

Inventario de emisiones de Gases de Efecto Invernadero:

un insumo en la gestión del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR)

Inventory of Greenhouse Gas Emissions: an input for the management of the Technological Institute of Costa Rica (ITCR)

María Venegas Vargas*
Alina Rodríguez Rodríguez**
Teresa Salazar Rojas***

Fecha de recepción: 7 de abril de 2014
Aceptación: 21 de abril de 2015
Recibido versión final: 27 de abril de 2015

Resumen

El Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR) tiene el objetivo de ser carbono neutral, para ello está realizando esfuerzos como la medición de sus emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y la implementación de medidas de reducción y de remoción de sus emisiones. En este artículo se resumen y analizan las principales actividades responsables de las emisiones de GEI para los campus de Cartago y San Carlos, y del Centro Académico de San José, para los años del 2010 al 2013. Se establece una comparación de los resultados obtenidos en el Inventario de Gases de Efecto Invernadero (INGEI) utilizando los factores de emisiones del Panel Intergubernamental en Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) y los del organismo oficial en Costa Rica, el Instituto Meteorológico Nacional (IMN); adicionalmente se elabora un análisis para identificar las actividades que causan mayores emisiones en el campus de Cartago. Los gases evaluados en los inventarios fueron el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el óxido de nitrógeno (N_2O). Las emisiones calculadas son reportadas

.....
* Ingeniera Ambiental, Auxiliar de la Regencia Ambiental de la Unidad de Gestión Integrada: Ambiente, Calidad y Seguridad Laboral del Instituto Tecnológico de Costa Rica 2012/2014. Nacionalidad: costarricense. Email: marivenegas@udec.cl.

** Ingeniera, Regente Ambiental del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Unidad de Gestión Integrada: Ambiente, Calidad y Seguridad Laboral. Nacionalidad: costarricense. Email: alirodriguez@itcr.ac.cr.

*** M.Sc. Gestión Ambiental, profesora investigadora de la Escuela de Química (Carrera de Ingeniería Ambiental), Instituto Tecnológico de Costa Rica, Coordinadora del Sistema de Gestión Ambiental Institucional 2006/2013. Nacionalidad: costarricense. Enviar correspondencia a: tsalazar@itcr.ac.cr.

como dióxido de carbono equivalente (CO_2e). Este trabajo determinó que el campus del ITCR que tuvo un mayor aporte en el INGEI de la Universidad fue el de San Carlos, siendo la digestión entérica su principal fuente de emisión. Además, los resultados indican que el uso de los factores propios del país (aportados por el IMN) produjeron un aumento en el INGEI, posiblemente por un mayor acercamiento a la realidad de las condiciones climáticas y geográficas de la región.

Palabras clave

Gases de efecto invernadero, GEI, huella de carbono, inventario de emisiones.

Abstract

The Technological Institute of Costa Rica (ITCR for its initials in Spanish), aims to be carbon neutral. In order to achieve that goal, it is making efforts like measuring its emissions of greenhouse gases (GHG) and implementing mitigation and removal measures. This article summarizes and analyzes the main activities responsible for GHG emissions in the Cartago and San Carlos campuses and the Academic Center of San Jose, from 2010 to 2013. A comparison of the results obtained in the inventory of GHG is made by using the emission factors from the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) and the official agency in Costa Rica, the National Meteorological Institute (IMN for its initials in Spanish). Additionally, an analysis is carried out to identify the activities that cause higher emissions in the Cartago campus. The evaluated gases were carbon dioxide (CO_2), methane (CH_4) and nitrous oxide (N_2O). The calculated emissions are reported as carbon dioxide equivalent (CO_2e). This work determined that the campus that contributed more to the ITCR INGEI was San Carlos, and its main emission source was the enteric digestion. Besides, results show that the use of the country-specific factors (given by the IMN) produced an increase in the INGEI, possibly because they are closer to the real climatic and geographical conditions of the region.

Keywords

Greenhouse gases, GHG, carbon footprint, emission inventory.

Introducción

La aspiración hacia la carbono neutralidad reside en la conmovión que ha producido el cambio climático (CC), problemática ambiental que amenaza y aqueja al mundo actual (UNFCCC 2014). El IPCC define al CC como un cambio en el estado del clima que puede ser identificado, el cual puede deberse a procesos atmosféricos naturales o a fuerzas externas como el ciclo solar, las erupciones volcánicas o a causas antropogénicas (IPCC 2014a). Por otra parte, la Convención Marco de las Naciones Unidas (UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Chan-

ge) lo define como “un cambio en el clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables” (UNFCCC 1992, 2014).

Se ha determinado que los responsables de este fenómeno son los llamados Gases de Efecto Invernadero (GEI) cuyo incremento ha llevado a la retención de más calor en la atmósfera y por ende a un incremento en la temperatura promedio del planeta (Houghton 2002). Igualmente se menciona en último informe del IPCC en 2013 que “El forzamiento

radiactivo total es positivo y ha dado lugar a la absorción de energía por el sistema climático. La principal contribución al forzamiento radiactivo total proviene del aumento en la concentración de CO₂ en la atmósfera que se viene produciendo desde 1750". Así es como la huella de carbono surge en el debate sobre el CC como la herramienta para medir la emisión de GEI, expresada en unidades de dióxido de carbono equivalente (CO_{2e}) por unidad de tiempo o producto (Ercin y Hoekstra 2012).

Costa Rica: carbono neutral

Desde 1994 Costa Rica busca contrarrestar el CC, ya que en ese año se oficializó su compromiso mediante la aprobación de la Convención Marco de las Naciones Unidas (UNFCCC) sobre el Cambio Climático (INTECO, 2013a).

En julio de 2007 la administración presidencial Arias Sánchez externa el compromiso del país para convertirse en una Nación carbono neutral en el año 2021, noticia que fue recibida con críticas y alabanzas. Pese a ello, el país inició a trabajar para cumplir el ambicioso objetivo, creando una Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) y la Dirección de Cambio Climático (DCC) (Rojas Wang 2012). Así, en el 2011 se lanza la Norma Nacional para demostrar carbono neutralidad (INTE 12-01-06:2011) y en el 2012 se oficializa el Programa País Carbono Neutralidad (Acuerdo 36-2012 MINAET) (Castro Salazar 2012; INTECO, 2013b). Toda institución que busque formar parte del Programa País y declararse carbono neutral debe acatar lo establecido en el acuerdo y las normas antes mencionadas (Castro Salazar, 2012; INTECO, 2013b), por medio de las siguientes medidas: 1) realizar el INGEI; 2) reducir emisiones; y 3) compensación de emisiones residuales (INTECO, 2013b).

Es importante aclarar que en Costa Rica el término huella de carbono es aplicado principalmente a cadenas de producción, y para el caso de organizaciones e instituciones de educación se utiliza el término Inventario de emisiones de GEI (INGEI).

ITCR y su aporte a la meta país

El Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), considerando la meta país asumida en el 2007 (aunque no exista ninguna legislación que lo obligue pero respondiendo a su propio compromiso ambiental y social), emprende mediante el Sistema de Gestión Ambiental Institucional la realización de su primer INGEI en el 2010, el cual se convierte en su año base. El inventario es actualizado anualmente abarcando la mayor parte posible de las fuentes de emisión de GEI de la Institución y es, desde su inicio y hasta la fecha, utilizado en la gestión ambiental del ITCR como insumo importante en la toma de decisiones, ya que permite dar seguimiento a cada una de las fuentes de emisiones y su comportamiento en el tiempo. También de forma indirecta se le da seguimiento a otros indicadores utilizados para medir el desempeño ambiental, tales como consumos de electricidad y combustibles varios, generación de aguas residuales, manejo de residuos sólidos, entre otros (SIGA 2012).

El ITCR es una universidad estatal costarricense que cuenta con diversos campus a lo largo de Costa Rica, cada uno con una población distinta de estudiantes y funcionarios. En estos campus se imparten distintas carreras y se desarrollan una variedad de actividades propias de cada instancia, es por ello que el alcance INGEI fue adaptado a las características de cada uno. En este artículo se abarcan los campus de Cartago, San Carlos y San José, incluyendo de forma general las emisiones institucionales y de manera más específica las emisiones de la Sede de Cartago.

El estudio plantea tres objetivos:

1. Valorar la existencia de alguna diferencia en el inventario de emisiones de GEI utilizando los factores del IPCC y los del IMN para el 2010 (año base).
2. Examinar las principales generalidades del INGEI para los años 2010 al 2013.
3. Analizar las principales actividades responsables de las emisiones de GEI para la Sede Central del ITCR.

Este trabajo cuenta con cinco secciones, siendo la primera la introducción al tema y a la universidad

en cuestión. En la segunda se detalla la metodología realizada, luego se exponen los resultados obtenidos y la discusión de los mismos, para terminar con las conclusiones y la bibliografía consultada.

INGEI en instituciones de educación superior

Para que los esfuerzos a nivel local tengan un efecto significativo en la mitigación de CC, éstos deben ser respaldados por las autoridades nacionales e internacionales mediante mejoras en el transporte, energía e iniciativas de fijación de carbono (Willson y Brown 2008). A nivel de instituciones de educación superior, lograr la carbono neutralidad y la incorporación de programas de sostenibilidad requiere del apoyo de las facultades, administrativos, estudiantes y personal universitario (Button 2009).

Los centros de educación superior deben ejercer liderazgo en sus comunidades y en la sociedad mostrando el camino para reducir o eliminar las emisiones de GEI, respondiendo a su compromiso con la sociedad y a la tarea de formar nuevos profesionales conscientes del desarrollo sostenible (Velázquez et al. 2009; Bastante-Ceca et al. 2012). Además, la realización de INGEI denota un alto grado de responsabilidad social ambiental para quien se preocupe por su medición, convirtiéndolo en un referente de conciencia ambiental para la sociedad, la industria y el comercio. Sumado a la contribución ambiental de la reducción de emisiones, la institución incrementa la eficiencia energética e hídrica disminuyendo costos económicos, a la vez que puede ser usada como herramienta publicitaria (Barragán 2014).

Algunas universidades se han agrupado en redes, como la Organización Internacional de Universi-

dades por el Desarrollo Sostenible y el Medio Ambiente (OIUDSMA). Otras han buscado asesoramiento técnico y apoyo estratégico en asociaciones como la *Association for the Advancement of Sustainability in Higher Education* (AASHE) o la *Carbon Trust* con su programa específico *Higher Education Carbon Management* (HECM), donde más de 40 universidades han llevado a cabo estudios buscando reducir sus emisiones de carbono e incluso llegar a lo que se ha denominado una “Universidad carbono neutral” (Bastante-Ceca et al. 2012).

En Estados Unidos, el número de colegios y universidades que han emprendido la realización de INGEI ha aumentado en los últimos años y se espera que siga incrementándose debido a la aparición del *American College & University Presidents Climate Commitment*¹ (Willson y Brown 2008).

En la Tabla 1 se presentan algunos valores de las emisiones de diferentes centros de educación superior en diferentes años, además se muestran las poblaciones para las cuales se calcularon dichas emisiones de GEI.

En Costa Rica, de las cuatro universidades estatales, sólo la Universidad Nacional (UNA) y el Instituto Tecnológico de Costa Rica han presentado su Programa de Gestión Ambiental Institucional ante el Ministerio de Ambiente y Energía, el cual incluye su inventario de GEI (MINAE 2015).

1. El American College & University Presidents' Climate Commitment (ACUPCC) agrupa a más de 650 IES de Estados Unidos que se han comprometido a realizar su inventario de GEI cada 2 años y a establecer un Plan de Acción Climática que tenga como meta lograr la neutralidad climática o al menos una reducción del 80% de sus emisiones de GEI para el año 2050.

TABLA 1. Emisiones de GEI de distintas universidades.

Universidad	Emisiones por Universidad (Ton CO _{2e})	Año	Población para el año	País
University of Maryland	251.956	2010	42.209	USA
Instituto Politécnico Nacional ²	10.788,29	2008	NI	México
University of New Hampshire	56.303,7	2011	180.172	USA
University of Washington ³	196.000	2005	63.300	USA
Vanderbilt University	419.692	2013	12.700	USA
Indiana University	478.477	2010	NI	USA
Duquesne University	42.044	2010	10.381	USA
Temple University	233.138	2009	27.988	USA
Xavier University	37.000	2007	6.607	USA
University of Massachusetts-Amherst	142.237	2007	26.340	USA
George Washington University	128.301	2008	20.365	USA
Cornell University ⁴	28.300	2012	30.750	USA
Instituto Tecnológico de Costa Rica	3.860	2013	10.536	Costa Rica
Universidad Nacional de Costa Rica	2.919	2012	20.681	Costa Rica

NI: no se indica

Fuente: elaboración propia.

Metodología de cálculo de las emisiones de GEI

Existen a nivel mundial varias metodologías para el cálculo de INGEI, tales como el Protocolo GEI del Instituto Mundial de Recursos, la norma ISO 14064-1 (2006) y la metodología del IPCC empleada para el cálculo de emisiones de GEI para el año base y para el 2011 (IPCC 2006a). Ésta se eligió por ser la metodología con mayor aceptación a nivel internacional y sobre la cual se han basado las normativas existentes en materia de inventarios de GEI y carbono neutralidad (IPCC 2014b). No obstante, a partir del 2012 se utiliza la metodología de los factores de equivalencias recomendados por el IMN (IMN 2013), lo anterior de acuerdo a la normativa nacional vigente (INTECO 2013a). Las fór-

2. Unidad Adolfo López Mateos.

3. Locación en Seattle.

4. Locación en Ithaca.

mulas utilizadas para el cálculo del inventario de emisiones se pueden observar en los Anexos 1 y 2, donde se describen las fórmulas del IMN y las del IPCC, respectivamente.

Los gases evaluados en los inventarios fueron el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y el óxido de nitrógeno (N₂O). Las emisiones calculadas son reportadas como toneladas de CO_{2e} (IPCC 2006a; IMN 2013). El concepto de CO_{2e} es una medida utilizada para comparar las emisiones provenientes de diferentes GEI basados en su GWP (Global-Warming Potential). El CO_{2e} de un gas se obtiene al multiplicar su masa por el valor asociado a su GWP (US EPA 2013).

Cabe destacar que para el cálculo de las emisiones debidas a viajes aéreos, al tratarse de un aporte indirecto y a las dificultades ligadas al cálculo y a la obtención de los datos requeridos, se utilizó la calculadora del ICAO, International Civil Aviation Organization (ICAO 2012).

Las fuentes de emisiones fueron agrupadas -según sus características- en directas, indirectas y otras indirectas. Las emisiones directas son aquellas que son controladas o pertenecen a la organización, mientras que las indirectas se generan debido a las actividades propias de la misma, pero se producen de fuentes de GEI que no pertenecen ni son controladas por la organización (INTECO, 2013b). El consumo de electricidad, viajes aéreos y residuos sólidos se clasificaron en emisiones indirectas. Por otra parte, las emisiones directas se clasificaron principalmente en:

- Fuentes fijas de combustión: entiéndase también como fuentes estacionarias. Corresponden a los gases producto de la combustión de gas licuado de petróleo, así como al consumo de combustible en las plantas de emergencia y calderas.
- Fuentes móviles de combustión: esta clase abarca la combustión realizada durante el funcio-

namiento de maquinaria grande (tractores) y pequeña (motosierras, sopladores) y el uso de la flotilla vehicular institucional.

- Gestión del suelo y del estiércol: comprende el uso agrícola del suelo y la producción ganadera, tanto lechera como de carne (o combinada).
- Tratamiento de residuos: emisiones producto del tratamiento de aguas residuales.

En la Tabla 2 se presenta la panorámica de la situación del inventario de emisiones de GEI del ITCR y se detallan las condiciones en las que se realizó el inventario, esto debido a las diferentes limitaciones presentadas tales como la falta de registros y la centralización de la información que dificulta determinar el aporte correspondiente a cada campus. Otro factor fue la envergadura de la Institución con sedes bastante alejadas geográficamente.

TABLA 2. Fuentes de emisión por categoría consideradas en cada campus

Fuentes de emisión	Categoría	Registro		
		Constante	Variable	No Aplica
Directas	Fuentes móviles	C-SC	C-SJ	
	Consumo de GLP*	C-SC		SJ
	Aguas residuales	C	SC	SJ
	Digestión entérica	SC		C-SJ
	Gestión del estiércol	SC		C-SJ
	Gestión del suelo	SC	C	SJ
	Fuentes fijas	C-SC		SJ
Indirectas	Consumo de electricidad	C-SC-SJ		
Otras emisiones indirectas	Viajes Aéreos	C	SC-SJ	
	Residuos Sólidos	C	SC-SJ	

*Gas licuado de petróleo
c:Cartago; sc: San Carlos; sj: San José

Fuente: elaboración propia.

Para el manejo de la certidumbre en la información, se trabajó con un nivel de aseguramiento razonable que asegura la trazabilidad de la misma, mediante los registros oficiales de las diferentes dependencias de la Universidad: Departamento de Financiero Contable, Departamento de Administración de Mantenimiento, Servicios Generales (entre otros), y con los documentos asociados correspondientes, como las facturas del pago de servicios externos y de proveedores.

Resultados y discusión

En esta sección se aborda el INGEI del ITCR desde tres aristas: una comparación del inventario en el año base resultado del cambio en los factores de emisión utilizados, un análisis general del inventario del ITCR desde el 2010 hasta el 2013, y un análisis un poco más profundo de las principales actividades responsables de las emisiones de la Sede de Cartago.

Comparación del inventario de emisiones de GEI del ITCR en el año base utilizando diferentes factores

Debido a que hasta el 2012 se utilizaron por primera vez los factores del IMN, en los cálculos anteriores, 2010 y 2011 (SIGA 2012) se utilizaron los factores del IPCC, y es interesante analizar la variación en las emisiones causada por dicho cambio. Para ello se utilizaron los factores del IMN con los datos del año base (2010), se hizo un re-cálculo del inventario de emisiones de GEI de ese año, y se cotejaron con los datos del cálculo original.

En la Tabla 3 se resumen los valores obtenidos según los factores utilizados. Se aprecia que para consumo de GLP, fuentes móviles y fuentes fijas, la variación de la cantidad de toneladas del inventario no alcanza ni una tonelada de CO_{2e}. Sin embargo, para el caso de consumo de electricidad, digestión entérica, gestión de suelos, gestión de estiércol y residuos sólidos se presenta un incremento mayor, entre 27 y 192 toneladas de CO_{2e}.

TABLA 3. Comparación del inventario de emisiones del ITCR en el año base utilizando diferentes factores de emisión en toneladas de CO_{2e}.

Categoría	Factores		Diferencia
	IMN	IPCC	
Consumo de electricidad	283.488	91.176	192.312
Consumo de GLP	16.869	16.886	0,017
Fuentes móviles	312.767	312.825	0,058
Fuentes fijas	157.851	157.739	0,112
Digestión entérica	1.163.612	1.019.508	144.104
Gestión de suelos y estiércol	567.711	503.851	63.860
Residuos Sólidos	159.528	132.872	26.656
Aguas Residuales	*	51.092	51.092
TOTAL	2.758.931	2.383.054	375.877

*nota: para esta categoría no se logró una comparación debido a que el IPCC (2006b) utiliza valores de DBO para la estimación del inventario y no se logró recuperar la información para el año base.

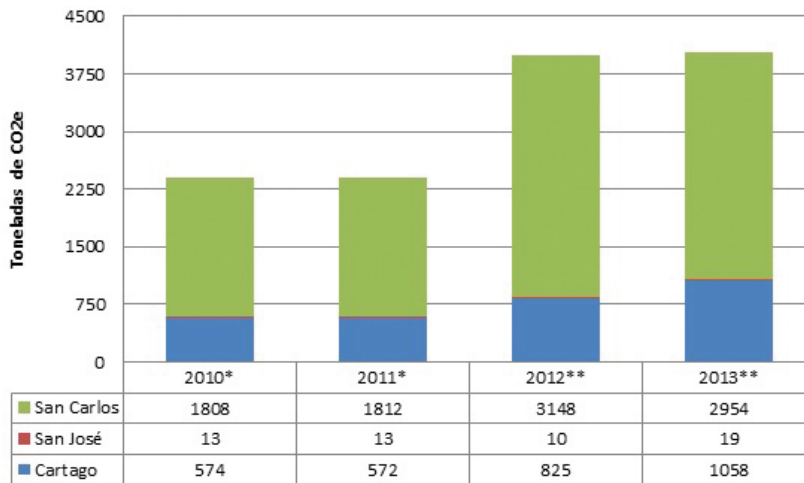
Fuente: elaboración propia.

El aporte al inventario dado por el consumo de electricidad es la categoría que presentó una mayor diferencia (Tabla 3). Dicha variación pudo ser causada porque el factor del IMN considera todas las fuentes de generación de electricidad (térmica, geotérmica, eólica e hidroeléctrica) (IMN 2013), mientras que el factor del IPCC solamente considera el aporte de la generación de electricidad a partir de procesos térmicos (Rodríguez 2011). Por tanto, es de esperar que el factor del IMN, al considerar más variables, dé como resultado un aporte mayor de emisiones que el obtenido al usar el factor del IPCC. En el caso de las emisiones por digestión entérica, gestión de suelos y estiércol, la variación en la clasificación del ganado puede ser la responsable de la diferencia entre las toneladas de CO_{2e}.

El cambio en los factores utilizados en el cálculo del inventario de emisiones de GEI del ITCR produjo

un incremento en las emisiones de GEI cercanas a las 400 toneladas de CO_{2e} para el año base. Esto indica que a partir del inventario del 2012 (primer año en utilizar los factores del IMN) se presentaría un aumento considerable en el inventario de emisiones de la Institución ajeno a variables de desarrollo y crecimiento, tal como se evidencia en la Figura 1, donde se nota un incremento cercano a las 1.600 ton CO_{2e} del año 2011 al 2012.

La importancia de utilizar los factores de emisión de GEI dados por el IMN radica en que éstos son calculados considerando las condiciones de Costa Rica, es decir, la aproximación de las emisiones es más cercana a la realidad del país, y por ende, a las condiciones del ITCR. Esto ayuda a tener un panorama más claro en la toma de decisiones para contribuir con la meta país de la carbono neutralidad.



* Inventario de emisiones de CO_{2e} utilizando factores del IPCC

** Inventario de emisiones de CO_{2e} utilizando factores del IMN

FIGURA 1. Inventario de emisiones del ITCR desde el 2010 hasta el 2013. Fuente: elaboración propia

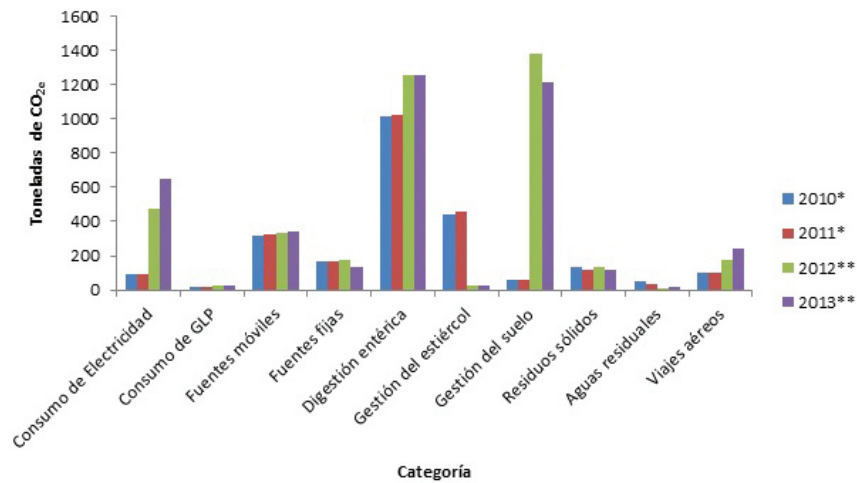
Análisis general del inventario del ITCR desde el 2010 hasta el 2013

En el año 2010 se da inicio al inventario emisiones de GEI del ITCR, considerando sus tres campus principales: Cartago (Sede Central), San Carlos (Sede Regional) y San José (Centro Académico).

El inventario de emisiones del ITCR puede analizarse por categorías y se trabajó con 10 de ellas (Figura 2). Pese a que en el 2010 y 2011 se utilizaron los factores del IPCC y en los años 2012 y 2013 los del IMN, en la Figura 2 se examinan tendencias sobre el inventario de emisiones de la Institución. Una de ellas es que la digestión entérica, pese a ser una categoría que no se presenta en todos los campus (Tabla 1), es una de las que produce la ma-

yor cantidad de emisiones de GEI. Además es una categoría en donde las acciones para disminuir las emisiones son muy difíciles de llevar a cabo, ya que éstas están ligadas a la cantidad de animales y no a actividades humanas.

También se observa en la Figura 2 que las emisiones por fuentes móviles y fijas, así como los residuos sólidos, presentan un comportamiento estable a pesar del crecimiento en infraestructura y aumento de estudiantes que ha experimentado la Universidad en estos años; caso contrario a lo que sucede en las categorías de viajes aéreos y consumo de electricidad. Se puede explicar el aumento en consumo de electricidad por el requerimiento en las construcciones.



* Inventario de emisiones de CO_{2e} utilizando factores del IPCC

** Inventario de emisiones de CO_{2e} utilizando factores del IMN

FIGURA 2. Inventario de emisiones de GEI del ITCR por categoría desde el 2010 hasta el 2013. Fuente: elaboración propia.

Cabe resaltar que la implementación del seguimiento del INGEI ha permitido mejorar la gestión ambiental de la Universidad ya que cada año, durante la recolección y actualización de los inventarios, se trata de contabilizar las emisiones de GEI de manera más cercana a la realidad, por ejemplo mejorando las hojas de registro de cada categoría e incluyendo áreas, escuelas o actividades que en el año anterior no se habían podido contabilizar. Esto ha fortalecido el control y el seguimiento de tendencias de los indicadores de desempeño ambiental de la Universidad, permitiendo la toma de decisiones más informadas, tal como se expondrá en la siguiente sección.

Análisis de las principales actividades responsables de las emisiones de GEI de la Sede de Cartago para el año 2013

Para esta sección se han considerado las emisiones de GEI en términos de toneladas de CO_{2e} per cápita

utilizando los mismos factores de emisión (los dados por el IMN para el año 2013). Exclusivamente se analiza la situación en la Sede de Cartago, por ser la central y la que cuenta con los registros más completos.

Al analizar las emisiones mediante Pareto (Figura 3) se obtiene que las categorías responsables del 80 % de las emisiones son: consumo de electricidad, viajes aéreos y fuentes móviles. Las dos primeras categorías corresponden a fuentes de emisión indirectas, mientras que la tercera a fuentes directas. En esta sección se analizará a profundidad la categoría correspondiente a consumo de electricidad, debido a que es la que genera la mayor cantidad de emisiones de CO_{2e} (Figura 3) y por lo tanto la Institución debe hacer grandes esfuerzos y priorizar acciones para lograr una reducción significativa en el consumo, y por ende, en las emisiones.

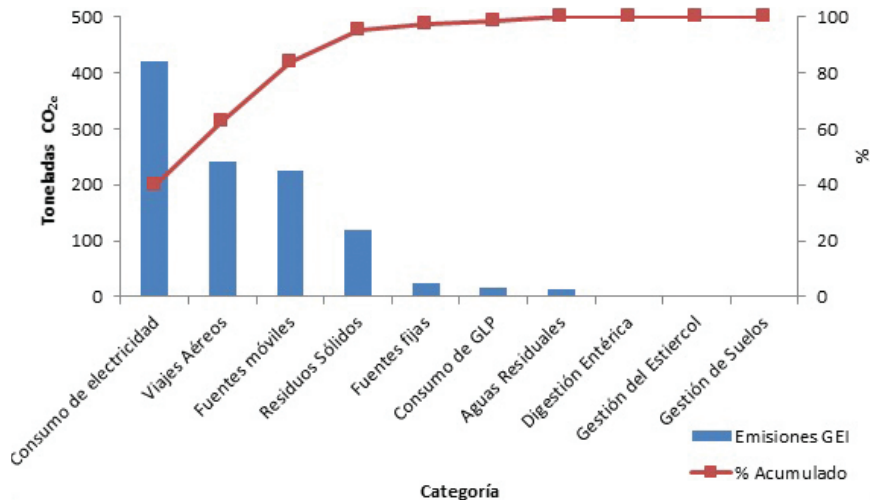


FIGURA 3. Pareto para la Sede Central en el año 2013. Fuente: elaboración propia.

Consumo de electricidad

Cada categoría considerada en el inventario de emisiones tiene sus peculiaridades de cálculo y una variación particular a lo largo del año y en el transcurso de los años, ya que está influenciada por las circunstancias dadas en momentos específicos, por ejemplo actividades ocasionales (festividades navideñas, festejos estudiantiles) o la cantidad de personas (ferias vocacionales, conciertos, competencias). En el caso del consumo de electricidad, en

el transcurso de los años se presenta una tendencia de aumento (Figura 4).

Sin embargo, se pueden distinguir ciertos patrones en el consumo de electricidad, como el caso del consumo semestral (Figura 4), donde se aprecia que durante el segundo semestre se han dado mayores consumos que durante el primero. Este comportamiento puede ser resultado del cambio de época (de seca a lluviosa) y de las festividades celebradas que conllevan un consumo considerable de electricidad, como las celebraciones navideñas.

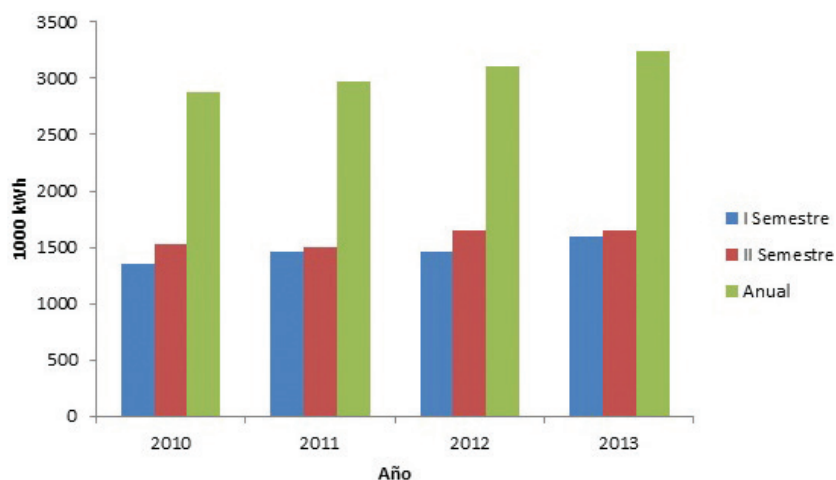


FIGURA 4. Consumo de electricidad para la Sede Central desde el 2010 hasta el 2013. Fuente: elaboración propia.

Los cambios en las tendencias de consumo también están relacionados con la cantidad de personas que requieren del uso de la electricidad. En la Figura 5 se presentan las series anuales de consumo per cápita, considerando únicamente la población permanente del ITCR (estudiantes y funcionarios) y no la población visitante. El impacto de la población se aprecia más fácilmente en los periodos de vacaciones, especialmente en los meses de enero y julio, cuando la población en el ITCR disminuye considerablemente, de igual manera los consumos decrecen.

Como se mencionó anteriormente, el consumo de electricidad depende de diversos factores, por lo que al analizar los datos se debe proceder con precaución y tener presente la interrelación de las variables en juego. Tal es el caso de la Figura 5, específicamente en el mes de diciembre, cuando la población del ITCR decrece considerablemente por el periodo de vacaciones. Pese a ello, el consumo de electricidad no disminuye proporcionalmente, ya que durante ese mes se instalan las decoraciones navideñas.

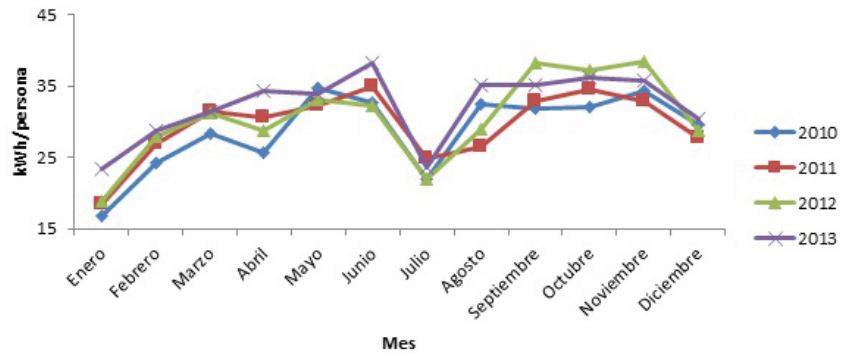


FIGURA 5. Consumo de electricidad por persona desde el año 2010 hasta el 2013. Fuente: elaboración propia.

Otro factor que se debe considerar al analizar las emisiones de GEI es el modo en el que se realiza su cálculo, lo cual se demostró en secciones anteriores con el cambio de los factores del IPCC al IMN. En el caso del consumo de electricidad, la principal singularidad en el cálculo es que cada año el IMN presenta un factor distinto en el sector energético, específicamente en el rubro uso de electricidad, lo cual depen-

derá de las diferentes fuentes que se hayan utilizado para su generación.

Dicha variación en el factor usado impacta directamente en las emisiones calculadas, ya que aunque el consumo eléctrico por persona sea muy similar en el transcurso de los meses (Figura 5), las emisiones de GEI por persona presentan un comportamiento diferente (Figura 6).

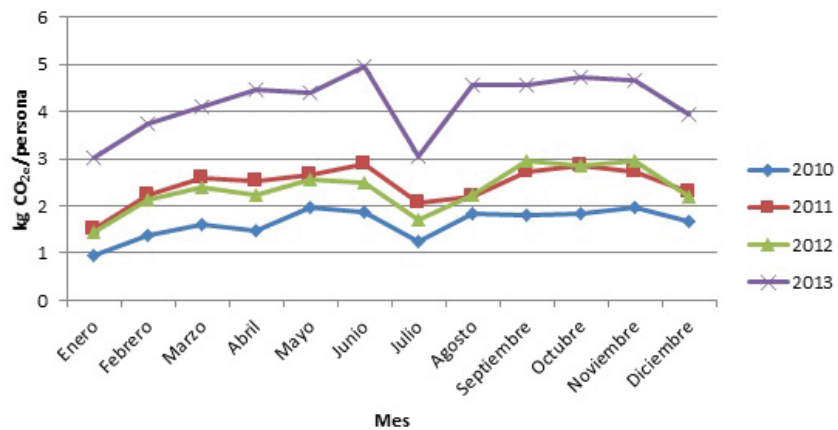


FIGURA 6. Tasa de emisiones de CO_{2e} desde el año 2010 al 2013 generadas por el consumo de electricidad utilizando factores del IMN. Fuente: elaboración propia.

El cálculo del inventario de emisiones de GEI del ITCR es una metodología dinámica y dependiente de muchas variables que requiere considerar adecuadamente el sector de influencia de cada una de ellas, lo cual permite proponer y poner en marcha medidas de prevención y minimización de emisiones. En el caso del consumo de electricidad, se han hecho grandes esfuerzos para su reducción: por ejemplo, se han sustituido las luminarias a sistemas más eficientes, se han instalado medidores eléctricos inteligentes para controlar el consumo, y se han incluido requerimientos sustentables en las licitaciones de compras de equipo electrónico. Además, se han elaborado campañas sobre buenas prácticas en el consumo de la energía eléctrica.

Conclusiones y recomendaciones

El cambio en los factores utilizados en el cálculo del inventario de emisiones de GEI del ITCR produjo un incremento en las emisiones de GEI cercanas a las 400 toneladas de CO_{2e} para el año base. Lo que indica que a partir del inventario del 2012 (primero en utilizar los factores del IMN) se presenta un aumento considerable en el inventario de emisiones de la Institución ajeno a las variables de desarrollo y crecimiento de la misma.

Al determinar la variación en el inventario emisiones de GEI del 2010 al 2013, se identificó que la digestión entérica, perteneciente a la Sede de San Carlos, es la categoría que presenta las mayores emisiones de INGEI del ITCR. También se identificó un aumento en las emisiones de GEI cercano a 1.272 toneladas de CO_{2e} con respecto al año base.

Analizando las principales actividades responsables del inventario de emisiones de GEI para la Sede

Central de la ITCR, se determinó que el 80 % de las emisiones son producidas por viajes aéreos, fuentes móviles y consumo de electricidad; 23 %, 20 % y 40 % respectivamente.

Las variaciones anuales del factor del IMN para el sector energético, específicamente en el rubro uso de electricidad, impacta directamente en las emisiones calculadas, aunque el consumo eléctrico por persona se mantenga próximo entre años.

El cálculo del INGEI del ITCR es una metodología dinámica, dependiente de muchas variables, y debe considerar adecuadamente el sector de influencia de cada una de ellas, lo cual permite proponer y poner en marcha medidas de prevención y minimización de emisiones adecuadas, así como contribuir a la meta país de la carbono neutralidad. El INGEI representó un excelente insumo para el seguimiento del desempeño ambiental en la gestión ambiental de la Institución, en especial para su Sede de Cartago.

El éxito de los INGEI en universidades depende en gran parte de la mejora continua en la recolección de información y en la actualización de inventarios. Para dichas instituciones, uno de los principales retos es el crecimiento continuo de los centros educativos y su población transitoria. Otro reto de toda institución es establecer los alcances del inventario.

A manera de recomendación, es necesario anotar que aún existen aspectos que se deben considerar para que la estimación del inventario de emisiones de la Institución sea lo más cercana a la realidad, como por ejemplo tratar de incorporar todas las categorías en los inventarios de cada campus. Del mismo modo, se recomienda la creación de un sistema informático para agilizar la cuantificación de las emisiones, considerando el tamaño y la distribución geográfica del ITCR.

Referencias

- Barragán Ruiz, J. P. 2014, octubre 2. Estimating carbon footprint produced during the year 2013 in the Military College New Granada, Headquarters Street 100. Especialización en Planeación Ambiental y Manejo Integral de los Recursos Naturales. Consultado en octubre de 2014. <http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/12221> <http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/12221>.
- Bastante-Ceca, M. J., Viñoles Cebolla, R., Collado-Ruiz, D., y B. Pacheco-Blanco. 2012. Análisis comparativo de los sistemas de información ambiental empleados en las universidades. In XVI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos (pp. 918–929). Valencia, España. Consultado en septiembre de 2013. http://aeipro.com/files/congresos/2012valencia/CIIP12_0918_0929.3769.pdf
- Button, C. E. 2009. “Towards carbon neutrality and environmental sustainability at CCSU”. *International Journal of Sustainability in Higher Education* 10(3): 279–286.
- Castro Salazar, R. 2012, junio 19. Acuerdos Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones No 36-2012-MINAET. La Gaceta Diario Oficial. San José. Consultado en noviembre de 2012. http://www.minae.go.cr/recursos/ALCA79_19062012-acuerdo-programa-pais.pdf
- Cornell University. 2013. Greenhouse Gas (GHG) Emissions Inventory Fiscal Year 2012.
- Cox, T., McKee, P., Snedden, J., y S. Kabala. 2012. Duquesne University’s Third Biennial Greenhouse Gas Emissions Inventory.
- DeLeón, S. 2010. Carbon footprint of the University of Maryland. Greenhouse Gas Inventory 2010. Consultado en marzo de 2015. http://www.sustainability.umd.edu/documents/Reports/2010_UMD_GHGinventory_final.pdf
- Ercin, A. E. y A. Y. Hoekstra. 2012. Carbon and Water Footprints: Concepts, Methodologies and Policy Responses. Colombella, Italia: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Consultado en octubre de 2012. <http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002171/217181E.pdf>
- George, A. y S. Gild. 2014. Vanderbilt University Inventory of Greenhouse Gas Emissions 2013.
- Greulich, M. 2010. Campus Greenhouse Gas Inventory. Indiana University.
- Hampshire, U. of N. 2013. Greenhouse Gas Emissions Inventory Report fy10-11. Consultado en marzo de 2015. <http://www.sustainableunh.unh.edu/ghginventory>
- Houghton, D. D. 2002. Introduction to Climate Change: lecture notes for meteorologists (No. 926). Geneva, Switzerland: WMO Technical Publications. Consultado en septiembre de 2010. <https://www.wmo.int/pages/prog/dra/etrp/documents/926E.pdf>
- ICAO. 2012. Carbon Emissions Calculator. International Civil Aviation Organization. Consultado en septiembre de 2010. <http://www.icao.int/environmental-protection/CarbonOffset/Pages/default.aspx>
- IMN. 2013. *Factores de Emisión de GEI*. San José, Costa Rica.
- INTECO. 2013a. *Norma Nacional para demostrar la c-neutralidad*. San José, Costa Rica.
- INTECO. 2013b. Verificación de Gases Efecto Invernadero (GEI). Consultado el 6 de febrero de 2015. <http://inteco.or.cr/esp/certificacion-de-sistema/verificacion-gei>
- IPCC. 2006a. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. (S. Eggleston, Ed.). Hayama, Japón. Consultado en agosto de 2010. http://www.ecy.wa.gov/climatechange/docs/forest-carbon_ipcc_cover.pdf
- IPCC. 2006b. Waste. Editado por S. Eggleston. Consultado en Agosto de 2010. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol5.html>

- IPCC. 2014a. Annex II: Glossary. In C. B. Field & V. R. Barros (Eds.), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability* (pp. 1757–1776). United States of America: Cambridge University Press. Consultado el 28 de marzo de 2014. http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/WGIIAR5-AnnexII_FINAL.pdf
- IPCC. 2014b. Organization. Consultado el 28 de marzo de 2014. <http://www.ipcc.ch/organization/organization.shtml>
- MINAE. 2015. Programas de Gestión Ambiental Institucional - PGAI (Decreto Ejecutivo No. 36499). Nivel de implementación del PGAI según institución pública (corte al 02 de marzo del 2015). Consultado en abril de 2015. <http://www.digeca.go.cr/documentos/ambientalizacion/Semaforo%20PGAI%20actualizado.pdf>
- Reyes Sánchez, A. I. 2012. Estrategia de Mitigación de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero. Estudio de Caso: Instituto Politécnico Nacional, 28 de junio de 2012. Consultado en noviembre de 2012. <http://www.repositorio-digital.ipn.mx/handle/123456789/5720>
- Rodríguez Fonseca, H. 2011. Informe del inventario de emisiones de gases de efecto invernadero. Cartago, Costa Rica.
- Rojas, J. 2012. El camino oficial para la Carbono Neutralidad para las empresas en Costa Rica. CEGESTI: Éxito Empresarial.
- SIGA. 2012. Registros del Sistema de Gestión Ambiental Institucional 2009-2012. Cartago, Costa Rica.
- UNFCCC. 1992. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Consultado en octubre de 2010. http://unfccc.int/files/essential_background/background_publications_htmlpdf/application/pdf/convsp.pdf
- UNFCCC. 2014. Term definition. United Nations Framework Convention on Climate Change. Consultado en octubre de 2014. http://unfccc.int/essential_background/glossary/items/3666.php
- UNA 2012. Huella de carbono y Huella ecológica de la Universidad Nacional. Consultado en abril de 2015. http://www.observatorioambiental.una.ac.cr/index.php?option=com_booklibrary&task=view&id=57&catid=49&Itemid=37
- US EPA, C. C. D. 2013. Glossary of Climate Change Terms. Consultado en abril de 2013. <http://www.epa.gov/climatechange/glossary.html>
- Velázquez, G., Sandoval, J., Romero, J., Garza, V. y Ochoa, G. 2009. Acciones de impacto sobre el cambio climático que realizan las instituciones de educación superior en la región Paso del Norte. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Consultado en septiembre de 2010. <http://10.0.0.98/xmlui/handle/1/1573>
- Willson, R. W. y Brown, K. D. 2008. “Carbon Neutrality at the Local Level: Achievable Goal or Fantasy?” *Journal of the American Planning Association* 74(4): 497–504. Consultado en septiembre de 2010. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01944360802380431#.VMFp0FAUeeY>

Anexo 1

Ecuaciones utilizadas para obtener las emisiones de GEI según metodología del IMN

Consumo de electricidad

$$\text{Ton CO}_{2e} = (C_{\text{kWh}} * FE_{\text{elec}} \text{CO}_2 * 1) / 1000$$

C_{kWh} : cantidad de electricidad consumida (kWh)
 FE_{elec} : Factor de emisión de CO_2 para electricidad (kg CO_2 e /kWh)

Consumo de gas LP

$$\text{Ton CO}_{2e} = (L_{\text{GLP}} * FE_{\text{GLP}} \text{CH}_4 * 21 + L_{\text{GLP}} * FE_{\text{GLP}} \text{CO}_2 * 1 + L_{\text{GLP}} * FE_{\text{GLP}} \text{N}_2\text{O} * 310) / 1000.5$$

L_{GLP} : Litros de gas LP
 $FE_{\text{GLP}} \text{CH}_4$: Factor de emisión del CH_4 en la combustión de gas LP (kg CH_4 /L gas LP)
 $FE_{\text{GLP}} \text{CO}_2$: Factor de emisión del CO_2 en la combustión de gas LP (kg CO_2 /L gas LP)
 $FE_{\text{GLP}} \text{N}_2\text{O}$: Factor de emisión del N_2O en la combustión de gas LP (kg N_2O /L gas LP)

Emisiones por utilización de combustible fósil: fuentes móviles, fuentes fijas.

Emisiones por utilización de gasolina

$$\text{Ton CO}_{2e} = (L_{\text{gas}} * FE_{\text{gas}} \text{CH}_4 * 21 + L_{\text{gas}} * FE_{\text{gas}} \text{CO}_2 * 1 + L_{\text{gas}} * FE_{\text{gas}} \text{N}_2\text{O} * 310) / 1000.$$

L_{gas} : cantidad en litros de gasolina
 $FE_{\text{gas}} \text{CH}_4$: Factor de emisión del CH_4 en la combustión de gasolina (kg CH_4 /L gasolina)
 $FE_{\text{gas}} \text{CO}_2$: Factor de emisión del CO_2 en la combustión de gasolina (kg CO_2 /L gasolina)
 $FE_{\text{gas}} \text{N}_2\text{O}$: Factor de emisión del N_2O en la combustión de gasolina (kg N_2O /L gasolina)
 FC_{gas} : Factor de conversión para la gasolina (tj/kWh)

5. Potencial de calentamiento global= 21 para el CH_4 , 1 para el CO_2 y 310 para el N_2O .

Emisiones por utilización de diesel

$$\text{Ton CO}_{2e} = (L_{\text{die}} * FE_{\text{die}} \text{CH}_4 + L_{\text{gasolina}} * FE_{\text{die}} \text{CO}_2 * 1 + L_{\text{GLP}} * FE_{\text{die}} \text{N}_2\text{O} * FC_{\text{die}} * 310) / 1000.$$

L_{die} : Litros de diesel
 $FE_{\text{die}} \text{CH}_4$: Factor de emisión del metano en la combustión de diesel (kg CH_4 /L gas LP)
 $FE_{\text{die}} \text{CO}_2$: Factor de emisión del dióxido de carbono en la combustión de diesel (kg CO_2 /L gas LP)
 $FE_{\text{die}} \text{N}_2\text{O}$: Factor de emisión del óxido nitroso en la combustión de diesel (kg N_2O /L gas LP)

Digestión entérica

$$\text{Ton CO}_{2e} = (C_{\text{cabeza}} * FE_{\text{Dig}} \text{CH}_4 * 21) / 1000$$

C_{cabeza} : cantidad de ganado según tipo
 $FE_{\text{Dig}} \text{CH}_4$: Factor de emisión de producción de metano según animal vacuno⁶ (kg CH_4 /cabeza*año)

Gestión del estiércol

$$\text{Ton CO}_{2e} = (C_{\text{cabeza}} * FE_{\text{Estiercol}} \text{CH}_4 * 21) / 1000$$

C_{cabeza} : cantidad de ganado según tipo
 $FE_{\text{Estiercol}} \text{CH}_4$: Factor de emisión de producción de metano según animal vacuno⁷ (kg CH_4 /cabeza*año)

Gestión de suelos: en utilización de pastos

$$\text{Ton CO}_{2e} = (A_{\text{pasto}} * FE_{\text{PASTO}} * 310) / 1000$$

A_{pasto} : área utilizada para pasto según tipo (ha)
 FE_{PASTO} ⁸: Factor de emisión según tipo de pasto (kg N_2O /ha/año)

Residuos sólidos

$$\text{Ton CO}_{2e} = (C_{\text{RS}} * FE_{\text{RS}} \text{CH}_4 * 21 + O_{\text{RS}} * FE_{\text{RS}} \text{N}_2\text{O} * 310) / 1000$$

6. El factor cambia según sea: ternero, hembra en crecimiento, macho en crecimiento, hembra adulta, etc.

7. El factor cambia según sea: ternero, hembra en crecimiento, macho en crecimiento, hembra adulta, etc.

8. El factor cambia según sea: estrella africana, Kikuyo, rataa, etc.

C_{RS} : Cantidad de residuos sólidos (kg)
 $FE_{RS} CH_4$: Factor de emisión del CH_4 en la descomposición de los residuos sólidos en el relleno sanitario (kg CH_4 /kg residuos sólidos)
 $FE_{RS} N_2O$: Factor de emisión del N_2O en la descomposición de los residuos sólidos en el Relleno Sanitario (kg N_2O /kg residuos sólidos)

Aguas residuales

$$\text{Ton CO}_{2e} = (C_{\text{personas}} * FE_{AR} CH_4 * 21) / 1000$$

C_{personas} : cantidad de personas en la universidad.
 $FE_{AR} CH_4$: Factor de emisión de generación de CH_4 (kg CH_4 /cabeza*año).

Aviación: empleada en la metodología del IPCC y del IMN

Para esta categoría fue necesario emplear una calculadora disponible en línea desde: <http://www2.icao.int/en/carbonoffset/Pages/default.aspx>. Esta calculadora se conoce como la Calculadora de Emisiones de Carbono de la Organización Internacional de Aviación Civil (ICAO), la cual emplea la metodología del IPCC, nivel 3A que se basa en datos de movimiento real.

Anexo 2

Ecuaciones utilizadas para obtener las emisiones de GEI según metodología IPCC

Consumo de electricidad

$$\text{Ton CO}_{2e} = (C_{kWh} * F_{\text{gen}} * FE_{\text{elec}} CO_2 * FC_{\text{elec}} * 1 + C_{kWh} * F_{\text{gen}} * FE_{\text{elec}} CH_4 * FC_{\text{elec}} * 21 + C_{kWh} * F_{\text{gen}} * FE_{\text{elec}} N_2O * FC_{\text{elec}} * 310) / 1000.$$

C_{kWh} = cantidad de electricidad consumida (kWh).
 F_{gen} : Factor de generación térmica (en porcentaje).
 $FE_{\text{elec}} CO_2$: Factor de emisión para el dióxido de carbono (kg CO_2 /TJ)
 $FE_{\text{elec}} CH_4$: Factor de emisión para el metano (kg CH_4 /TJ)
 $FE_{\text{elec}} N_2O$: Factor de emisión para el óxido nitroso (kg N_2O /TJ)

FC_{elec} : Factor de conversión para la electricidad (TJ/kWh)

Consumo de gas LP

$$\text{Ton CO}_{2e} = (L_{GLP} * FC_{GLP} * FE_{GLP} CO_2 * 1 + L_{GLP} * FC_{GLP} * FE_{GLP} CH_4 * 21 + L_{GLP} * FC_{GLP} * FE_{GLP} N_2O * 310) / 1000.$$

L_{GLP} = Litros de gas LP.

FC : Factor de conversión para el gas LP (TJ/kWh).

$FE_{GLP} CO_2$ Factor de emisión del CO_2 en la combustión del gas LP (kg CO_2 /TJ)

$FE_{GLP} CH_4$: Factor de emisión del CH_4 en la combustión del gas LP (kg CH_4 /TJ)

$FE_{GLP} N_2O$: Factor de emisión del N_2O en la combustión del gas LP (kg N_2O /TJ)

FC_{GLP} : Factor de conversión para el gas LP (TJ/kWh)

Emisiones por utilización de combustible fósil: fuentes móviles, fuentes fijas.

Emisiones por utilización de gasolina

$$\text{Ton CO}_{2e} = (L_{\text{gas}} * FE_{\text{gas}} CH_4 * FC_{\text{gas}} * 21 + L_{\text{gas}} * FE_{\text{gas}} CO_2 * FC_{\text{gas}} * 1 + L_{\text{gas}} * FE_{\text{gas}} N_2O * FC_{\text{gas}} * 310) / 1000.$$

L_{gas} : Litros de gasolina

$FE_{\text{gas}} CH_4$: Factor de emisión del metano en la combustión de gasolina (kg CH_4 /L gasolina)

$FE_{\text{gas}} CO_2$: Factor de emisión del dióxido de carbono en la combustión de gasolina (kg CO_2 /L gasolina)

$FE_{\text{gas}} N_2O$: Factor de emisión del óxido nitroso en la combustión de gasolina (kg N_2O /L gasolina)

FC_{gas} : Factor de conversión para la gasolina (TJ/kWh)

Emisiones por utilización de diesel

$$\text{Ton CO}_{2e} = (L_{\text{die}} * FE_{\text{die}} CH_4 * FC_{\text{die}} * 21 + L_{\text{die}} * FE_{\text{die}} CO_2 * FC_{\text{die}} * 1 + L_{\text{die}} * FE_{\text{gas}} N_2O * FC_{\text{die}} * 310) / 1000.$$

L_{die} : Litros de diesel

$FE_{\text{die}} CH_4$: Factor de emisión del metano en la combustión de gasolina (kg CH_4 /L diesel)

$FE_{die} CO_2$: Factor de emisión del dióxido de carbono en la combustión de diesel (kg CO_2 /L diesel)

$FE_{die} N_2O$: Factor de emisión del óxido nitroso en la combustión de diesel (kg N_2O /L diesel)

FC_{die} : Factor de conversión para el diesel (TJ/kWh)

Digestión entérica

$$\text{Ton } CO_{2e} = (C_{cabeza} * FE_{Dig} CH_4 * 21) / 1000$$

C_{cabeza} : cantidad de ganado según tipo

$FE_{Dig} CH_4$: Factor de emisión de producción de metano según animal vacuno⁹ (kg CH_4 /cabeza*año)

Gestión del estiércol:

$$\text{Ton } CO_{2e} = (C_{cabeza} * FE_{est} CH_4 * 21 + C_{cabeza} * FE_{est} N_2O * 310) / 1000 + (F_{SN} * EF_1 + \sum F_{ON} * EF_1 + \sum F_{PRP} * EF_3 * 44 / 28) / 1000.$$

C_{cabeza} : cantidad de ganado según tipo

$FE_{est} CH_4$: Factor de emisión de producción de metano según animal vacuno (kg CH_4 /cabeza*año)

F_{sn} : cantidad anual de N aplicado a los suelos en forma de fertilizante sintético (kg N/año)

EF_1 : Factor de emisión para emisiones de N_2O de aportes de N (kg N_2O-N / kg aporte de N)

F_{on} : Cantidad anual de estiércol animal, compost, lodos cloacales y otros aportes de N aplicados a los suelos (kg N/año)

F_{prp} : Cantidad anual de N de la orina y el estiércol depositada por los animales en pastoreo sobre pasturas, prados y praderas

EF_3 : Factor de emisión para emisiones directas de N_2O del sistema de gestión del estiércol (kg N_2O-N /kg N excretado)

Gestión de suelos:

$$\text{Ton } CO_{2e} = N_{Volatilización} + EF_4 * 44 / 28) / 1000 * 310 + (F_{SN} * Fracc_{GasF} + (\sum F_{ON} + \sum F_{PRP}) * Fracc_{GasMS}) * EF_4 * 44 / 28) / 1000$$

9. El factor cambia según sea: ternero, hembra en crecimiento, macho en crecimiento, hembra adulta, etc.

$$CON N_{Volatilización} = C_{CABEZA} * N_{NEXT} * MS * FRACC_{GasMS}$$

$N_{Volatilización}$: cantidad de N del estiércol que se pierde, debido a la volatilización de NH_3 y NO_x (kg N/año).

EF_4 : factor de emisión para emisiones de N_2O resultantes de la deposición atmosférica de nitrógeno en la superficie del suelo o del agua (kg N_2O-N / (kg NH_3-N + NO_x-N volatilizado))

F_{SN} : cantidad anual de N aplicado a los suelos en forma de fertilizante sintético (kg N/año)

$Fracc_{GasF}$: fracción de N de fertilizantes sintéticos que se volatiliza como NH_3 y NO_x (kg N volatilizado / kg de N aplicado)

F_{ON} : cantidad anual de estiércol animal, compost, lodos cloacales y otros aportes de N aplicada a los suelos (kg N/año)

F_{PRP} : cantidad anual de N de la orina y el estiércol depositada por los animales en pastoreo sobre pasturas, prados y praderas.

$Fracc_{GasMS}$: fracción de materiales fertilizantes de N orgánico (FON) y de N de orina y estiércol depositada por animales de pastoreo (FPRP) que se volatiliza como NH_3 y NO_x (kg N volatilizado / (kg de N aplicado o depositado))

$Next$: promedio anual de excreción de N por cabeza de la especie/categoría T en el país (kg N / animal-año)

MS : fracción de la excreción total anual de nitrógeno de cada especie/categoría de ganado T que se gestiona en el sistema de gestión del estiércol

Residuos sólidos:

$$\text{Ton } CO_{2e} = ((Kg_{RS} * ((\sum (FCO_{Material x} * FC_{Material x}))) * DOC_F * MCF) * F * 16 / 12) * (1 - OX_T)) * 21 / 1000$$

Kg_{RS} : Kilogramos de residuos sólidos

$FCO_{Material x}$: Fracción de carbono orgánico degradable

$FC_{material x}$: Fracción de composición

$Material x$: categoría o tipo de desecho y/o material

DOC_F : fracción del DOC que puede descomponerse

MCF : Factor de corrección de CH_4 para la descomposición aeróbica durante el año de deposición

F : fracción volumétrica de CH_4 en el gas de vertedero generado

OX: factor de oxidación

16/12: factor de conversión del c al CH₄

Agua residual

$$\text{Ton CO}_{2e} = (\text{FE}_{\text{Lagunas}} * \text{Q} * \text{kg DBO/L} * 365) * 21/1000$$

FE_{Lagunas}: Factor de emisión para lagunas (kg CH₄/kg DBO)

Q: caudal de agua (L/día)

