



Emisiones de metano procedentes del cultivo del arroz en Cuba

Methane emissions from rice cultivation in Cuba

Ernesto R. Carrillo-Vitale✉, Ricardo W. Manso-Jiménez✉

Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba

Resumen

Las emisiones de metano provenientes del cultivo de arroz en Cuba son bajas comparadas con las de otras categorías de fuentes, pero las incertidumbres asociadas en el cálculo son elevadas. En la actualidad se están subestimando las emisiones para esta categoría, disminuyendo su importancia dentro del total de las emisiones para el sector agrícola, por lo que es necesario contar con una mejor distribución de las áreas y tecnología de cultivo aplicables al grano para mejorar los factores de emisión existentes. Por otra parte, es una importante contribución a la disminución de las incertidumbres asociadas a estos factores, y a la estimación de metano por esta actividad. Con este trabajo se logran obtener factores diarios estimados de emisión de metano por tecnología y temporada de cultivo, disminuyéndose las incertidumbres, y corroborándose que las emisiones calculadas hasta la actualidad estaban siendo subestimadas.

Palabras clave: Arroz, metano, incertidumbres, emisiones, factor de emisión

Abstract

Methane emissions from rice cultivation in Cuba are low compared to other source categories, but the uncertainties associated with the calculation are high. Emissions are currently being underestimated for this category, decreasing their importance within the total emissions for the agricultural sector, so it is necessary to have a better distribution of areas and crop technology applicable to the grain to improve the factors existing emissions. On the other hand, it is an important contribution to the decrease of the uncertainties associated with these factors, and to the estimation of methane by this activity. With this work, we obtain daily estimated methane emission factors by technology and crop season, reducing the uncertainties, and corroborating that the emissions calculated to date were being underestimated.

Key words: Rice, methane, uncertainties, emissions, emission factor

✉ Autor para correspondencia: *Ernesto R. Carrillo-Vitale*. E-mail: ernesto.carrillo@insmet.cu

✉ Autor para correspondencia: *Ricardo W. Manso-Jiménez*. E-mail: ricardo.manso@insmet.cu

Recibido: 18/9/2017

Aceptado: 6/12/2017

INTRODUCCIÓN

La Asamblea General de las Naciones Unidas declaró el 2004 como el Año Internacional del Arroz. Este hecho no es casual porque este cereal se relaciona con el patrimonio cultural, el desarrollo social, de salud y hasta el paisaje de numerosas naciones. Es la comida básica de más de la mitad de la población mundial. Si lo comparamos con los demás alimentos de la Humanidad se trata del segundo cereal de importancia en el planeta, después del trigo.

A menudo el arroz es la principal fuente de empleo, ingresos y nutrición de muchas regiones pobres y con una alimentación precaria. Aunque la demanda global de arroz per cápita está disminuyendo, la demanda de este cereal, en su conjunto, continuará en aumento debido al crecimiento de la población y al aumento de los modelos de consumo en diferentes regiones, incluida África ([FAO, 2016](#)).

El cultivo del arroz repercute en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), al considerarse el campo de arroz como un pantano artificial. Al producirse por bacterias que viven en suelos inundados, el metano (CH₄) contribuye al efecto invernadero, y lo hace mucho más que el dióxido de carbono (CO₂), por poseer un potencial de calentamiento 21 veces superior a este.

Al descomponerse la materia orgánica que se encuentra en los arrozales inundados se produce CH₄, el cual se libera a la atmósfera fundamentalmente mediante el transporte a través de las plantas del arroz. La cantidad anual de CH₄ emitido desde una superficie dada de arroz estará en función de la cantidad y la duración de los cultivos de que se trate, de los regímenes hídricos previos al período de cultivo, y en el transcurso de éste, de los abonos orgánicos e inorgánicos del suelo. El tipo de suelo, la temperatura y el cultivar del arroz también afectan las emisiones de CH₄.

En la actualidad el Inventario de Emisiones y Remociones de Gases de Efecto Invernadero

en Cuba reporta para el 2012 una emisión de CH₄ por la producción de arroz alrededor de 9 700 toneladas al año, lo que representa el 5 por ciento de las emisiones de dicho gas en la agricultura cubana. Esto podría ganar en importancia debido a la importancia que se le está dando al cultivo del arroz nacional para poder responder a las exigencias de la canasta básica poblacional y a la disminución de las importaciones, amparado en un convenio de desarrollo del cultivo del arroz con el gobierno vietnamita ([Carrillo et al., 2015](#)).

Dichas emisiones en la actualidad se estiman por el método por defecto que muestra el Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) en sus guías de Inventario de GEI de 1996, la cual da un factor de emisión por defecto a nivel mundial, el cual es multiplicado por el área de cultivo y nos determina las emisiones de metano para dicho cultivo. Esto es una desventaja, pues la incertidumbre en las estimaciones es elevada, de aproximadamente el 50%. Por este motivo es necesario contar con un factor de emisión que se acerque más a la realidad nacional cubana, y al no poder obtener el mismo por mediciones, entonces se acude a las Guías del IPCC de 2006, las cuales brindan un método de estimación del factor de emisión a partir de datos de actividad propios del país.

MATERIALES Y MÉTODOS

La ecuación básica para la obtención de las emisiones de CH₄ en el cultivo del arroz es la presentada en la ecuación 1, la cual multiplica una serie de factores para poder arribar al factor de emisión diario de dicho gas para este cultivo ([IPCC, 2006](#)).

$$CH_4 = \sum_{i,j,k} (EF_{i,j,k} * t_{i,j,k} * A_{i,j,k} * 10^{-6}) \quad (1)$$

donde:

CH₄ - emisiones anuales de metano producidas por el cultivo del arroz, Gg CH₄ año⁻¹

EF_{ijk} - un factor de emisión diario para las condiciones i, j, y k, kg CH₄ ha⁻¹ día⁻¹

T_{ijk} - período de cultivo del arroz para las condiciones i, j, y k, días

A_{ijk} - superficie de cosecha anual de arroz para las condiciones $i, j, y k$, ha año⁻¹

$i, j, y k$ - representan los diferentes ecosistemas, regímenes hídricos, tipo y cantidad de abonos orgánicos y otras condiciones bajo las cuales pueden variar las emisiones de CH₄ producidas por el arroz.

Dentro de esta ecuación, el elemento prioritario lo constituye la determinación del factor ajustado de emisión diario (EF_i) para las condiciones de producción de arroz en Cuba a partir de la ecuación 2 de las mismas guías ([IPCC, 2006](#)).

$$EF_i = EF_c \cdot SF_w \cdot SF_p \cdot SF_o \cdot SF_{s,r} \quad (2)$$

donde:

EF_i - factor de emisión diaria ajustado para una superficie de cosecha dada

EF_c - factor de emisión básico para tierras inundadas permanentemente sin abonos orgánicos.

SF_w - factor de ajuste para compensar las diferencias del régimen hídrico durante el período de cultivo

SF_p - factor de ajuste para compensar las diferencias del régimen hídrico durante la etapa previa al cultivo

SF_o - El factor de ajuste variará según el tipo y cantidad de abono orgánico aplicado

$SF_{s,r}$ - Factor de ajuste para tipo de suelo, cultivar de arroz, si está disponible

Los datos utilizados para llevar a cabo dicho análisis son los obtenidos en las estadísticas nacionales de la Oficina Nacional de Estadísticas e Información de Cuba, en las cuales se encuentra el área total de arroz cultivada, la cual se subdivide en las diferentes tecnologías utilizadas y períodos de siembra, basados en un estudio realizado en la provincia de Pinar del Río en la campaña 2013 ([INCA, 2014](#)).

Para la estimación de las incertidumbres se hace alusión al método de nivel 1, el cual es basado en una ecuación de propagación del error. Este es un enfoque simplificado que posibilita calcular un indicador cuantitativo de la incertidumbre de las emisiones totales del

país, utilizando métodos aritméticos clásicos para la combinación de incertidumbres, asumiendo distribuciones Gaussianas típicas, variables independientes e incertidumbres menores que el 60%. Para realizar el cálculo de Nivel 1, lo primero que se requiere, es disponer de una estimación de la incertidumbre de los datos de actividad, factores y parámetros de emisión utilizados en cada categoría de fuente, los cuales se obtiene por defecto de las propias guías del IPCC. La ecuación de propagación del error incluye dos reglas convenientes para combinar incertidumbres no correlacionadas bajo adición y multiplicación las que se describen en detalle en IPCC-GPG 2000 ([IPCC, 2000](#)).

- Regla A: Para los casos en que las cantidades inciertas tienen que ser combinadas por adición, la desviación estándar de la suma, será la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las desviaciones estándar de las cantidades que son adicionadas con las desviaciones estándar, todas expresadas en términos absolutos (esta regla es exacta para variables no correlacionadas). Utilizando esa interpretación, es posible obtener una ecuación simple para la incertidumbre de la suma la que, cuando es expresada en términos de porcentajes ([IPCC, 2000](#)), se transforma en:

$$U_{total} = \frac{\sqrt{(U_1 \times X_1)^2 + (U_2 \times X_2)^2 + \dots + (U_n \times X_n)^2}}{X_1 + X_2 + \dots + X_n} \quad (3)$$

donde:

U_{total} - Es el porcentaje de incertidumbre en la suma de las cantidades (mitad del intervalo de confianza del 95% dividido por el total (es decir media), y expresada como porcentaje).

X_i y U_i - Son las cantidades inciertas y el porcentaje de incertidumbre asociado con ellas, respectivamente.

- Regla B: Para los casos en que las cantidades inciertas tienen que ser combinadas por multiplicación, se aplica la misma regla anterior, excepto que todas las desviaciones estándar deben ser expresadas como

fracciones de los valores medios apropiados (esta regla es aproximada para todas las variables aleatorias). Una ecuación simple puede también ser obtenida para la incertidumbre del producto, la que expresada en términos porcentuales queda como (IPCC, 2000):

$$U_{total}(\%) = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2} \quad (4)$$

donde:

$U_{total}(\%)$ - Es el porcentaje de incertidumbre en el producto de las cantidades (mitad del intervalo de confianza del 95% dividido por el total y expresado como un porcentaje).

U_i - Son los porcentajes de incertidumbres asociadas con cada una de las cantidades.

La incertidumbre combinada representada en la ecuación 5 no es más que la raíz cuadrada de la suma de los errores relativos en los diferentes datos de entrada que se utilizan en el cálculo de la emisión. La conversión desde $U_{total}(\%)$ a U_{factor} y al contrario deberá ser realizada con la fórmula siguiente (IPCC, 2000):

$$U_{factor} = 1 + \frac{U_{total} \%}{100\%} \quad (5)$$

donde:

U_{factor} - El intervalo de confianza del 95%, expresado como un factor

$U_{total} \%$ - El intervalo de confianza del 95%, expresado como un porcentaje

El inventario de emisiones y remociones de gases de invernadero, es principalmente la suma de productos de factores emisión, parámetros de emisión y tasas de actividad (datos de actividad). Las reglas A y B pueden ser utilizadas repetidamente para estimar las

incertidumbres del inventario total. En la práctica, las incertidumbres encontradas en las categorías de fuentes del inventario varían desde un pequeño porcentaje hasta órdenes de magnitud y en algunos casos pudieran estar correlacionadas. Esto no es totalmente consistente con las asunciones de las Reglas A y B de que las variables no están correlacionadas. No obstante, aún bajo esas circunstancias, las Reglas A y B pueden ser utilizadas para obtener un resultado aproximado.

En el método de Nivel 1, se estiman las incertidumbres utilizando la ecuación de propagación del error en dos pasos:

- Primero: Se utiliza la Regla B para combinar rangos de factores de emisión y datos de actividad por categoría de fuentes y GEI.
- Segundo: Se utiliza la Regla A para obtener la incertidumbre general en las emisiones nacionales, así como la tendencia en las emisiones nacionales entre el año base (1990) y el año actual (en este caso el resto de los años pares del período 1990 – 2010 que fueron evaluados).

El método de Nivel 1 fue implementado mediante el uso de la tabla que se presenta en el Cuadro 6.1 de las IPCC-GPG 2000 (IPCC, 2000) para el cálculo y presentación de la incertidumbre en el Nivel 1. Esta tabla fue completada al nivel de categoría de fuente, utilizando los rangos de incertidumbre para datos de actividad y factores de emisión, seleccionados previamente.

A continuación, se presentan en la [tabla 1](#) las distintas tecnologías de cultivo de arroz con sus respectivas áreas y campañas, para el año 2012 en Pinar del Río, en la cual el área de cultivo en

Tabla 1. Área sembrada por tecnología y campaña en Pinar del Río. Año 2012 ([INCA, 2014](#)).

Tecnología	Área sembrada (ha)	
	Invierno	Primavera
Seco	88041.38	36487.97
Fangueo	4447.40	1843.12
Seco desinfección	-	24419.12
Fangueo desinfección	-	47469.02
TOTAL	92488.77	110219.23

la primavera supera a la de invierno en 8 puntos porcentuales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En su forma más simple la [ecuación 1](#) se aplica utilizando datos de actividad nacionales (es decir, período de cultivo de arroz promedio y superficie cosechada a nivel nacional) y un único factor de emisión. Sin embargo, las condiciones naturales y la gestión agrícola de la producción de arroz pueden ser muy variables dentro de un mismo país. Dicho esto, constituye una buena práctica tener en cuenta esta variabilidad desagregando la superficie total cosechada a nivel nacional en subunidades.

Existen una serie de condiciones que inciden sobre las emisiones de CH₄ producidas por el cultivo del arroz. Entre ellas se pueden citar, las diferencias en las prácticas de cultivo del arroz, multiplicidad de cultivos, régimen hídrico en el que inciden el tipo de ecosistema y las pautas de inundación, así como los agregados orgánicos a los suelos, entre otras condiciones como el tipo de suelo.

En total, para Pinar del Río se hace uso de cuatro tecnologías de cultivo en dos campañas de siembra, las cuales se exponen a continuación a partir del informe del [INCA \(2014\)](#).

La tecnología *seca* se caracteriza por presentar un inundado intermitente donde los suelos tienen una única aireación de más de 3 días durante la temporada de cultivo en cualquiera de las etapas de crecimiento (a excepción del drenaje de fin de temporada) con 84 días en aniego y 120 días entre el cultivar y la cosecha. Por su parte, la tecnología *fanguero*, se caracteriza por presentar un inundado

intermitente donde los campos tienen más de un período de aireación de 3 días como mínimo durante la temporada de cultivo (a excepción del drenaje de fin de temporada), este generalmente se presenta con 99 días de aniego y la duración del cultivo es de 125 días ([Carrillo et al., 2017](#)).

La *desinfección* se caracteriza por estar en un régimen inundado intermitente donde los campos tienen más de un período de aireación de 3 días durante la temporada de cultivo, presentan 100 o más días de aniego, y entre 125 y 130 días de duración del cultivo ([Carrillo et al., 2017](#)).

No se tienen en cuenta los agregados orgánicos ya que generalmente los residuos vegetales y la paja de la cosecha no se incorporan al suelo, fundamentalmente por no contar con los medios necesarios para esta actividad, ni tampoco se aplican otros tipos de abonos orgánicos. .

En cuanto a la temporada, se determinó que para la campaña de *primavera* los campos no se inundan en un período mayor a los 180 días antes de cultivar el campo, mientras que, en la campaña de *invierno* los campos no se inundan en un período menor a los 180 días antes de cultivarlos ([Carrillo et al., 2017](#)).

Entonces aplicando la [ecuación 2](#) antes mencionada, y apoyándonos en los cuadros del 5.11 al 5.13 de las Guías del [IPCC \(2006\)](#) se realiza el cálculo del factor de emisión diario de CH₄ para el cultivo del arroz en Cuba, quedando como sigue a continuación en la [tabla 2](#).

Como se puede observar el factor de emisión diario de metano en el cultivo del arroz es mayor en la campaña de invierno que la del

Tabla 2. Factores de emisión diario según tecnología y campaña

Tecnología	Factor de emisión medio diario (kg de CH ₄ /día)	
	Primavera	Invierno
Seco	0.53	0.78
Fanguero	0.46	0.68
Seco desinfección	0.46	0.68
Fanguero desinfección	0.46	0.68
PROMEDIO	0.48	0.71

verano, influyendo el régimen hídrico pre cultivo, el cual tendrá un factor mayor en el invierno, debido a la inundación del campo en un período menor a los 180 días antes de comenzar el cultivo.

Al aplicar la [ecuación 1](#), se obtiene que las emisiones serán mayores en la temporada de invierno ya que posee mayor factor de emisión diario, y no existe mucha diferencia entre el área cultivada en ambas temporadas. La temporada de invierno representa el 56 % de las emisiones de CH₄ por cultivo del arroz en Cuba, lo que indica que es donde se debe tomar mayor conciencia de manejo del cultivo (Tabla 3).

Del total de emisiones estimadas, aproximadamente el 70 por ciento le pertenece a la tecnología seco, y apenas el 20 por ciento al *fanguero desinfección*, lo que deja apenas el 10 por ciento para las otras dos tecnologías de estudio ([Tabla 3](#)).

En total se emitieron un poco más de 15 mil de toneladas de metano en el cultivo de arroz en Cuba, lo cual es un aumento del 63% con respecto a las emisiones estimadas con el método 1 simple de las Guías del IPCC de 1996 para el mismo año de estudio en el Inventario Nacional de Emisiones y Remociones de GEI (INERGEI) en Cuba ([Tabla 3](#)).

Las incertidumbres son inevitables en cualquier estimación nacional de las emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero. Algunas de las causas más comunes de estas son: la diferencia en la interpretación de las categorías de fuentes y sumideros u otros supuestos, el uso de representaciones simplificadas con valores “medios”

especialmente los factores de emisión, la incertidumbre de los datos básicos y la incertidumbre inherente a la comprensión científica de los procesos básicos que conducen a las emisiones y absorciones.

Los estimados de incertidumbre son un elemento esencial de un inventario de emisiones, principalmente para comparar las emisiones determinadas. No obstante, la determinación de incertidumbres en los inventarios de emisiones de gases de invernadero es una tarea compleja, dado que los valores de emisión calculados dependen de un elevado y variado número de parámetros y datos de entrada. En la práctica, no es posible conocer todos estos parámetros y datos con exactitud y por esto a los que se utilizan en los cálculos se les denomina como “las mejores estimaciones disponibles”.

Desde el punto de vista estadístico, “una incertidumbre es un parámetro asociado con el resultado de mediciones y que caracteriza la dispersión de los valores que puede ser razonablemente atribuida a la cantidad medida (por ejemplo, la varianza de la muestra) (citado por [Carrillo et al., 2015 de IPCC, 2000](#)).

Desde el punto de vista para los inventarios la incertidumbre puede considerarse “como un término general e impreciso que refleja la ausencia de certidumbre (en los componentes del inventario), como consecuencia de cualquier factor causal tal como fuentes y sumideros no identificados, ausencia de transparencia, etc...” ([IPCC, 2000](#)).

El análisis de incertidumbre de un modelo se destina a proporcionar mediciones cuantitativas

Tabla 3. Emisiones de metano (toneladas) por cultivo del arroz en Cuba por tecnología y campaña en comparación al estimado en el INERGEI ([Carrillo et al, 2015](#)).

Tecnología	Campañas		INERGEI ¹
	Invierno	Primavera	
Seco	8240.67	2322.39	
Fanguero	375.80	105.91	
Seco desinfección		1403.12	9730.00
Fanguero desinfección		2836.67	
TOTAL	8616.48	6668.09	

de la incertidumbre de los valores de salida provocada por las propias incertidumbres del modelo y sus valores de entrada, así como a examinar la importancia relativa de esos factores. En este caso, un aspecto importante de un análisis de incertidumbres concierne a las vías sobre cómo expresar las incertidumbres asociadas con estimados individuales del inventario total.

En el caso de la determinación de las incertidumbres en los datos de actividad y factores de emisión se hicieron a partir de los valores recomendados en las Guías del IPCC de 2006. Para el apoyo de las valoraciones de juicio de expertos se utilizó el esquema de clasificación incluido en la [tabla 4](#).

Los factores que influyen en la cantidad de CH₄ emitida en el cultivo del arroz son varios, entre ellos podemos citar los expuestos en la [ecuación 2](#) del [IPCC 2006](#). Por ejemplo, para el factor de emisión básico para tierras inundadas permanentemente sin abonos orgánicos el rango de error oscila en 38 por ciento, al cual se le asigna una incertidumbre del 25%. El factor de ajuste para compensar las diferencias del régimen hídrico durante el período de cultivo posee un rango de error del 23 por ciento, por lo que se le asigna una incertidumbre del 25%, mientras que factor de ajuste para compensar las diferencias del régimen hídrico durante la

etapa previa al cultivo al tener un rango de error del 14 por ciento se le asigna una incertidumbre del 10%.

Una vez que han sido determinadas las incertidumbres en los datos de actividad y los factores y parámetros de emisión de cada categoría de fuente del inventario, estas pueden combinarse con el objetivo de obtener estimados de incertidumbres para las categorías de fuentes, los sectores, el inventario completo en cualquier año, así como la incertidumbre en la tendencia general en el tiempo.

Al analizar la [tabla 5](#) puede observarse que las incertidumbres para los datos de actividad se comportan bajas, esto debido fundamentalmente a que los datos de la producción de arroz fueron obtenidos de los anuarios estadísticos de la ONEI, y estos tienen una muy elevada calidad. Los factores de emisión presentan una incertidumbre del 37%, lo que equivale a una incertidumbre media y una calidad media, debido fundamentalmente a que los expertos escogieron los datos propuestos en las Guías del IPCC de 2006, con incertidumbres variables entre los distintos factores. Y la incertidumbre combinada entre los datos de actividad y los factores de emisión se comporta como media y una calidad media, siendo de aproximadamente el 22%.

Tabla 4. Esquema para la clasificación de incertidumbres de [Oliver \(2002\)](#), citado de [Valentín \(2008\)](#).

Rango (±)	Incertidumbre (±%)	Factor de incertidumbre (FI) ¹	Calidad (descripción cualitativa)	Incertidumbre (descripción cualitativa)
2-10%	5%	1,05	Muy Alta	Muy baja
5-20%	10%	1,1	Alta	Baja
10-50%	25%	1,25	Media (alta)	Media
20-100%	50%	1,5	Media (baja)	Alta
50-150%	100%	2	Baja	Muy Alta
100-400%	200%	3	Muy Baja	Extremadamente Alta

Tabla 5. Resultados de la combinación de incertidumbres para las emisiones de CH₄ en el cultivo del arroz

Estación	Tecnología	Emisiones CH ₄ (ton)	Incertidumbre del dato de actividad %	Incertidumbre del factor de emisión %	Incertidumbre combinada %	Incertidumbre combinada como % del total de emisiones
Primavera	Seco	2322.39	5.00	37.08	37.42	32.32
Primavera	Fangueo	105.91	5.00	37.08	37.42	0.07
Primavera	Seco desinfección	1403.12	5.00	37.08	37.42	11.80
Primavera	Fangueo desinfección	2836.67	5.00	37.08	37.42	48.22
Invierno	Seco	8240.67	5.00	37.08	37.42	406.93
Invierno	Fangueo	375.8	5.00	37.08	37.42	0.85
Total		15284.56				22.36

CONCLUSIONES

- Se logran nuevos factores de emisión de metano en el cultivo del arroz por tipo de tecnología y temporada.
- Se disminuye la incertidumbre en la estimación de las emisiones de metano por el cultivo del arroz, la cual es de 22.36%, lo que equivale a una calidad media en la estimación de las emisiones.
- En la actualidad, el INERGEI está subestimando las emisiones de metano procedentes del cultivo del arroz en más de 5 mil toneladas al año.

REFERENCIAS

- Carrillo E., R. Manso, C. Sosa, Y. González, A. León, A. V. Guevara, C. González, D. Boudet, M. Amarales, R. Biart, I. López, H. Ricardo, A. Mercadet, A. Álvarez, Y. Rodríguez (2015): “Emisiones y Remociones de Gases de Efecto Invernadero en Cuba. Reporte Actualizado para el período 1990-2010”. CITMA/AMA/Instituto de Meteorología. La Habana, Cuba.
- Carrillo E., R. Manso, C. Sosa, Y. González, J. Bolufé, D. Boudet, A. León, A. V. Guevara, C. González, S. Pire, M. Amarales, R. Biart, I. López, H. Ricardo, A. Mercadet, A. Álvarez, Y. Rodríguez (2016): “Resumen Ejecutivo del Inventario de Emisiones y Remociones de Gases de Efecto Invernadero en Cuba. Reporte Actualizado para el período 1990-2012”. CITMA/AMA/Instituto de Meteorología. La Habana, Cuba.
- Carrillo *et al.* (2017): “Disminución de las incertidumbres en los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero: Estudio de caso para los períodos 1990-2012 y 1990-2014”. Informe Final de Proyecto. Instituto de Meteorología. Inédito.
- FAO (2016): “El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Cambio climático, agricultura y seguridad alimentaria”. ISBN 978-92-5-309374-8. Roma.
- INCA (2014): “Interpretación del IPCC 2006 para la determinación de las emisiones de CH₄ en el cultivo del arroz en Pinar del Río durante la campaña 2013”. Informe técnico. Pinar del Río, Cuba.
- IPCC-OECD-IEA (1997): “Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories”. Volumes I, II, III. IPCC – PECD – IEA, Paris.
- IPCC (2000): “Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories”. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme. IGES, Japan.
- IPCC (2006): “2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

- Volumes I, II, III, IV, V”. IPCC – NGGIP, Japan.
- ONEI (2014): “Anuario Estadístico de Cuba, 2013. Oficina Nacional de Estadísticas e Información. Cuba.
- Valentín P. (2008): “Determinación de factores de emisión de metano aplicados a la fermentación entérica del ganado vacuno”. Comunicación personal.