

**UNIVERSIDAD ESTATAL A DISTANCIA
VICERRECTORÍA ACADÉMICA
ESCUELA DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
MAESTRÍA EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES CON ENFÁSIS EN GESTIÓN
AMBIENTAL**

**Inventario de gases con efecto invernadero de la Universidad Técnica
Nacional sede Atenas período 2012-2015 y su relación con el número de
estudiantes**

Tesis presentada al Tribunal Examinador del Programa de Maestría de Manejo de Recursos Naturales de la Escuela de Ciencias Exactas y Naturales para optar por el grado de *Magister Scientiae* con énfasis en gestión ambiental

Rodney Orlando Cordero Salas

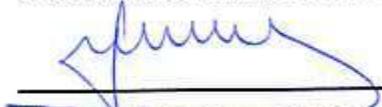
Director de tesis: Dra. Silvia Soto Córdova. ssoto@itcr.ac.cr
Lector de tesis: Msc. Rolando Marín León. marin.rolando@gmail.com
Lector de tesis: Dr. Johnny Montenegro Ballesterero. jmontenegro@imn.ac.cr

San José, Costa Rica

14 de febrero, 2019

TRIBUNAL EXAMINADOR

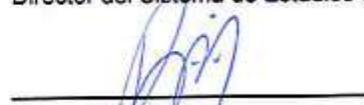
Este proyecto de Graduación ha sido aceptado y aprobado en su forma presente por el Tribunal Examinador del Programa de Maestría en Manejo y Protección de los Recursos Naturales del Sistema de Estudios de Postgrado de la Universidad Estatal a Distancia, como requisito parcial para optar por el grado de Magister Scientiae en Manejo y Protección de los Recursos Naturales con énfasis en Gestión Ambiental



Johnny Valverde Chavarría, Ph.D.

Representante

Director del Sistema de Estudios de Posgrado



Benjamin Alvarez Garay, M Sc.

Representante

Director de la Escuela de Ciencias Exactas y Naturales



Zaidett Barrientos Llosa, Ph. D.

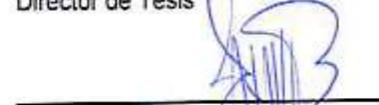
Coordinadora

Maestría en Manejo de los Recursos Naturales



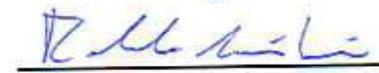
Silvia Soto Córdova, Ph. D.

Director de Tesis



Johnny Montenegro Ballester, Ph.D.

Lector de tesis



Rolando Marín León, M Sc.

Lector de tesis

DEDICATORIA

A mi esposa Carolina Murillo Vázquez e hijos Rodney Cordero Murillo y Marco Antonio Murillo por su apoyo e inspiración a lo largo de mi vida

AGRADECIMIENTOS

A la coordinadora de la Maestría en Manejo y Administración en Recursos Naturales la Ph.D. Zaidett Barrientos Llosa, mi tutora de tesis Ph.D. Silvia Soto Córdova, a mis lectores, Ph.D Johnny Montenegro Ballesteros y al MSc Rolando Marín León, por el apoyo y orientación en este proceso. Al señor Rector de la Universidad Técnica Nacional, Lic. Marcelo Prieto Jiménez, por permitirme y autorizar la utilización de la información de la universidad para realizar la investigación.

El presente trabajo es parte de los requisitos de graduación del programa de la maestría en Manejo y administración de los recursos naturales de la Universidad Estatal a Distancia (UNED).

Contenido

RESUMEN	6
ABSTRACT	7
INTRODUCCIÓN	8
MÉTODOS	8
Área de estudio	8
Fuentes de emisión	9
Emisiones directas	9
Emisiones generadas por semovientes:	9
Emisiones generadas por combustible	9
Emisiones generadas por gas licuado de petróleo (GLP):	10
Emisiones generadas por la aplicación de fertilizantes nitrogenados:	10
Emisiones generadas por recargas de extintores de CO₂:	10
Emisiones por tratamiento de aguas residuales:	11
Emisiones indirectas	11
Emisiones por consumo eléctrico:	11
Emisiones por residuos ordinarios:	11
Relación de tCO₂e emitidas con respecto a la cantidad de estudiantes matriculados del 2012 al 2015.	11
Regrasión lineal	12
Emisiones de tCO₂e por estudiante seis universidades latinoamericanas.	12
RESULTADOS	12
DISCUSIÓN	16
REFERENCIAS	17
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	19
Conclusiones	19
Recomendaciones	19
ANEXOS	21
ANEXO 1. CARTA DE RECEPCIÓN DE LA REVISTA CIENTÍFICA	21

Inventario de gases con efecto invernadero de la Universidad Técnica Nacional, sede Atenas período 2012-2015 y su relación con el número de estudiantes

Rodney Orlando Cordero Salas

Maestría en Manejo de Recursos Naturales, UNED. rcordero@utn.ac.cr

(Este trabajo fue sometido a la revista Repertorio Científico de la UNED, para su publicación formal. Debe buscarse como: Rodney Orlando Cordero Salas. **Inventario de gases con efecto invernadero de la Universidad Técnica Nacional sede Atenas período 2012-2015 y su relación con el número de estudiantes**. Anexo 1)

RESUMEN

Las Universidades están llamadas a asumir compromisos ambientales mediante la adopción de políticas y estrategias destinadas a disminuir sus impactos ambientales. La disminución de la huella de carbono, requiere como primer paso, conocer la línea base de impactos relacionados con la emisión de gases con efecto invernadero (GEI). En Costa Rica se tiene una política nacional de carbono neutralidad, la cual debería alcanzarse en el año 2021. Este estudio presenta los resultados de la identificación y cuantificación de las principales fuentes de emisión en la Universidad Técnica Nacional sede Atenas (UTN-SA), según la metodología del Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (IPCC) 2006 y factores de emisión publicados por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) 2016. Para tal fin, se identificaron 8 fuentes de emisiones, siendo estas: semovientes, residuos ordinarios, combustibles, aguas residuales, fertilizantes nitrogenados, electricidad, gas licuado de petróleo (GLP) y extintores de CO₂, según su orden de importancia. Las tres primeras fuentes emitieron el 92% del total de emisiones de la UTN-SA, siendo la principal los semovientes con una contribución del 57% de las emisiones totales. El promedio de toneladas de dióxido de carbono equivalente emitidas por año (tCO₂e) fue de 959 tCO₂e, con promedio de emisiones por estudiante por año de 1,58 tCO₂e, con una máxima de 1,71 tCO₂e en el 2013 y la mínima de 1,48 tCO₂e en el 2014-2015. Para desarrollar este estudio se plantearon tres hipótesis de trabajo: 1) a mayor número de estudiantes hay menor generación CO₂e por año por estudiante, 2) todas las fuentes de emisión de CO₂e aumentan al aumentar número de estudiantes y 3) las contribuciones de las distintas fuentes de emisiones de CO₂e son similares al aumentar el número de estudiantes. En relación con la hipótesis 1 encontramos que efectivamente la cantidad de tCO₂e por estudiante disminuye al aumentar la población estudiantil pero las emisiones tienden a estabilizar los dos últimos años del estudio en 1,48 tCO₂e. Por lo tanto, la hipótesis 1 se acepta.

Palabras claves: Huella de carbono, neutralidad, indicadores ambientales, tCO₂e, efecto invernadero, inventario.

ABSTRACT

Universities are called to take on environmental commitments by means of adopting policies and strategies aimed at reducing their environmental impacts. The reduction of their carbon footprint requires, as a first step, knowledge of the baseline impacts from greenhouse gas (GHG) emissions. In Costa Rica, there is in place a national policy relating to carbon neutrality, which dictates that carbon neutrality should be reached in the year 2021. This study presents the results of the identification and quantification of the main sources of emission in the National Technical University, Atenas campus (UTN-SA), using the methodology of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2006, and emission factors published by the National Meteorological Institute (IMN) 2016. For this purpose, 8 sources of emissions were identified: livestock, ordinary waste, fuels, sewage water, nitrogen fertilizers, electricity, liquefied petroleum gas (LPG), and CO₂ fire extinguishers, in order of importance. The first three sources released 92% of the total GHG emissions of the UTN-SA campus, the main one being livestock, which contributed 57% of the total emissions. The average tons of carbon dioxide equivalents emitted per year (tCO₂e) was 959 tCO₂e, resulting in average emissions per student per year of 1,58 tCO₂e, with a maximum of 1,71 tCO₂e in 2013 and the minimum of 1,48 tCO₂e in 2014-2015. In undertaking this study, three working hypotheses were proposed: 1) the higher the number of students, the lower the CO₂e generation per year per student; 2) all the CO₂e emission sources increase with the increase in the number of students; and 3) the contributions of the different sources of CO₂e emissions are similar when increasing the number of students. We found that the amount of tCO₂e per student decreased as the student population increased, and that CO₂e emissions stabilized during the last two years of the study at 1,48 tCO₂e. We are therefore unable to falsify hypothesis 1, and reject hypotheses 2 and 3.

Key words: trace of carbon neutrality, environmental indicators, tCO₂e, greenhouse, inventory.

INTRODUCCIÓN

El deterioro ambiental es un tema de suma importancia para la humanidad. A medida que aumenta la población, se requieren más recursos y se incrementa la contaminación, lo que es un riesgo potencial para la sostenibilidad del ser humano y del planeta. Una de las principales fuentes de contaminación es la generada por los llamados gases con efecto invernadero (GEI), los cuales, al liberarse a la atmósfera, crean una capa que limita la liberación de calor de la superficie de la tierra, lo que a su vez aumenta la temperatura del planeta, a este efecto se le conoce como calentamiento global (IPCC 2007). Seis son los principales gases que favorecen el efecto invernadero en la atmósfera: dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), óxidos de nitrógeno (N_xO_y) y componentes orgánicos volátiles diferentes al metano, como hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF_6) (Kioto, 1997). Según el grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático, foro establecido en el marco de la Naciones Unidas en 1988, la temperatura del planeta ha aumentado $0,74^\circ\text{C}$ de 1906 a 2004 y se espera que aumente entre $1,4^\circ\text{C}$ y $5,8^\circ\text{C}$ en el presente siglo (IPCC, 2007). No obstante, al 2016 el incremento registrado llegó a $1,1^\circ\text{C}$, lo que sitúa el aumento global de las temperaturas a una distancia peligrosamente próxima al "techo" máximo de 1,5 grados fijado por el **Acuerdo de París** (Fresneda, 2017).

El gobierno de Costa Rica propuso en el 2006 que para el 2021 el país sería carbono neutral, lo cual implica que las emisiones de carbono al ambiente serán iguales a la capacidad de fijación del país (Dobles, 2008). Este compromiso, impulsó a empresas, organizaciones, instituciones y universidades, incluida la Universidad Técnica Nacional sede Atenas (UTN-SA) a estimar su huella de carbono y proponer posibles medidas de mitigación. Sin embargo, sus resultados han sido muy variados, debido principalmente al número de estudiantes, funcionarios, carreras que imparten, tamaño y distribución del campus universitario, políticas ambientales y alcance del análisis, entre otros factores (EARTH, 2014; Chavarría, 2016). Como punto de comparación, el promedio per cápita nacional es de 2,41 tCO₂e (Banco Mundial, 2015) y para el 2030, se proyecta bajar a 1,7 tCO₂e mediante la implementación de acciones de disminución y fijación (MINAE, 2016). Para desarrollar este estudio se planteó tres hipótesis de trabajo: 1) a mayor número de estudiantes hay menor generación CO₂e por año por estudiante, 2) todas las fuentes de emisión de CO₂e aumentan al aumentar la cantidad de estudiantes y 3) las contribuciones de las distintas fuentes de emisiones de CO₂e son similares.

MÉTODOS

Área de estudio: La Universidad Técnica Nacional de Costa Rica tiene seis sedes a nivel nacional, ubicadas, dos en Guanacaste, San Carlos, Alajuela, Puntarenas y en Atenas. La sede Atenas (UTN-SA) se ubica en el caserío de Balsa, cantón de Atenas en la provincia de Alajuela. Geográficamente se ubica según la proyección CRTM05, coordenada vertical Y 458560 y coordenada horizontal X 1098800. La altitud de la finca varía desde los 250 a 650 msnm. La UTN-SA se especializa en impartir carreras agropecuarias y agroindustriales. Para esta labor la UTN-SA dispone de una finca de 540 ha, de las cuales 200 ha son zonas de protección y plantaciones forestales. La sede cuenta con 110 instalaciones, entre ellas dos plantas agroindustriales, laboratorios, oficinas, aulas, residencias para más de 300 estudiantes, 1000 semovientes (ganado de carne, ganado

lechero, búfalos, caballos, cerdos, cabras y ovejas), 789 estudiantes y 200 funcionarios en el 2015.

Fuentes de emisión: Se identificó ocho fuentes de emisiones de gases con efecto invernadero (semovientes, combustibles, gas licuado de petróleo (GLP), fertilizantes nitrogenados, extintores de CO₂, aguas residuales, electricidad y residuos ordinarios, los cuales se dividen en directas e indirectas. Se determinó la cantidad de estudiantes promedio, utilizando los reportes del departamento de registro universitario del 2012 al 2015. La metodología empleada para estimar las emisiones fue la propuesta por el IPCC (2006) y los factores de emisión los reportados por el IMN (2016).

Emisiones directas: Se estimó las emisiones de seis fuentes directas: semovientes (ganado de carne, ganado de leche, caballos, búfalos, cabras, ovejas y cerdos), combustibles fósiles (diésel y gasolina), gas licuado de petróleo (GLP), fertilizantes nitrogenados, extintores de CO₂ y aguas residuales.

Emisiones generadas por semovientes: Se estimó las emisiones generadas por cuatro especies de rumiantes: bovinos, caprinos, ovinos, bufalinos y dos monogástricos: cerdos y equinos. Los datos de semovientes se obtuvieron de los registros del departamento de control de bienes de la UTN-SA, tomando como punto de referencia el inventario anual que se realiza en el mes de octubre, determinando las categorías de cabezas para ganado de carne y ganado de leche en terneros, hembras en crecimiento, machos en crecimiento, hembra adulta y macho adulto, para el resto de las especies se empleó el número de animales por el factor. La metodología aplicada es la recomendada por el IPCC (2006) y se utilizaron los factores de emisión según (IMN, 2016). En el caso de los semovientes se estima la fermentación entérica y manejo del estiércol (El termino estiércol incluye tanto la orina como el excremento animal). El cálculo de emisiones de CO₂e debido a este aspecto se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Ton CO}_2\text{e} = [\text{Cb} * \text{FG proc dig}] + (\text{Cb} * \text{FG man est}) * 21 / 1000 \text{ kg/ton}$$

Dónde:

Ton CO₂e: Toneladas de dióxido de carbono equivalente.

Cb: Cabezas animal.

FGprocdig: Factor de emisión oficial del IMN, kilogramos de CH₄ emitido por el ganado en el proceso digestivo por cabeza animal.

FG manest: Factor de emisión oficial del IMN, kilogramos de CH₄ emitido por cabeza animal en el manejo de estiércol.

21: Potencial de calentamiento global del CH₄ para conversión a CO₂.

1000 kg/ton: Factor de kilogramos a toneladas.

Emisiones generadas por combustible: Se cuantificó el consumo en litros de combustible/año (gasolina y diésel), donde la gasolina es empleada principalmente en motores pequeños y el diésel en la mayoría de los vehículos y caldera. Para el cálculo de emisiones se utilizó la metodología sugerida por el IPCC (2006) y factores de emisión del IMN (2016). Los datos de consumo en litros de combustibles fueron obtenidos de los registros de la unidad de transportes de la UTN-SA. El cálculo de emisiones de CO₂e por el consumo de diésel y gasolina se realizó con la siguiente fórmula:

$$\text{Ton CO}_2\text{e} = (\text{L} * \text{FCO}_2) / 1000 \text{ Kg/ton}$$

Dónde:

Ton CO₂e: Toneladas de dióxido de carbono equivalente.

L: Litros de combustible diésel o gasolina

FCO₂: Factor de emisión oficial del IMN, kilogramos de CO₂ emitido por cada litro de diésel o gasolina.

1000 Kg/ton: Factor de kilogramos a toneladas

Emisiones generadas por gas licuado de petróleo (GLP): Para el cálculo de emisiones se utilizó la metodología sugerida por el IPCC (2006) y factores de emisión del IMN (2016). El consumo en litros de GLP obtuvo mediante la sumatoria de todas las facturas aportadas por el concesionario del comedor institucional de la UTN-SA. El cálculo de emisiones de CO_{2e} se realizó con la siguiente fórmula:

$$\text{Ton CO}_{2e} = (\text{LGLP} * \text{FGLP}) / 1000 \text{ Kg/ton}$$

Dónde:

Ton CO_{2e}: Toneladas de dióxido de carbono equivalente.

LGLP: Litros de Gas Licuado de Petróleo consumidos.

FGLP: Factor de emisión oficial del IMN, kilogramos de CO₂ emitido por cada litro GLP

1000 Kg/ton: Factor de kilogramos a toneladas.

Emisiones generadas por la aplicación de fertilizantes nitrogenados: Se cuantificó los kilogramos de fertilizantes nitrogenados utilizados que favorecen la emisión del N₂O. Esto se obtuvo del registro del almacén de proveeduría de la UTN-SA. Para la determinación se utilizó la metodología recomendada por el IPCC (2006) y el 1% de nitrógeno volatilizable por concepto de otros pastos (IMN,2016). El cálculo de emisiones de CO_{2e} debido a la utilización de fertilizantes se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Ton CO}_{2e} = \text{NSF} * 45 \text{ Kg} * \%N/100 * 1\%/100 * 1,5714 * 310 / 1000 \text{ Kg/ton}$$

Dónde:

Ton CO_{2e}: Toneladas de dióxido de carbono equivalente.

NSF: Cantidad de sacos de fertilizante.

45 Kg: Peso en kilogramos de un saco de fertilizante.

%N: Porcentaje de nitrógeno presente en el fertilizante.

1%: Porcentaje de nitrógeno que se volatiliza.

1,5714: Transformación del nitrógeno N₂ a óxido nitroso N₂O.

310: Transformación de óxido nitroso N₂O a dióxido de carbono CO₂

1000 Kg/ton: Factor de kilogramos a toneladas.

Emisiones generadas por recargas de extintores de CO₂: Se determinó el número de extintores y su capacidad, según registros del área de seguridad de la UTN-SA. Los extintores de CO₂ son recargados una vez al año. Para la determinación se utilizó la metodología recomendada por el IPCC (2006) y los índices del IMN (2016). El cálculo de emisiones de CO_{2e} se realizó con la siguiente fórmula:

$$\text{Ton CO}_{2e} = (\text{N1} * \text{CP} * \text{RA} * \text{F}) / 1000 \text{ Kg/ton}$$

Dónde:

Ton CO_{2e}: Toneladas de dióxido de carbono equivalente.

N1: Cantidad de extintores.

CP: Capacidad promedio en kilogramos por extintor

RA: Recargas al año

F: Factor de emisión oficial del IMN, kilogramos de CO₂ emitido.

1000 Kg/ton: Factor de kilogramos a toneladas.

Emisiones por tratamiento de aguas residuales: La UTN-SA cuenta con dos lagunas de oxidación para tratar las aguas residuales. Para la determinación se utilizó la metodología recomendada por el IPCC (2006) y los índices del IMN (2016). El cálculo de emisiones de CO_{2e} se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Ton CO}_2\text{e} = N_p * F_{Ar} * 21 / 1000 \text{ Kg/ton}$$

Dónde:

Ton CO_{2e}: Toneladas de dióxido de carbono equivalente.

N_p: Número de estudiantes promedio anual.

F_{Ar}: Factor de emisión oficial del IMN, kilogramos de CH₄ emitido por cada persona al año.

21: Potencial de calentamiento global del CH₄ para conversión a CO₂.

1000 Kg/ton: Factor de kilogramos a toneladas.

Emisiones indirectas: Se determinó dos fuentes de emisiones indirectas: el consumo de electricidad y los residuos ordinarios.

Emisiones por consumo eléctrico: El consumo eléctrico en kWh se estimó por medio de la sumatoria de todos los recibos emitidos por el Instituto Costarricense de Electricidad correspondiente a los años del 2012 al 2015 de la UTN-SA. Para la determinación se utilizó la metodología recomendada por el IPCC (2006) y los índices del IMN (2016). El cálculo de emisiones de CO_{2e} se realizó con la siguiente fórmula:

$$\text{Ton CO}_2\text{e} = \text{kWh} * F_{\text{kWh}} / 1000 \text{ Kg/ton}$$

Dónde:

Ton CO_{2e}: Toneladas de dióxido de carbono equivalente.

kWh: Kilowatts hora de energía eléctrica consumida.

F_{kWh}: Factor de emisión oficial del IMN, kilogramos de CO₂ emitido por cada kilowatt hora consumido.

1000 Kg/ton: Factor de kilogramos a toneladas.

Emisiones por residuos ordinarios: Los residuos ordinarios o residuos domésticos generan emisión indirecta ya que son enviados a un relleno sanitario, para su determinación se emplearon los reportes de la empresa WPP Continental de Costa Rica y de la municipalidad de Atenas que son los encargados de recolectar y llevar los residuos de la UTN-SA a un relleno sanitario. Para la determinación se utilizó la metodología recomendada por el IPCC (2006) y los índices del IMN (2016). El cálculo de emisiones de CO_{2e} mediante este aspecto se realizó con la siguiente fórmula:

$$\text{Ton CO}_2\text{e} = N_{Rs} * F_{Rs} * 21 / 1000 \text{ Kg/ton}$$

Dónde:

Ton CO_{2e}: Toneladas de dióxido de carbono equivalente.

N_{Rs}: Cantidad de residuos sólidos en kilogramos enviados al relleno sanitario.

F_{Rs}: Factor de emisión oficial del IMN, kilogramos de CH₄ emitido por cada kilogramo de residuos sólidos.

21: Potencial de calentamiento global del CH₄ para conversión a CO₂.

1000 Kg/ton: Factor de kilogramos a toneladas.

Relación de tCO_{2e} emitidas con respecto a la cantidad de estudiantes matriculados del 2012 al 2015.

La cantidad de estudiantes matriculados promedio por año se obtuvieron del departamento de registro de la UTN-SA. El cálculo de emisiones de CO₂e promedio por estudiante por año se realizó con la siguiente fórmula:

$$\text{tCO}_2\text{e por estudiante} = \text{tCO}_2 / \text{NEs}$$

Dónde:

tCO₂e: Toneladas de dióxido de carbono equivalente emitidas por año.

NEs: Cantidad promedio de estudiantes matriculados por año.

Regresión lineal.

Para analizar comparativamente los valores de las emisiones de tCO₂e y su relación con las variables número de estudiantes y año de emisión, se utilizaron modelos de regresión lineal, con el programa estadístico R versión 3.4.3.

Emisiones de tCO₂e por estudiante de seis universidades latinoamericanas.

Se utilizó informes de las emisiones generadas en tCO₂e/año de cuatro universidades costarricenses (tres públicas y una privada) y dos latinoamericanas como punto de referencia. En el caso de las nacionales, sus emisiones totales fueron divididas entre la sumatoria de estudiantes y funcionarios, generando una emisión menor por persona y no por estudiante, por lo tanto, para obtener las emisiones por estudiante, se dividió las emisiones reportadas por las universidades entre la matrícula reportada en el informe del Estado de la Nación (2015), estimado con ello las emisiones de tCO₂e/estudiante.

RESULTADOS

El 92% de las emisiones de la UTN-SA son generadas por tres fuentes: semovientes con 57%, residuos ordinarios con 19% y combustibles con 16%, el restante de las fuentes emite el 8% (cuadro1).

CUADRO 1											
Inventario de emisiones en tCO₂e del periodo 2012 - 2015 generadas por la Universidad Técnica Nacional sede Atenas, Costa Rica.											
Año	Semovientes	Residuos ordinarios	Combustible	Aguas residuales	Fertilizantes nitrogenados	Electricidad	Gas GLP	Extintores CO ₂	Emisiones tCO ₂ e/año	Promedio de estudiantes matriculados /año	Promedio emisiones tCO ₂ e/año /estudiante
2012	503	176	39	26	17	7	3	0	771	463	1,67
2013	561	198	99	30	10	12	5	0	915	536	1,71
2014	539	180	188	37	26	11	6	0	987	667	1,48
2015	595	183	297	44	34	4	7	0	1164	789	1,48
Promedio	549	184	156	34	22	8	6	0	959	614	1,58
% 1	57	19	16	4	2	1	1	0	100		
% 2	+92	+7	+258	+26	+17	-3	+4	0			

Nota. %1. Es el porcentaje del total de las emisiones que corresponde al ente emisor

% 2. Incremento en toneladas de los 4 años de estudio

De las fuentes estudiadas en relación con el incremento de estudiantes se pueden clasificar en tres grupos: las que aumentan las emisiones, las que se mantienen y las que disminuyen a pesar del incremento de estudiantes. Las fuentes de emisión de GEI que aumentan las emisiones son los semovientes, combustibles, aguas residuales, fertilizantes, residuos ordinarios y el gas GLP. Los extintores presentan tan bajas que al redondear las cifras da cero emisiones. Las fuentes de emisión que disminuyen son la electricidad (Cuadro 1). Los semovientes son el principal emisor, debido a la cantidad de animales y factor elevado de conversión de metano a CO₂, generando en promedio 549 tCO₂e al año, equivalente al 57% de las emisiones totales y con un incremento de las emisiones del 18% en los cuatro años del estudio (cuadro1). Dentro de los semovientes, el hato de ganado de carne ocupa el primer lugar de emisiones con 55%, seguido por el hato de ganado de leche con 33%, el resto de los semovientes generan el 12% (Cuadro 2)

CUADRO 2															
Emisiones en tCO₂e del proceso digestivo y manejo del estiércol en cabezas animal por año															
Año	Cb G/carne	PD+ ME	Cb G/Leche	PD+ ME	Cb Caballos	PD+ ME	Cb Búfalos	PD+ ME	Cb Cerdos	PD+ ME	Cb Ovejas	PD+ ME	Cb cabras	PD+ ME	total tCO₂/año
2012	211	255	138	188	21	8	14	16	192	8	136	17	85	11	503,40
2013	246	297	139	183	21	8	33	39	104	4	152	19	78	10	561,72
2014	250	305	138	173	21	8	11	13	168	7	172	22	78	10	539,67
2015	288	345	148	186	21	8	13	15	164	7	200	25	65	8	595,10
Promedio	248,75	301	140,75	183	21	8	17,75	21	157	7	165	21	76,5	10	549,47
%		55		33		1		4		1		4		2	100,00

PD: Proceso digestivo

ME: Manejo del estiércol

Cb: Cabezas animal

Los residuos ordinarios ocupan el segundo lugar en importancia con 19% del total de las emisiones, siendo principalmente generados por las residencias estudiantiles, casas de funcionarios, comedor institucional, áreas de proceso, unidades de producción pecuaria, oficinas y laboratorios. A lo largo del estudio, presenta un comportamiento muy estable a pesar del crecimiento de estudiantes, siendo de solo 4% su incremento (Cuadro 1).

Los combustibles ocupan el tercer puesto en importancia con 16% del total de emisiones, donde el consumo se distribuye 73% diésel y el 27% gasolina. Además, presenta un incremento del 661 %, siendo el mayor crecimiento porcentual comparado con las demás fuentes emisoras. El diésel es consumido principalmente por vehículos, maquinaria y equipo agrícola y la caldera de la planta de lácteos; la gasolina es utilizada en motores de dos tiempos como chapadoras y motosierras (Cuadro 1). En la Fig. 1, la relación del número de estudiantes y las emisiones es positiva, y se interpreta cuantitativamente como que por cada estudiante que se agrega a la población de la universidad se incrementa en 0,77 tCO₂e las emisiones, dicho incremento se debe al incremento en el número de giras, tanto estudiantiles como académicas o de planificación universitaria.

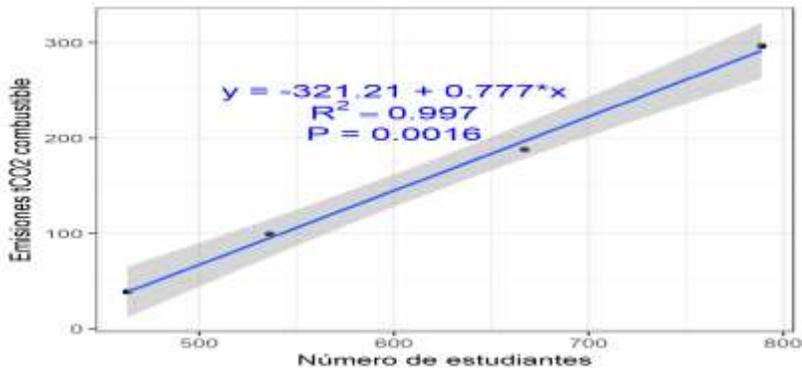


Fig. 1 Emisiones en tCO₂e anuales generadas por combustibles y relación con el número de estudiantes matriculados del 2012 al 2015 en la Universidad Técnica Nacional sede Atenas, Costa Rica.

En la Fig. 2, la relación del número de estudiantes y las emisiones totales es positiva, siendo que por cada estudiante que se agrega a la población, se incrementa en 1,11 tCO₂e anuales de emisiones. Las emisiones de GEI promedio por estudiante en la UTN-SA se estabilizan en los dos últimos años en 1,48 tCO₂e (Figura 3). No obstante, las emisiones totales de la UTN-SA han aumentado conforme incrementa el número de estudiantes (Cuadro 1). En el 2013 los niveles de emisión por estudiante son los más altos con respecto a los demás años, debido a que las emisiones de semovientes, residuos ordinarios y combustible aumentaron, en el caso del primero fue por un aumento de cabezas del hato de ganado de carne, el segundo por aumento en la capacidad de residencias estudiantiles y el tercero actividades académicas, pero al mismo tiempo el incremento de estudiantes fue el más bajo de los cuatro años.

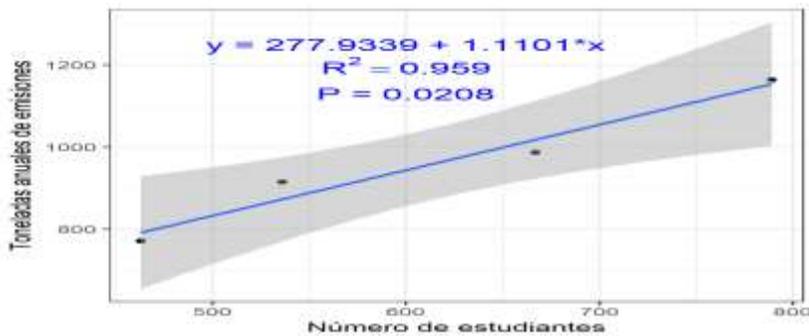


Fig. 2 Emisiones en tCO₂e anuales y su relación con el número de estudiantes matriculados del 2012 al 2015 en la Universidad Técnica Nacional sede Atenas, Costa Rica.

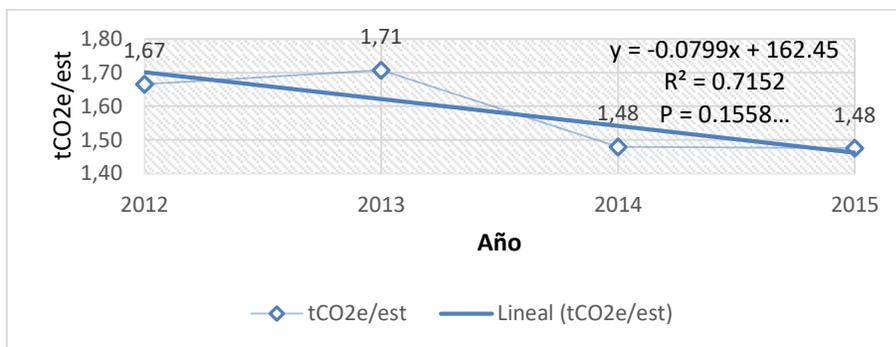


Fig. 3. Promedio anual de emisiones por estudiante.

La Fig.3, presenta una tendencia a estabilizar las emisiones en 1,48 tCO2e con respecto al número promedio por estudiantes matriculados del 2012 al 2015 en la Universidad Técnica Nacional sede Atenas, Costa Rica.

CUADRO 3.					
Emisiones promedio en tCO2e por estudiante de seis universidades latinoamericanas como punto de referencia con la Universidad Técnica Nacional sede Atenas					
Universidad	Año de comparación	Número de estudiantes	Total de tCO2e emitidas /año	Promedio ajustado en tCO2e/ Estudiante	Referencia bibliográfica
Universidad de Costa Rica	2013	39730	4538	0,11	Ruíz. C. (2013), Estado de la Nación (2015)
Universidad Nacional de Costa Rica	2014	17879	3568	0,20	Chavarría F et al. (2016) y Estado de la Nación (2015)
Universidad Politécnica de Cartagena en Colombia	2014	7458	2825	0,38	Universidad Politécnica de Cartagena (2014).
Instituto Tecnológico de Costa Rica	2013	10043	3860	0,38	Ruíz. C. (2013) y Estado de la Nación (2015)
Universidad Tecnológica Metropolitana de Chile	2010	5954	7204	1,21	Ortúzar. P, Toledo. C y Yurisch T(2010)
Escuela Agricultura de la Región Tropical Húmeda. Costa Rica	2014	415	2515	6,00	EARTH (2014) y Estado de la Nación (2015)
Universidad Técnica Nacional sede Atenas. Costa Rica	2014	667	987	1,48	

Fuente: elaboración propia.

Cabe destacar que, al referenciar la huella de carbono de seis universidades latinoamericanas (Cuadro 3) se refleja una amplia diferencia en cuanto a las tCO2e emitidas por cada una de ellas, por ejemplo la Universidad de Costa Rica y la Universidad Nacional de Costa Rica para el 2014 se estimó de forma indirecta en 0,11 y 0,20 tCO2e por estudiante respectivamente (Chavarría, 2016 y Estado de la Nación, 2015); la Universidad Politécnica de Cartagena en Colombia y el Tecnológico de Costa Rica estiman en 0,38 y 0,38 tCO2e/estudiante respectivamente, ambos datos idénticos (UPCT, 2014 y Ruiz, 2013); la Universidad Tecnológica Metropolitana de Chile reportó 1,21 tCO2e/estudiante (Ortúzar. P,

et al, 2010); y para la Escuela de Agricultura para la Región Tropical Húmeda Costa Rica se estimó de forma indirecta en 6 tCO₂e/estudiante (EARTH, 2014). El valor de 1,48 tCO₂e de la UTN-SA que se determinó para el 2014 y 2015 en este estudio es similar al reportado por la Universidad Tecnológica Metropolitana de Chile, pero mayor al del resto de las Universidades mencionadas y menor que el estimado para la Escuela Agrícola de la Región Tropical Húmeda.

DISCUSIÓN

Se determinó que los dos primeros años del estudio, las emisiones por estudiante incrementaron, caso contrario sucedió en los dos últimos años, donde se estabiliza en 1,48 tCO₂e y con un promedio final durante los cuatro años de 1,58 tCO₂e por estudiante. Ambos resultados son menores al promedio nacional de 2,41 tCO₂e y a la proyección planteada por el gobierno para el 2030 de 1,7 tCO₂e (MINAE 2016).

Los semovientes son la fuente de emisión más importante en la UTN-SA y son utilizados principalmente en los niveles de diplomado de las carreras en Sistemas en producción animal y asistencia veterinaria para realizar prácticas de manejo y producción. Los niveles de bachillerato y licenciatura, incrementaron el número de estudiantes, pero no requieren el uso de semovientes para actividades académicas. Del total de las emisiones generadas por semovientes, se determinó que el 55% son del hato de ganado de carne y 33% del ganado de leche. En el 2015 se presentan el mayor incremento de emisiones por semovientes, debido a que ambos hatos aumentan el número de animales por mejoras en el manejo alimenticio y reproductivo.

Las emisiones generadas por residuos ordinarios actualmente son la segunda fuente en importancia en la UTN-SA y su incremento es bajo a pesar del incremento del número de estudiantes.

Las emisiones generadas por los combustibles, ocupan el tercer puesto en importancia en la UTN-SA, además es la fuente de emisión con el mayor crecimiento porcentual, debido a su relación directa con el aumento del número de estudiantes relacionadas con las giras, prácticas de campo, proyectos y actividades académicas. El 73% del consumo de combustible es diésel y el 27% es gasolina, principalmente motores pequeños, siendo similar a las de otras universidades nacionales (Chavarría, et al, 2016).

Los semovientes, residuos ordinarios y combustibles generan el 92 % de las emisiones totales de la UTN-SA. Al mismo tiempo, estos emisores coinciden con los tres principales a nivel país, solo varía la ubicación de los dos primeros, donde los combustibles ocupan el primer puesto, de segundo los semovientes y tercero los residuos ordinarios (IMN, 2016).

Las aguas residuales, según los reportes operacionales, presentan incremento del 69% en las emisiones debido al aumento de la población estudiantil.

El uso de los fertilizantes nitrogenados en la UTN-SA incrementó en 100% las emisiones, debido al aumento del área de pasturas mejoradas, producción de heno y ensilaje, elevando con ello la carga animal principalmente en el hato de ganado de carne, pero este incremento no tiene relación directa con el número de estudiantes.

El consumo eléctrico se ha incrementado debido a actividades académicas, productivas y mejoras en el equipamiento de la Universidad, sin embargo, el factor térmico se redujo, lo que provocó que las emisiones disminuyan en 43%. En el caso del gas GLP aumento sus emisiones en 133% debido a un mayor número de estudiantes residentes, funcionarios y actividades académicas. Por último, el uso de extintores se incrementó debido a que se colocaron más extintores en todas las residencias estudiantiles y nuevas instalaciones académicas, pero no se refleja dentro del total al ser emisiones muy pequeñas.

En el cuadro 3, al referenciar las emisiones en tCO_{2e}/estudiante de seis universidades latinoamericanas, cuatro de ellas de Costa Rica y dos Sudamericanas, se aprecia una clara diferencia entre ellas, con emisiones que van desde 0,11 hasta 6,0 tCO_{2e}/estudiante/año, la UTN-SA ocupa el segundo lugar en importancia con 1,48 tCO_{2e} y la EARTH el primero con 6,0 tCO_{2e}, siendo ambas universidades similares por impartir educación agropecuario-agroindustrial. Al referenciar las emisiones con las otras cinco universidades, las diferencias son significativas, ya que estas cuentan con miles de estudiantes y con carreras principalmente administrativas, que les permiten una menor emisión por estudiante. En nuestro caso la cantidad de estudiantes es menor y las carreras son principalmente agropecuarias e industriales, las cuales no permiten grupos grandes de práctica (8 a 15), requieren insumos agrícolas y combustibles, de semovientes y manejo de fincas que incrementan las emisiones por estudiante.

Para desarrollar este estudio se planteó tres hipótesis de trabajo: 1) a mayor número de estudiantes hay menor generación CO_{2e} por año por estudiante, 2) todas las fuentes de emisión de CO_{2e} aumentan al aumentar a cantidad de estudiantes y 3) las contribuciones de las distintas fuentes de emisiones de CO_{2e} son similares. Al analizar los resultados de emisiones con respecto al incremento de estudiantes no se aceptan las hipótesis 2 y 3, ya que no todas las fuentes de emisiones aumentan al aumentar la cantidad de estudiantes y las contribuciones de emisiones son diferentes en todas las fuentes de emisión. En relación con la hipótesis 1 encontramos que efectivamente la cantidad de tCO_{2e} por estudiante disminuye al aumentar la población estudiantil pero las emisiones se estabilizan los dos últimos años del estudio en 1,48 tCO_{2e}. Por lo tanto, la hipótesis 1 se acepta.

REFERENCIAS

Banco Mundial. (2015). Emisiones de todos los gases de efecto invernadero (toneladas métricas per cápita). Indicadores del desarrollo mundial. Centro de Análisis de

- Información sobre Dióxido de Carbono, División de Ciencias Ambientales del Laboratorio Nacional de Oak Ridge, Tennessee, Estados Unidos. Recuperado de: <http://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.PC/countries/>
- Chavarría F et al. 2016. Medición de la huella de carbono de la Universidad Nacional de Costa Rica para el periodo 2012-2014. Rumbo a la carbono neutralidad. Editorial UNICIENCIA. Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. Recuperado de: <http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/uniciencia/article/view/7756/9169#BancoMundial-2015-Emisiones-de-todos>
- Dobles, R. (2008). Estrategia nacional de cambio climático. Ministerio del Ambiente y Energía. San José, Costa Rica. 25p.
- Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda. (2008). Neutralidad del Carbono. Limón-Costa Rica. 19 p.
- Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda (2014). Emisiones de gases efecto invernadero. Limón, Costa Rica. 16 p.
- Estado de la Nación (2015) Evolución de la Educación superior. Capítulo 4. Costa Rica. Recuperado de: <http://www.estadonacion.or.cr/educacion2015/assets/cap-4-ee-2015.pdf>
- Fresneda, C. (2017) El Diario. El 2016 fija un nuevo récord de la temperatura global Recuperado de: <http://www.elmundo.es/ciencia/2017/01/18/587faed446163fa1518b45c9.html>. Londres Inglaterra.
- Instituto Meteorológico Nacional. (2016). Factores de gases de efecto invernadero en Costa Rica. Sexta edición. Recuperado el 25 de agosto. 2016. Recuperado de <http://www.imn.global.ogr.com>.
- IPCC (2006) Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Recuperado de: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/index.html>
- IPCC (2007). *Cambio Climático 2007. Informe de síntesis*. Recuperado de: https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_full_report.pdf
- Ministerio del Ambiente y Energía (2016). Dirección de Cambio Climático. Hacia la Carbono Neutralidad 2021. Recuperado de <http://cambioclimaticocr.com>.
- Kioto (1997) Protocolo de kyoto de la convención Marco de las naciones unidas sobre el Cambio climático. Recuperado de: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>
- Ortúzar, P, Toledo, C y Yurisch T, 2010. Universidad Tecnológica Metropolitana de Chile. Estudiantes miden emisión de huella de carbono en la UTEM. Recuperado de: <https://aldia.utem.cl/estudiantes-miden-emision-de-huella-de-carbono-en-la-utem/>
- R Development Core Team (2008). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.
- Ruíz. C. (2013). La Nación. UCR y TC, aspiran a ser carbono neutral. Recuperado de: http://www.nacion.com/vivir/ambiente/UCR-apuesta-carbono-neutral_0_1375262666.html
- Universidad Politécnica de Chile (2013). Reporte de Huella de carbono 2013. Oficina de sustentabilidad. Recuperado de: <https://docplayer.es/15262595-Reporte-huella-de-carbono-2013.html>
- Universidad Politécnica de Cartagena (2014). Huella de carbono de la Universidad Politécnica de Cartagena. Vicerrectoría de investigación. Colombia. Recuperado de: http://www.upct.es/gestionserv/inter/web_servinfraestructuras fich/doc_seccion_es/268huella-de-carbono-up

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

El promedio anual de emisiones del 2012 al 2015 de la UTN-SA es de 959 tCO₂e, con una máxima de 1164 tCO₂e en el 2015 y con tendencia a incrementar.

El 92% de las emisiones de tCO₂e en la UTN-SA se concentran en tres fuentes emisoras, los semovientes (57%), residuos ordinarios (19%) y los combustibles (16%).

Las fuentes de emisión que incrementan al aumentar el número de estudiantes según su orden de importancia son: combustibles, GLP, fertilizantes nitrogenados, aguas residuales, semoviente y residuos ordinarios.

La fuente de emisión que disminuye al aumentar el número de estudiantes es la electricidad por disminución en el factor térmico

La cantidad de tCO₂e por estudiante disminuye al aumentar la población estudiantil, pero con tendencia a estabilizarse los dos últimos años del estudio en 1,48 tCO₂e

El promedio de emisiones en tCO₂e de los cuatro años del estudio por estudiante en la UTN-SA es de 1,58 tCO₂e, siendo inferior al 2,41 tCO₂e promedio per cápita nacional.

Recomendaciones

1. Determinar la capacidad de fijación de tCO₂e de la UTN-SA para realizar el balance de GEI
2. Establecer un programa de mitigación de los GEI en la UTN-SA:

Semovientes y uso de fertilizantes nitrogenados:

Seleccionar los animales más productivos (Genética)

Mejorar los potreros (pasturas mejoradas) y su manejo.

Utilizar sistemas de siembra cero labranza

Utilizar fertilizantes orgánicos producidos por la UTN-SA

Fomentar el uso de especies forrajeras arbóreas.

Renovar e incrementar las áreas de plantaciones forestales y bosque, para aumentar la capacidad de fijación de CO₂.

Conformar brigada forestal para prevenir y controlar incendios.

Manejo de residuos ordinarios y aguas residuales:

Mejorar el programa para el manejo integral de los residuos sólidos

Analizar la factibilidad de construir una planta de tratamiento

Combustibles y gas GLP:

Capacitar al personal en el manejo eficiente vehicular

Planificar y unificar giras que permitan reducir el consumo de combustible.

Sistematizar la renovación de las unidades automotoras y otros equipos, por unidades más eficientes.

Fomentar el uso de equipos de transporte no contaminantes como por ejemplo bicicletas o vehículos eléctricos

Energía eléctrica:

Establecer un programa de reducción y uso eficiente de la energía eléctrica.

Implementar proyectos de energías eficientes o alternativas, tales como paneles solares.

Extintores:

Capacitar a funcionarios y estudiantes en el uso responsable de extintores

ANEXOS

ANEXO 1. CARTA DE RECEPCIÓN DE LA REVISTA CIENTÍFICA



29 de octubre del 2018

Señor
Rodney Orlando Cordero Salas
rcordero@utn.ac.cr

Estimado señor:

Le agradecemos su interés por publicar su artículo **Inventario de gases con efecto invernadero de la Universidad Técnica Nacional sede Atenas período 2012-2015 y su relación con el número de estudiantes** en nuestra Revista Repertorio Científico. Asimismo, aprovechamos para comunicarle que el mismo ha sido aceptado y estará siendo enviado a valoración de pares en los próximos días. De tal manera que si todo sale bien estaría siendo publicado en el II Volumen del 2018.

Atentamente,


Rosita Ulate Sánchez
Coordinadora

Memorando

Para: Señores Maestría en Manejo de Recursos Naturales

Fecha: jueves 14 de febrero de 2019

Estimados señores Maestría en Manejo de Recursos Naturales:

Por este medio hago constar y doy fe de:

- El director de tesis y los lectores de la tesis me ayudaron y cumplieron sus funciones como miembros de mi comité de tesis.
- En caso de que se cambiara la conformación de mi comité de tesis, les expliqué la situación tanto a los miembros del comité como a la **Coordinación del Programa**, presentando a la coordinación del programa los documentos correspondientes para la evaluación y aprobación de la nueva conformación de comité de tesis.
- Le informé a los miembros de mi comité sobre los documentos y trámites que debían realizar para que la UNED les pagara por el servicio prestado. Aquellos miembros de comité que no presentaron la documentación correspondiente, fue porque, por decisión propia, me comunicaron que no deseaban recibir el pago correspondiente.

El nombre de las personas que conforman mi comité de tesis son: Silvia Soto Córdoba, Rolando Marín León y Johnny Montenegro Ballesteros.

Estos son los nombres de las personas que en algún momento estuvieron en mi comité de tesis pero que fueron sustituidas: nadie.

Doy fe de la veracidad de este documento.

Rodney O. Cordero Salas
Nombre del estudiante


Firma del estudiante

1-0663-0929
Cédula

Cc: Archiv