CO que CO<sub>2</sub> y empiezan a liberarse material particulado.

Se muestra la [tabla 2](#), donde se evidencia que los factores de emisión de contaminantes son muy bajos en los casos presentado de biomasa.

Las plantas bioenergéticas pueden producir entre 7 y 12 MW en dependencia de como utiliza el combustible, la tecnología utilizada para el proceso en este tipo de Plantas les permite alcanzar una vida útil de más de 30 años, y en ese periodo al igual que otras plantas que utilizan el mismo tipo de equipos, son susceptibles de incorporar mejoras en su eficiencia derivadas de los avances tecnológicos que se produzcan.

La línea base es el estimado relacionado con lo que ocurriría en caso de que no se realizara un proyecto de generación de energía eléctrica, es decir, es como una fotografía del escenario actual y anticipado del país, utilizada para determinar si éste contribuye adicionalmente con la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>. Esta línea es requerida como un marco de referencia para cuantificar las unidades de reducción de emisiones de carbono, en un proyecto de disminución de GEI. No existe una única línea que sea exacta para un país, sino que la composición de fuentes de energía cambia según se agregan o eliminan proyectos energéticos a la capacidad total instalada de un país. Una vía para poder calcular cuan beneficioso sería aplicar un tipo de energía sobre otro, en cuanto a emisiones de gases de efecto invernadero sería este enfoque metodológico propuesto por [Neuenschwander \(2009\)](#)

Las emisiones de la línea de base se calculan como el producto del factor de emisión (tCO<sub>2</sub>/MWh) de la red y la energía neta despachada por la actividad de proyecto

**Tabla 1.** Factores de Emisión para combustión de leña y bagazo (Kg/1000 MJ)

Combustible	Especie SO <sub>x</sub>	Especie NO <sub>x</sub>	Especie PST
Bagazo en base seca	0.001	0.034	0.039
Leña	0.002	0.163	0.954

Fuente [UIS-IDEAM, 1999](#)

En México, se tiene como media que se emite 0.454 toneladas de CO<sub>2</sub> /MWh varía de año en año en función de la mezcla de combustibles usados en el sistema eléctrico nacional (SEMARNAT (2017) . En Cuba Meneses-Ruiz (2018), determinaron los valores de factores de emisión propios para varias para instalaciones generadoras de electricidad en Cuba las cuales se compararon con valores de Factores de Emisión reportados en base de datos internacionales, así como con valores obtenidos desde las emisiones calculadas por relaciones estequiométricas a partir de la composición del combustible para el caso del CO<sub>2</sub>. En dicho trabajo se obtiene que las diferencias relativas no exceden al 6.1%. Meneses et al (2018).

En Cuba, se tiene el Proyecto Central Eléctrica de Biomasa Forestal “La Melvis” (INEL 2013), dicha Central Eléctrica de biomasa forestal que se propone tendrá una potencia de 3 MW y se estima que funcione en régimen base durante aproximadamente 8000 horas al año, para una generación neta anual de 23280 MWh. La reducción de emisiones del proyecto será la diferencia entre las emisiones de línea de base y las emisiones del proyecto.

Las emisiones de gases de efecto invernadero corresponderán, por tanto, a un factor de emisión que, para el sistema eléctrico de la Isla de la Juventud, se estima de aproximadamente 0.8 tCO<sub>2</sub>/kWh. Las emisiones de línea de base se estiman como: 23280 MWh \* 0.8 tCO<sub>2</sub>/Mwh = 18624 t CO<sub>2</sub>/año. De forma preliminar se puede considerar estas emisiones no sobrepasarán las 1100 tCO<sub>2</sub>/año. La reducción de emisiones del proyecto corresponderá por tanto a 17524 tCO<sub>2</sub>/año.

El Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC), insiste que la biomasa pudiera ser considerada carbono neutral, solamente si, han sido considerados, todos los impactos del uso de tierra. La extracción de árboles de un bosque debe ser de manera que el equilibrio del carbono sea estable y no dañe la capacidad global del bosque de capturar CO<sub>2</sub>. "Es un

error asumir que la Bioenergía es carbono neutral' por definición, depende con lo que usted lo reemplace" (IPCC, 2007).

## CONCLUSIONES

Las emisiones de gases de efecto invernadero en la generación hidroeléctrica generalmente varían en función su superficie y fecha de construcción. Se debe prestar atención a las emisiones de metano a causa del continuo arribo de materia orgánica y la desgasificación por los cambios de presión. El potencial de calentamiento global del metano, ha ido variando de 21,23 y según los últimos estudios es de 34. Esto nos hace enfocar en la necesidad de medir o al menos estimar las emisiones de metano para realizar un balance real.

Respecto a la Bioenergía existe en Cuba un balance superior de secuestro sobre emisiones. Pero el enfoque debe ser a nivel de empresa, lo que permitiría el adecuado balance. Falta incorporar aplicaciones de biodiesel

Aunque se accedió a poca información para las condiciones nacionales, muchos experimentos internacionales confirman la necesidad de realizar balances caso acaso .

## REFERENCIAS

- Arrastía Ávila Mario A. Energía y Tu No 70. 2015 ISSN 1028-9925. Electricidad y emisiones de CO<sub>2</sub>
- Barros, R. M., & Tiago Filho, G. L. (2012). Small hydropower and carbon credits revenue for an SHP project in national isolated and interconnected systems in Brazil. *Renewable Energy*, 48(0), 27-34. doi:10.1016/j.renene.2012.04.050
- Bird. (2011). Potencial Hidroeléctrico de Antioquia Inventario, perspectivas y estrategias (p. 112). Banco de Iniciativas Regionales para el Desarrollo de Antioquia. Medellín

**Tabla 2.** Línea Base, Proyecto y Reducción de Emisiones de CO<sub>2</sub>

Línea Base	KWh de Electricidad Generada [kWh/yr	X	Factor de Emisión Estandarizado [t CO <sub>2</sub> e/kWh]	=	Emisiones de CO <sub>2</sub> por electricidad. [t/año]
Proyecto	Total de Biomasa [TJ/año]	X	Factor de Emisión de Biomasa [t/TJ]	=	Emisiones de CO <sub>2</sub> [t/año]

**Tabla 3.** Algunas comparaciones entre el uso de la biomasa y el de combustibles fósiles:

Uso de la Biomasa	Uso de los combustibles fósiles
Es abundante	Cada vez hay menos
Precios competitivos y estables	Constante variación de los precios
Cercana a la central	Viene de lugares más lejanos o del extranjero
Genera puestos de trabajo locales	Puede crear incertidumbres con el empleo
Menor riesgos a incendios	riesgos a incendios
Emisiones casi nulas de SO <sub>2</sub> y otros gases nocivos	Altas emisiones de gases nocivos
Las emisiones de CO <sub>2</sub> pueden ser neutralizadas	Altas emisiones de CO <sub>2</sub> y otros gaseas

Fuente Autor

- Briones (2019). Metodología para la determinación del desempeño ambiental neto de la generación hidroeléctrica. Tesis: Directores tesis; Francisco Uche Javier Marcuello y Amaya Martínez Gracia ; Universidad de Zaragoza. Fundación Dialnet. España.
- Cuadros (2017). ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES DIFUSORAS DE GASES EFECTO INVERNADERO EN CENTRALES HIDROELÉCTRICAS COLOMBIANAS: DIÓXIDO DE CARBONO (CO<sub>2</sub>) Y METANO (CH<sub>4</sub>). HAROLD DAVID CUADROS TEJEDA. Proyecto aplicado presentado como requisito parcial para optar al título de: Ingeniero Ambiental. CÓDIGO: 1115065283 UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA (UNAD). ESCUELA DE CIENCIAS AGRICOLAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO AMBIENTE (ECAPMA). PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL. PALMIRA, COLOMBIA. 2017. UNAD.pdf.
- Cuesta et al (2012) : CUESTA, Osvaldo, Mariam FONSECA, Raydel MANRIQUE y Ernesto CARRILLO. "Evaluación de la calidad del aire en ciudades de Cuba". Publicación Electrónica, ISBN, 978-959-282-079-1, Memorias de la Convención Internacional Trópico 2012, La Habana, 14 - 18 de Mayo de 2012.
- Duque, E. (2014). Sistemas de bono de carbono como fuente de restauración del capital natural en proyectos hidroeléctricos. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Recuperado a partir de <http://www.bdigital.unal.edu.co/20391/>
- Duque - Grisales, E. (2014). Aplicación del mercado de carbono en pequeñas centrales hidroeléctricas. Eduardo Alexander Duque - Grisales, Julián Alberto Patiño - Murillo, Luis Diego Vélez - Gómez. *Energética* 44, diciembre (2014), pp.19-32. ISSN 0120-9833 (impreso) .ISSN 2357 - 612X (en línea). [www.revistas.unal.edu.co/energética](http://www.revistas.unal.edu.co/energética).
- Derechos Patrimoniales. Universidad Nacional de Colombia
- FAO (2008): Oportunidades y desafíos de la producción de biocombustibles para la seguridad alimentaria y del medio ambiente en América Latina y el Caribe. 30ª conferencia regional de la FAO para América Latina y el Caribe. FAO. Brasilia D.F. 8 p. 2008c.
- Fearnside, P.M. (2013). Análisis de los principales proyectos hidro-energéticos en la región amazónica. In: C. Gamboa & E. Gudynas (eds.) *El Futuro de la Amazonía*. Secretaria General del Panel Internacional de Ambiente y Energía: Derecho, Ambiente y Recursos Naturales (DAR), Lima, Perú & Centro Latinoamericano de Ecología Social (CLAES), Montevideo, Uruguay.
- IPCC (2006). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero - Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra - Apéndice 2: Estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de las tierras convertidas en tierras permanentemente inundadas. Apéndice 3: Estimación de las emisiones de CH<sub>4</sub> provenientes de tierras inundadas: Base para su futuro desarrollo metodológico.
- IPCC (2007): "Cambio Climático 2007 - Mitigación del Cambio Climático. Contribución del Grupo de Trabajo III al Cuarto Informe de Evaluación del IPCC". ISBN 92-9169-321-9. Países Bajos. pp. 122
- IPCC (2011). Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. (O.Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. atschoss, S. Kadner, ... C. von Stechow, Eds.). United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- IPCC 2012 Special Report of the intergovernmental panel on Climate Change . Renewable Energy Sources and Climate Change . 2012 pg7 ISBN 078-1-107-02340
- INEL (2013): Informe de Proyecto Las Melvis. Empresa de Ingeniería y Proyectos para la Electricidad. Ministerio de Energía y Minas. Cuba
- Palau A, Alonso Miguel., (2008): Embalses y Cambio Climático. 2018. Dirección de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (ENDESA)) España
- Paucar (2014): ESTUDIO DE EMISIONES DE METANO PRODUCIDAS POR EMBALSES EN CENTRALES HIDROELECTRICAS EN ECUADOR .MAYRA ALEJANDRA PAUCAR SAMANIEGO. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE .ESCUELA DE INGENIERIA 2014, Mayra Alejandra Paucar Samaniego.T-SENESCYT-00625.PDF
- Martínez. E., (2013). Eileen Sosin Martínez 2013 Semanario Económico y Financiero .ISSN 1563-8340 © Copyright Grupo de Desarrollo de Juventud Rebelde
- Meneses Ruiz et al (2018) .Factores de emisión de CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub> para instalaciones generadoras de electricidad en Cuba Revista Cubana de Meteorología Vol. 24, Núm. 1 (2018) .Elieza Meneses-Ruiz\*, Alina Roig-Rassi\*, Ernesto Paz, Diosdado Alonso, Jorge Alvarado Ministerio de Ambiente y Energía. 2015. Informe Bienal de actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

- Instituto Meteorológico Nacional. Departamento de Climatología e Investigaciones Aplicadas. San José, Costa Rica 2015. [www.imn.ac.cr/http:cglobal,imn.ac.cr/](http://www.imn.ac.cr/http:cglobal,imn.ac.cr/) ISBN:978-9977-50-124-6
- Moreno (2016) Moreno Figueredo Conrado: La transición energética en Cuba: Energía y Tú. No 70.2015 ISSN 1028-9925 Actualidad de las Fuentes Renovables en Cuba.
- Neuenschwander A. (2009) CUANTIFICACION DE EMISIONES EN PROYECTOS DE BIOENERGIA. Buenos Aires 19 Febrero 2009 Aquiles Neuenschwander A. [aquilesn@fia.gob.cl](mailto:aquilesn@fia.gob.cl).
- SEMARNAT (2017) .Subsecretaria General de Planificación y Dirección General de Políticas para el Cambio Climático. México
- UIS-IDEAM, 1999 Sistema de Información para la evaluación ambiental de sectores productivos .Convenio UIS-IDEAM, 1999. Colombia.

*Ricardo Manso Jiménez*. Sociedad Meteorológica de Cuba. Asociación Nacional de Economistas de Cuba. Filial Economía y Medio Ambiente. E-mail: [ricardo.mansojimenez@yahoo.com](mailto:ricardo.mansojimenez@yahoo.com).

**Conflictos de intereses:** El autor declara no presentar conflicto de interés

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/)