

Inventarios de Gases de efecto invernadero de las escuelas primarias de Belén, Heredia, Costa Rica

Esteban Salazar-Acuña

Maestría en Gestión de Recursos Naturales y Tecnologías de Producción, Instituto Tecnológico de Costa Rica. esteban2085@gmail.com

Recibido 25-V-2015 • Corregido 17-VI-2015 • Aceptado 10-VII-2015

ABSTRACT: Greenhouse gases produced by primary schools in Belén, Heredia, Costa Rica. There is no published information on greenhouse gas emission in public schools of Costa Rica. Using as reference the national voluntary standard INTE / ISO 12-01-06: 2011 I measured emissions in three primary schools: Escuela España, Escuela Fidel Chaves and Escuela Manuel Pilar Zumbado González. The estimates were made using emission factors from the National Meteorological Institute in 2013 as the reference year. The WARM model was used for removal emissions. The main sources were CH₄ generation caused by the production of solid waste (69% in España, 70% in the Chavez and 67% in Zumbado) and wastewater management (28.4% in España, 28.8% in Chaves and 27.6% in Zumbado). These were followed by the generation of CO₂e by electricity consumption (1.97% in the España, 1.83 in Chaves and 3.1% in Zumbado). The three schools show a similar trend in sources and emissions. This similarity suggests that the management of GHG emissions should focus on these sources in public primary schools in urban areas.

Key words: Climate change, public schools, Voluntary national standard.

RESUMEN: En Costa Rica se han ido implementado medidas y compromisos para reducir la emisión de gases de efecto invernadero, sin embargo los centros educativos a nivel público no cuentan con un plan de acción ni existen iniciativas para el cálculo de las emisiones y remociones de estos gases. Por ello apliqué la norma nacional INTE/ISO 12-01-06:2011 para estimar las emisiones de gases de tres centros educativos del cantón de Belén, Heredia, Costa Rica: La Escuela España, La Escuela Fidel Chaves y la Escuela Manuel del Pilar Zumbado González. Las estimaciones se realizaron para cada centro educativo utilizando los factores de emisión del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) para el 2013 y para estimar remociones utilicé el modelo WARM. La principal fuente de emisión de gases es la generación de CH₄ causada por la producción de residuos sólidos (69% en la E. España, 70% en la E. Chávez y 67% en la E. Zumbado) y por manejo de aguas residuales (28.4% en la E. España, 28.8% en la E. Chávez y 27.6% en la E. Zumbado). En segundo lugar se encuentra la generación de CO₂e por el consumo eléctrico (1,97% en la E. España, 1,83 en la E. Chaves y 3,1% en la E. Zumbado). Las tres escuelas muestran un comportamiento similar en las fuentes y magnitudes de emisión. Se debe mejorar el manejo de los residuos sólidos, aguas residuales y el consumo de electricidad.

Palabras clave: Cambio climático, emisiones, escuelas, Norma nacional voluntaria.

La cantidad de gases de efecto invernadero en la atmósfera está cambiando, esto es una realidad inequívoca que es causada indirectamente por el rápido crecimiento de la población y el incremento en los hábitos de consumo de los recursos naturales (Vitousek, 1994; IMN, 2012). Para 1961, la mayoría de los países del mundo eran capaces de satisfacer su propia demanda de recursos naturales. Sin embargo, para el 2005 esta situación cambió radicalmente, ya que muchos países solamente sostuvieron sus procesos a través de la importación de recursos, con el consecuente uso de la atmósfera global como sumidero de dióxido de carbono (CEPAL, 2009). Estos cambios se ha comprobado que podrían ser perjudiciales para la humanidad (IMN, 2009).

Debido a esta preocupación, en 1988 la organización de las Naciones Unidas (ONU) y el Instituto Meteorológico Mundial (IMM) formaron el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) para evaluar e interpretar los cambios en el clima a nivel mundial (Montes de Oca & Arce, 2011).

En 1992 se establece el convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, con el objetivo de la estabilización de los gases a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas para el sistema climático. Este convenio fue firmado por 155 países, incluyendo a Costa Rica (Montes de Oca y Arce, 2011; IMN, 2009).

En 1997 se estableció el Protocolo de Kioto, con la cual 187 países adquirieron compromisos para reducir sus emisiones de gases a la atmósfera, por medio de acciones estratégicas (Protocolo de Kioto, 1998). Este protocolo está vigente desde febrero de 2005 y fue ratificado en Costa Rica mediante la Ley N° 8219 (SCIJ, 2014).

En Costa Rica, la agenda de Cambio Climático fue establecida como una prioridad en el Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2006-2012. En el 2007 se propone la Estrategia Nacional de Cambio Climático a través del Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET), por medio del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) y la Oficina Costarricense de Implementación Conjunta (OCIC). El IMN/OCIC ha creado y concentrado el conocimiento e información referente a la temática en el país. Se han presentado tres comunicaciones ante la secretaría de Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) sobre la vulnerabilidad de los sectores forestal, agricultura, hídrico y recursos costeros. La primera comunicación fue presentada en el 2000, la segunda en el 2005 (IMN, 2009) y la tercera en el 2014 (IMN, 2014).

Además, existen inventarios de gases de efecto invernadero a nivel nacional en el 2000, el 2005 y el 2010 (IMN, 2014) que permiten cuantificar las emisiones del gases y planificar las acciones de adaptación, mitigación y compensación necesarias para cumplir con la meta de Carbono Neutralidad en el 2021.

La Estrategia Nacional de Cambio Climático, coloca a la educación y la sensibilización como ejes transversales que buscan la realización de acciones específicas. Dentro de estas acciones se establece que el tema de la educación es necesario propiciar acciones específicas en escuelas, colegios y universidades que ayuden en la mitigación y adaptación al cambio climático (IMN, 2009). Sin embargo, en los centros educativos públicos a nivel de primaria y secundaria, la estrategia para alcanzar la carbono neutralidad ha sido enfocada en la implementación del Programa de Bandera Azul Ecológica para Centros Educativos, de manera que a mediano plazo se puedan contabilizar las acciones que los CE realizan para mitigar y compensar la huella de carbono (Guerrero & Morales, 2012).

El objetivo de este trabajo fue realizar los inventarios de Gases de Efecto Invernadero de los tres Centros Educativos Públicos de Primaria del cantón de Belén acorde a la norma INTE/ISO 14064-1: 2011, con el fin de establecer parámetros para la mitigación de las emisiones en estas instituciones.

MÉTODOS

Este trabajo de investigación lo desarrollé en las tres escuelas públicas de primaria del cantón de Belén (Figura 1), provincia de Heredia, Costa Rica. Belén en la actualidad es un Cantón con una población de aproximadamente 24000 habitantes (Municipalidad de Belén, 2012). Cada distrito posee un centro educativo público para atender a la población de primaria:

E. España: Se ubica en el distrito de San Antonio de Belén. La institución contó con aproximadamente 1000 estudiantes matriculados para el 2013.

E. Chaves: está localizado en el distrito de La Ribera de Belén. La institución contó con una matrícula anual aproximada de 908 estudiantes en el 2013.

E. Zumbado: se encuentra en el distrito de La Asunción de Belén. La institución está separada en tres edificios divididos por la principal vías de ingreso al Cantón.

Inventarios de gases: Se realizó un inventario de emisiones de gases de las actividades realizadas por cada escuela de primaria, en donde fueron clasificadas en tres categorías: emisiones directas, indirectas y otras. Este inventario utilizó como año base el período contemplado entre enero de 2013 a diciembre de 2013. Para la realización de estos inventarios, se utilizó la metodología aceptada en la norma INTE 12-01-06: 2011. La definición de los límites de los inventarios utilizó el enfoque de control para cada escuela. Se usaron valores conservadores en el cálculo de las emisiones de gases por esta fuente, para evitar subestimar la cantidad emitida de gases y para no sobreestimar la reducción o remoción de CO₂ por parte de los sumideros institucionales.

Emisiones directas: para todos los centros educativos determiné 3 fuentes de emisiones de gases: Consumo de GLP en los comedores escolares, recarga de extintores con agentes extintores de CO₂ y los sistemas refrigerantes. Sin embargo, la cuantificación de los sistemas refrigerantes no se realizó ya que por la falta de revisiones a los equipos por encontrarse en óptimas condiciones. Dentro de las estimaciones realizadas no se incluyeron las emisiones por fuente móviles (vehículos), ya que ninguna de las instituciones cuenta con vehículos asignados o controles administrativos del transporte de estudiante fuera de las instituciones.

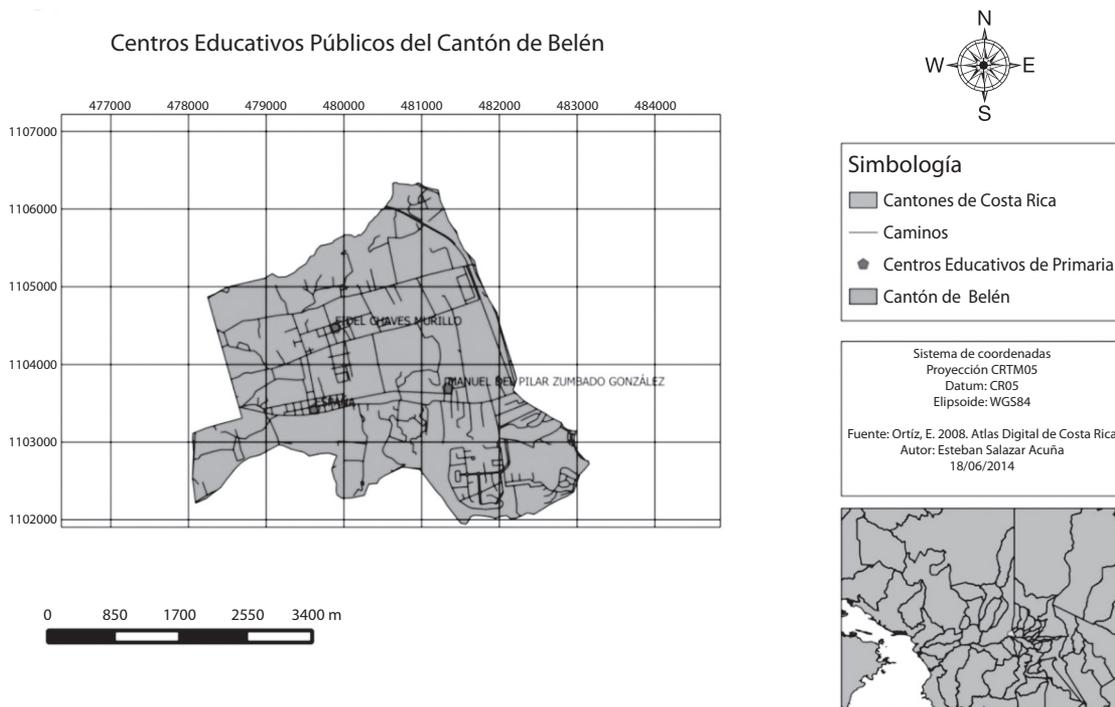


Fig. 1. Ubicación de los centros educativos de primaria del Cantón de Belén.

Emisiones por consumo de GLP: Se registró el consumo del Gas Licuado de Petróleo (GLP) de los comedores escolares. Esta información se registró en cantidad de cilindros consumidos por mes. Se revisaron las etiquetas de los cilindros en cada comedor y se estableció el consumo en litros de gas por mes en cada comedor. Para el cálculo de las toneladas de CO_2 emitidas, se utilizó el factor de emisión para GLP presentados por el IMN para el 2013, el cual se definió como $1,61 \text{ kg de } \text{CO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$ de GLP, $1,77 \cdot 10^{-4} \text{ kg de } \text{CH}_4 \cdot \text{L}^{-1}$ de GLP y $2,554 \cdot 10^{-7} \text{ kg de } \text{NO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$ de GLP (IMN, 2013), Esta información fue expresada en $\text{Mg } \text{CO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$ GLP ($\text{tCO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$ GLP).

Emisiones por recargas de extintores de CO_2 : Se registraron los extintores de CO_2 , en los cuales se registró la capacidad de cada extintor. Los extintores por norma son recargados anualmente, por lo que se estableció que las emisiones por recarga de extintores es igual a la capacidad total de los equipos instalados.

Emisiones indirectas: En el caso de las emisiones indirectas, para las tres escuelas, se identificó solamente el consumo de energía eléctrica como fuente indirecta asociada al alcance definido en cada institución.

Emisiones por consumo eléctrico: Se determinó el consumo eléctrico de las escuelas por medio de la revisión de los historiales presentados en las facturas emitidas por la CNFL, empresa encargada de suministrar el servicio en el cantón de Belén. El consumo se midió en kWh para todos los medidores. Para estimar las emisiones de gases, se utilizó el factor de emisiones del 2013 para la producción eléctrica brindada por el IMN. El factor de emisiones para la producción de energía eléctrica fue de $0,13 \text{ kg de } \text{CO}_2 \cdot \text{kWh}^{-1}$. Esta información fue expresada en $\text{Mg } \text{CO}_2 \cdot \text{kWh}^{-1}$ ($\text{tCO}_2 \cdot \text{kWh}^{-1}$).

Emisiones por la generación de residuos sólidos: Se determinó la emisión de metano por la generación de los residuos sólidos. Para estimar la cantidad de residuos producidos se estableció a través del Estudio de Generación y Caracterización de los Residuos Sólidos del Cantón de Belén (CEGESTI, 2011). Para la estimación de las emisiones de CH_4 , se utilizó el factor de emisiones del IMN para el 2013. Este factor fue de $0,0581 \text{ kg } \text{CH}_4 \cdot \text{kg RS}^{-1}$. La información obtenida fue expresada en $\text{Mg } \text{CH}_4 \cdot \text{año}^{-1}$ ($\text{tCH}_4 \cdot \text{año}^{-1}$) para fines de este trabajo de investigación.

Emisiones por producción de aguas residuales: En el caso de las emisiones de metano por la producción de

aguas residuales se utilizó la producción de metano por medio del factor de emisión de gases presentados por el IMN para el 2013. Este factor de emisiones fue de 4,38 kg CH₄·persona⁻¹·año⁻¹. En este caso se utilizó el factor de emisión, ya que no se cuenta con datos específicos para la región acerca de las variables influyentes a la generación de CH₄, por lo que la confiabilidad no se puede establecer. La estimación se realizó utilizando la población presente en el 2013 para cada centro.

Remociones de gases de efecto invernadero: las remociones de gases encontradas se limitaron a la reducción de residuos sólidos por la implementación de programas internos de separación y reciclaje. Por ello, para estimar las remociones de gases, se utilizaron los valores de generación de gases presentados por el WARM (Waste Reduction Model) de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. Para los tres centros educativos, los materiales incluidos en los cálculos de reducción fueron papel, aluminio (latas), cartón, vidrio, polietileno de alta densidad (HDPE) y tereftalato de polietileno (PET), ya que fueron los residuos que

actualmente son valorizados en las escuelas del cantón de Belén. Para cada uno de los materiales valorizables se aplicó la equivalencia del modelo WARM para la reducción de emisiones de gases. En el caso de los plásticos, se utilizó el factor de emisión utilizado para el plástico mixto. Este factor asume una proporción de 61% de PET y 39% de HDPE en la composición de los residuos plásticos (EPA, 2014). En el caso del papel, cartón y vidrio, se utilizaron los valores específicos del modelo para estos materiales (Cuadro 1).

RESULTADOS

Fuentes de emisión y remociones de gases: Con base en la delimitación de los alcances para cada escuela, se determinaron las fuentes de emisiones de gases en cada institución. En general, las fuentes de emisiones encontradas fueron las mismas, ya que las actividades que se realizan dentro de los alcances institucionales de los centros educativos son similares. Las fuentes encontradas se describen en el Cuadro 2.

CUADRO 1
Factores de emisión expresados en Mg CO₂e para los residuos valorizables separados según el modelo WARM-EPA

Tipo de material	Emisiones por separación en la fuente	Emisiones reducidas por reciclaje de materiales	Total de emisiones reducidas
Papel	NA	3,59	3,59
Cartón	5,59	3,12	8,71
Plásticos	NA	1,03	1,03
Aluminio	4,92	9,11	14,03
Vidrio	0,52	0,28	0,80

CUADRO 2
Fuentes de emisiones y remociones de gases encontradas en los centros educativos de primaria del cantón de Belén

Fuentes de emisiones

Tipo de emisión	Fuentes	Metodología	Componente	Unidad	Factor de emisión
Directa	Combustible	IMN (2013)	GLP	Litros	1,61 · 10 ⁻³ Mg CO ₂
					1,277 · 10 ⁻⁴ Mg CH ₄
					2,554 · 10 ⁻¹⁰ Mg N ₂ O
Indirectas	Extintores	Medición Directa	CO ₂	kg	1
	Consumo eléctrico	IMN (2013)	Electricidad	kWh	1,3 · 10 ⁻⁴ Mg CO ₂ e
	Generación de residuos	IMN (2013)	CH ₄ generado	NA	NA
	Aguas residuales	IMN (2013)	CH ₄ generado	NA	4,38 · 10 ⁻³ Mg CH ₄ ·persona·año ⁻¹
Fuentes de remociones					
	Reciclaje de residuos	WARM-EPA	Residuos	Mg	3,59 Mg CO ₂ e·Mg papel ⁻¹ 8,87 Mg CO ₂ e·Mg cartón ⁻¹ 1,03 Mg CO ₂ e·Mg plástico ⁻¹ 14,03 Mg CO ₂ e·Mg Aluminio ⁻¹ 0,8 Mg CO ₂ e·Mg vidrio ⁻¹

Inventarios de gases de los centros educativos:

E. España: Las emisiones se calcularon en 313,2 Mg CO₂e para el año de referencia. La fuente con mayor aporte de emisiones fue la generación de CH₄ en la generación de residuos (69,0%), seguido por la generación de CH₄ debido a las aguas residuales producidas (28,4%) y las emisiones por el consumo de electricidad (1,97%). El 0,64% restante de las emisiones fueron producidas por el consumo de GLP y la recarga de extintores. En el caso de las remociones, la única actividad que remueve gases en la institución es el proceso de separación y reciclaje interno que alcanzó una remoción estimada de 10,4 Mg CO₂e (Cuadro 3). La generación de CO₂e *per capita* fue de 0,313 Mg CO₂e-persona⁻¹·año⁻¹.

E. Chaves: las emisiones totales fueron de 268,8 Mg CO₂e, en donde la generación de CH₄ causada por la producción de residuos sólidos en la institución fue de 203,85 Mg CO₂e (70,0%), seguido por la generación de CH₄ por el tratamiento de aguas residuales (28,8%) en el año de referencia. El consumo eléctrico solamente produjo 1,82 Mg CO₂e en el 2013. El 0,6% restante de las emisiones fueron producidas por el consumo de GLP y la recarga de extintores. Los sistemas de refrigeración se encontraron en buen estado y no se realizó cambios en los gases refrigerantes, por lo que para el período de estudio no se registraron emisiones (Cuadro 4). Al igual que la E. España, la E. Chaves mantuvo una tendencia a la generación de residuos principalmente provocada por las fuentes indirectas. La generación de CO₂e *per capita* fue de 0,296 Mg CO₂e-persona⁻¹·año⁻¹.

E. Zumbado: es la institución más pequeña en población estudiada. Sin embargo, de manera similar a las dos escuelas anteriores, la generación de CH₄ por residuos sólidos fue la fuente más importante de gases (67,0% de las emisiones), seguida de aguas residuales (27,6%) y el consumo de energía eléctrica (3,1%). Sin embargo, las remociones por la actividad de reciclaje de residuos sólidos fue la más significativa de las tres instituciones estudiadas (24,8% de las emisiones totales brutas). El 2,3% restante de las emisiones fueron producidas por el consumo de GLP y la recarga de extintores. Para el 2013, la institución alcanzó emisiones netas de gases por 117,83 Mg CO₂e (Cuadro 5). La generación de CO₂e *per capita* fue de 0,250 Mg CO₂e-persona⁻¹·año⁻¹.

En resumen, la E. España fue la institución con la mayor cantidad de emisiones netas registradas en los inventarios, seguida por la E. Chaves y por último la E. Zumbado. En las tres instituciones la generación de residuos fue la principal fuente encontrada, seguida de la generación de gases por el tratamiento de aguas residuales y el consumo eléctrico (Figura 2).

DISCUSIÓN

Los inventarios encontrados en los tres centros educativos de primaria del cantón muestran que la principal fuente de gases es la generación CH₄ por residuos sólidos, las aguas residuales y el consumo eléctrico. No poseen fuentes directas con emisiones significativas, por lo

CUADRO 3
Inventario de emisiones y remociones de gases de la Escuela España para el año 2013

Fuentes	Gases	Metodología	Factor de emisión	Registro	PCG	kg CO ₂ e	Mg CO ₂ e
Tipos de Emisiones							
Directas							
Consumo de GLP	CO ₂	IMN (2013)	1,61 kg CO ₂ ·L ⁻¹	773,82	1	1245,85	1,25
	CH ₄		0,1277 g CO ₂ ·L ⁻¹	773,82	21	2,05	2,0·10 ⁻³
	N ₂ O		2,554·10 ⁻³ g CO ₂ ·L ⁻¹	773,82	310	0,06	6,0·10 ⁻⁵
Extintores	CO ₂	Registro directo	1	14	1	14	0,014
Indirectas							
Electricidad	CO ₂	IMN (2013)	0,13 kg CO ₂ e·kWh ⁻¹	49176		49176	6,39
Otras fuentes indirectas							
Generación de residuos	CH ₄	IMN (2013)	0,0581 kg CH ₄ ·kg ⁻¹ RS	999 personas	21	224273	224,27
Aguas residuales	CH ₄	IMN (2013)	4,38·10 ⁻³ Mg CH ₄ ·persona·año ⁻¹	999 personas	21	91888	91,88
Subtotal emisiones							323,53
Remociones							
Separación y reciclaje		WARM-EPA		Ver Cuadro 1			10,38
Total emisiones netas							313,15

CUADRO 4
Inventario de emisiones y remociones de gases de la Escuela Fidel Chaves para el año 2013

Fuentes	Gases	Metodología	Factor de emisión	Registro	PCG	kg CO ₂ e	Mg CO ₂ e
Tipos de Emisiones							
Directas							
Consumo de GLP	CO ₂	IMN (2013)	1,61 kg CO ₂ ·L ⁻¹	437,68	1	704,66	0,70
	CH ₄		0,1277 g CO ₂ ·L ⁻¹	437,68	21	1,17	0,001
	N ₂ O		2,554x10 ⁻³ g CO ₂ ·L ⁻¹	437,68	310	0,03	3,0·10 ⁻⁵
Extintores	CO ₂	Registro directo	1	5	1	5	5,0·10 ⁻³
Indirectas							
Electricidad	CO ₂	IMN (2013)	0,13 kg CO ₂ e·kWh ⁻¹	13965		1651,97	1,82
Otras fuentes indirectas							
Generación de residuos	CH ₄	IMN (2013)	0,0581 kg CH ₄ ·kg ⁻¹ RS	908 personas	21	203844	203,85
Aguas residuales	CH ₄	IMN (2013)	4,38·10 ⁻³ Mg CH ₄ ·persona ⁻¹ ·año ⁻¹	908 personas	21	83517	83,52
Subtotal emisiones							289,89
Remociones							
Separación y Reciclaje		WARM-EPA		Ver cuadro 1			21,07
Total emisiones netas							268,82

CUADRO 5
Inventario de emisiones y remociones de gases de la Escuela Manuel del Pilar Zumbado González para el período enero 2013-enero 2014

Fuentes	Gases	Metodología	Factor de emisión	Registro	PCG	kg CO ₂ e	Mg CO ₂ e
Tipos de Emisiones							
Directas							
Consumo de GLP	CO ₂	IMN (2013)	1,61 kg CO ₂ ·L ⁻¹	1695,32	1	2729	2,72
	CH ₄		0,1277 g CO ₂ ·L ⁻¹	1695,32	21	4,55	4,5·10 ⁻³
	N ₂ O		2,554x10 ⁻³ g CO ₂ ·L ⁻¹	1695,32	310	0,13	1,34·10 ⁻⁴
Extintores	CO ₂	Registro directo	1	6,8	1	6,8	6,8·10 ⁻³
Indirectas							
Electricidad	CO ₂	IMN (2013)	0,13 kg CO ₂ e·kWh ⁻¹	37409		4863,17	4,86
Otras fuentes indirectas							
Generación de residuos	CH ₄	IMN (2013)	0,0581 kg CH ₄ ·kg ⁻¹ RS	471 personas	21	105738	105,74
Aguas residuales	CH ₄	IMN (2013)	4,38·10 ⁻³ Mg CH ₄ ·persona ⁻¹ ·año ⁻¹	471 personas	21	43320	43,32
Subtotal emisiones							156,66
Remociones							
Reciclaje		WARM-EPA		Ver Cuadro 1			38,84
Total emisiones netas							117,83

que la mayoría de la generación de emisiones está concentrada en fuentes indirectas.

Este primer elemento indica que la gestión de los gases en las instituciones educativas es compleja, ya que las fuentes indirectas están vinculadas a los procesos técnicos que realizan otras entidades.

Estos resultados coinciden con la realidad nacional vinculada a la gestión de los residuos sólidos, en donde la gestión tradicional de residuos sólidos a nivel nacional ha producido una gran cantidad de problemas ambientales, además de un elevado cargo económico por conceptos de recolección, transporte y disposición final

de los residuos en los rellenos sanitarios. A nivel local, el cantón de Belén no se escapa de esta realidad, en donde se estima que se generan en promedio unos 621 Mg de residuos mensualmente (Municipalidad de Belén, 2012). Esto toma especial importancia si se considera que las emisiones de residuos aumentaron a nivel nacional de 711 Gg en 1990 a más de 1100 Gg en el 2000 (Adamson-Badilla, 2008) y continua aumentando en la actualidad.

No obstante, los resultados encontrados coinciden parcialmente con la realidad nacional en cuanto a la distribución de las fuentes con mayor generación de emisiones de gases provocadas por los residuos sólidos (IMN, 2014), principalmente por que la institución no posee vehículos oficiales (fuentes móviles), por lo que en el caso de las escuelas estudiadas, el sector energía no aporta la mayor cantidad de gases, ya que el sector residuos (sólidos y líquidos) es el principal responsable de las emisiones de las tres instituciones.

Asimismo, la única fuente de remociones encontrada en los tres centros educativos fue la separación y el reciclaje de los residuos valorizables, debido al potencial para la mitigación de emisiones (Bogner et al., 2007). Sin embargo, debe implementarse en todas las escuelas acciones que permitan la gestión de los residuos orgánicos como acción para mitigar la generación de CH_4 . La implementación de sistemas de compostajes o similares es fundamental en la gestión de los gases, ya que aproximadamente el 52% de los residuos del Cantón poseen potencial para ser transformados en compost (CEGESTI, 2011), lo que reduce considerablemente las emisiones.

En el caso de las emisiones provenientes de los transportes públicos y privados de estudiantes, estas no fueron incluida debido a que los centros educativos no mantienen un control sobre las rutas, el consumo o la cantidad de estudiantes que cada servicio ofrece, por lo que no hay vínculo administrativo que justifique la cuantificación de estas emisiones en el inventario. No obstante, estas emisiones son resultado de las actividades de los estudiantes y pueden considerarse como otras fuentes indirectas, por lo que se puede incluir. Para realizar esta cuantificación, las instituciones deben realizar un sistema de control y seguimiento de las rutas y el consumo de combustible de estos servicios para que se puedan incorporar al inventario institucional.

La diferencia en la proporción de las emisiones que fueron removidas es causada por la gestión interna de los residuos valorizables, que en todas las escuelas estudiadas fue la única fuente de remoción encontrada e incluida en el inventario del 2013. Sin embargo, el tamaño de la población estudiantil no parece ser el responsable de la gestión de los residuos valorizables, ya que la E.

Zeledón fue la institución que más remociones presentó en los inventarios. En el caso de la E. España y la E. Chaves, la gestión de los residuos valorizables como elemento de remoción permitió que el valor de emisiones netas fuera menor en la E. Chaves, ya que la recolección fue mayor en este ente educativo.

Por otra parte, la generación de CH_4 por la producción de aguas residuales está sumamente limitada a la capacidad de la Municipalidad de ofrecer alternativas de manejo de aguas con menores emisiones. Pese a que esta fue la segunda fuente más significativa, es poco lo que se puede realizar directamente en los tres centros. El sistema de manejo de aguas residuales con mayor potencialidad es la conexión de los tanques sépticos al sistema de alcantarillado sanitario. Esta conexión en la actualidad es muy poco probable, debido que los sistemas de alcantarillado sanitario no se encuentra cerca de ninguna de las instituciones, por lo que inversión en conexión es muy elevada.

En el caso del consumo de energía eléctrica, la E. Chaves fue la institución que menores emisiones presentó asociadas a esta fuente, lo que se puede atribuir a la gestión interna de la escuela, ya que existen muchas prácticas que permiten un bajo consumo. No obstante, a nivel general, el consumo eléctrico reportó emisiones con magnitudes considerablemente más bajas que las fuentes más significativas.

Esto se puede justificar en el hecho de que en Costa Rica la generación de energía eléctrica se realiza a partir de fuente renovables, lo que permite bajas emisiones que no requieren comportarse como las demás fuentes de emisión (Montes de Oca & Arce, 2011; Guerra, 2007). No obstante, la gestión del consumo de electricidad debe implementarse junto con la gestión de los residuos sólidos para lograr reducciones integrales en las emisiones institucionales.

Cabe destacar que estos inventarios poseen limitaciones en su estimación, debido a que la información disponible acerca de algunas fuentes. Un ejemplo de esto fue la información relacionada con el consumo de gases refrigerantes por los aires acondicionados, en donde las tres instituciones públicas no contaron con información de la recarga de estos gases y el registro por consumo de papel; ya que las instituciones no contaban con información verificable. La cuantificación de las posibles emisiones de estos gases debe incluirse en los siguientes inventarios, ya que poseen un potencial de calentamiento global (PCG) elevado (IMN, 2013).

La cuantificación de las emisiones de gases es fundamental para la realización de estrategias y planes de acción que permitan mitigar y adaptar las emisiones

generadas por las instituciones educativas públicas. Esto toma importancia si se considera la cantidad de instituciones que posee el país, de forma de que los programas de educación ambiental pueda verse favorece por acciones de planificación y aplicación institucional que fortalezca la gestión ambiental en los centros educativos públicos.

AGRADECIMIENTOS

A los directores de los Centros Educativos: Abraham Bermúdez, Ronny Morales e Ileana Salazar por toda la colaboración y acceso a la información durante este trabajo de investigación.

Al MICIT y al CONICIT por el apoyo económico durante el proceso de estudios de postgrado que permitieron la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

- Adamson-Badilla, M. (2008). *Opciones de mitigación de Gases de Efecto Invernadero en Costa Rica para la segunda comunicación nacional de Emisiones ante la convención marco de Cambio Climático*. Disponible: http://cglobal.imn.ac.cr/sites/default/files/documentos/opciones_de_mitigacion_gases_efecto_invernadero_cr.pdf.
- Bogner, J., M. Abdelrafie Ahmed, C. Diaz, A. Faaij, Q. Gao, S. Hashimoto, K. Mareckova, R. Pipatti & T. Zhang. (2007). *Waste Management*. En: Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.
- CEGESTI. (2011). *Estudio de generación y caracterización de los residuos sólidos del cantón de Belén*. San Antonio de Belén, Heredia.
- CEPAL (Comisión Económica Para América Latina). (2009). *La huella de carbono en la distribución y consumo de bienes y servicios*. Santiago de Chile.
- EPA (Environmental Protection Agency). (2014). *Waste Reduction Model*. Disponible: http://epa.gov/epawaste/conservation/tools/warm/Warm_Form.html.
- Guerra, L. (2007). *Construcción de la huella de carbono y logro de carbono neutralidad para el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Costa Rica*. Tesis para optar por el grado de *Magister Scientiae* en Socioeconomía Ambiental. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 105 pp.
- Guerrero, M. y A. Morales. (2012). *Manual para neutralizar la huella de carbono en Centros Educativos*. 1^{era} edición. San José, Costa Rica.
- IMN (Instituto Meteorológico Nacional). (2009). *Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC)*. Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET). 1^{era} edición. San José, Costa Rica.
- IMN (Instituto Meteorológico Nacional). (2009). *Inventario Nacional de emisión de Gases con Efecto Invernadero y de Absorción de Carbono en el 2000 y 2005*. Disponible: http://cglobal.imn.ac.cr/sites/default/files/documentos/inventario_gases_efecto_invernadero.pdf.
- IMN (Instituto Meteorológico Nacional). (2012). *Escenarios de Cambio Climático Regionalizados para Costa Rica*. Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET)-Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). San José, Costa Rica.
- IMN. (Instituto Meteorológico Nacional). (2013). *Factores de emisión de gases de efecto invernadero*. San José, Costa Rica.
- IMN (Instituto Meteorológico Nacional). (2014). *Tercera comunicación nacional a la convención marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. San José, Costa Rica.
- Protocolo de Kyoto. (2014). *Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Disponible en: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>.
- Montes de Oca, G. y E. Arce. (2011). *La huella de carbono en la Municipalidad de San Carlos y el logro de la Carbono Neutralidad*. Trabajo Final de Graduación para optar por el grado de Magister en Gestión de Recursos Naturales y Tecnologías de Producción. Campus San Carlos, Costa Rica. 86 pp.
- Municipalidad de Belén. (2012). *Plan Municipal para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos del Cantón de Belén*. San Antonio de Belén, Heredia, Costa Rica.
- SCIJ (Sistema Costarricense de Información Judicial). (2014). Ley N° 8219. Aprobación del Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Disponible en <http://www.pgrweb.go.cr/scij>
- Vitousek, P. (1994). Beyond Global Warming: Ecology and Global Change. *Ecology* 75(7), 1861-1876.