

# La huella de carbono del Instituto Tecnológico de Costa Rica

Maureen Arguedas-Marín<sup>1</sup>

## Resumen

Este estudio estima las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR) según los lineamientos del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). Se obtuvo que el ITCR durante el período 2007 - 2009 emitió en promedio 2 541 t/año de CO<sub>2</sub> equivalente, y que las emisiones podrían llegar a 3 741 t/año CO<sub>2</sub> para el período 2011 - 2021. Del promedio de emisiones del período 2007 - 2009, un 85% corresponde a la sede de Santa Clara y un 15% a las Sede Cartago y Centro Académico San José. Las fuentes de emisión evaluadas para toda la institución fueron: fermentación entérica del ganado (40%), gestión del estiércol (36%), flota vehicular (11%), viajes aéreos (4%), planta de matanza (4%), factor térmico de la electricidad (4%), combustible institucional (1%) y gas LP institucional (0,1%). Determinó que el área necesaria a reforestar para mitigar dichas emisiones para el período 2011 - 2021 es, a manera de ilustración, de 170 ha, con la especie *Gmelina arborea*. Para mitigar las emisiones de la sede Central y Centro Académico de San José se requiere de reforestar 32 ha, mientras que para la Sede de Santa Clara se requiere de 138 ha, esto por cuanto la gestión entérica del ganado genera excesivos volúmenes del GEI metano y óxido nitroso. De adoptar este proyecto el ITCR se estaría posicionando como una institución de educación superior Carbono Neutral durante un período de 10 años. Se señala que es importante complementar la mitigación con reforestación y políticas ambientales dirigidas a disminuir las emisiones de cada fuente de emisión.

**Palabras clave:** gases de efecto invernadero, cambio climático, carbono neutral, huella de carbono, Costa Rica.

## Abstract

This study estimates the emissions of greenhouse gases (GHG) of the Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR) according to the guidelines of the Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC). It was found that the ITCR emitted during the period 2007 - 2009 on average 2 541 t / year of equivalent CO<sub>2</sub>, and that these emissions would reach 3 741 t / year equivalent CO<sub>2</sub> during the period 2011 - 2021. From the average emissions 2007 - 2009, 85% corresponds to the campus of Santa Clara and 15% to the Cartago Headquarters Campus plus the San Jose Academic Center. Emission sources evaluated for the entire institution were: livestock enteric fermentation (40%), manure management (36%), vehicle fleet (11%), air travel (4%), slaughter plant (4%), thermal factor on electricity (4%), institutional fuel (1%) and institutional LP Gas (0,1%). It was determined that the area needed to be reforested to mitigate the CO<sub>2</sub> emissions for the period 2011 - 2021 is, by way of illustration, of 170 ha, with the species *Gmelina arborea*. To mitigate emissions from Cartago campus and San Jose Academic Center it is required to plant 32 ha, while for the Santa Clara campus it is required 138 ha; this is because the management of livestock generates excessive volumes of methane and GHG nitrous oxide. If this project is executed, ITCR would be positioned itself as an institution of higher education Carbon Neutral for a period of 10 years. It is important to complement this mitigation reforestation plan with environmental policies aimed at reducing emissions from each CO<sub>2</sub> emission source.

**Key words:** greenhouse gases, climate change, carbon neutral, carbon footprint, Costa Rica.

1. Egresada de la Escuela de Ingeniería Forestal Instituto Tecnológico de Costa Rica. [maureenarg@gmail.com](mailto:maureenarg@gmail.com)

## Introducción

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), de origen antropogénicas, han aumentado desde la era preindustrial en un 70%, causando alteraciones en el clima del planeta como el calentamiento. La concentración mundial de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) se debe en mayor medida, al uso del combustible fósil y, en menor medida, al cambio de uso del suelo, dado que la agricultura influye con el aumento de las concentraciones de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) y de metano ( $\text{CH}_4$ ) (IPCC 2007). En Costa Rica las principales fuentes de GEI son los sectores de energía, transporte y agricultura, lo cual se debe principalmente al uso de combustibles fósiles, la ganadería y el uso intensivo de agroquímicos en las actividades agrícolas. Al contrario, el cambio de uso del suelo hacia la restauración de bosques o reforestación, por medio de políticas de conservación de bosque, parques nacionales y pago por servicios ambientales (PSA), genera una mitigación de GEI al secuestrar  $\text{CO}_2$  de la atmósfera y fijarlo en la biomasa (Pratt 2010).

Según proyecciones realizadas por el Instituto Meteorológico Nacional, se espera que durante el período 2010 - 2100 la temperatura media anual para Costa Rica aumente, en el escenario más crítico, hasta en 2,5 °C en la costa del Caribe y 4,5 °C en Guanacaste. Dicha situación podría ocasionar consecuencias irreversibles que ponen en riesgo los recursos naturales, la economía y a la población en general. Actualmente, existe evidencia de los efectos del cambio climático, como es la disminución de las poblaciones de anfibios terrestres en la Reserva Biológica La Selva; el agua disponible para consumo humano y producción de energía se podría ver afectado por un déficit hídrico estacional y alteraciones en los patrones de lluvias derivados del fenómeno del Niño; las alteraciones climáticas favorecerán las condiciones reproductivas de insectos vectores de enfermedades como el dengue y la malaria afectando la salud de la población (Bonilla y Brenes 2008). Debido a la creciente preocupación nacional e internacional en cuanto a temas ambientales, el gobierno de Costa Rica ha fomentado, por medio de la Estrategia Nacional de Cambio Climático, la propuesta de ser un país Carbono Neutral, es decir que logre un balance neto cero en emisiones para el año 2021 (Paz con la Naturaleza 2008).

Paralelo a esta propuesta el Programa de Manejo Integrado de Recursos Naturales de la Escuela de Ingeniería Forestal ha estado promoviendo esta iniciativa dentro del Instituto Tecnológico de Costa Rica, a fin de que se convierta en una universidad carbono neutral. Para esto se propuso realizar un estudio que identifique las fuentes de emisión de GEI generados por las labores académicas y administrativas del ITCR. Estas fuentes se clasifican como: fermentación entérica del ganado, gestión del estiércol, combustible usado en la planta de matanza, flotilla vehicular y labores institucionales, consumo de Gas LP usado en comedor y laboratorios institucionales, consumo de energía eléctrica

y viajes aéreos de funcionarios. Con base en las fuentes se estimó la cantidad de GEI emitidos a la atmósfera por la institución y la cantidad de hectáreas a reforestar para lograr la mitigación de estas emisiones para el año 2021.

El objetivo de este artículo es presentar las estimaciones del inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI) del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR) en sus tres sedes (Santa Clara, Cartago y San José), correspondiente al período 2007 - 2009. Con esta información y la tendencia marcada se proyectan las emisiones para el período 2011 - 2021 para luego estimar preliminarmente el área requerida a ser reforestada para compensar estas emisiones por fijación de carbono equivalente.

## Materiales y Métodos

### Caracterización del sitio

El estudio se llevó a cabo en las instalaciones del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), en sus tres sedes. La Sede Central (Cartago) cuenta con un área de terreno de 88,71 ha, la Sede Regional (Santa Clara) con 85,23 ha, además de las fincas La Vega y La Balsa que poseen una extensión de 328 y 150 ha respectivamente (Solís 2010a) y finalmente el Centro Académico (San José) con 2 648 m<sup>2</sup> (Fernández 2010).



Figura 1. Mapa de ubicación de las sedes del ITCR. Fuente: Google Earth

### Estimación de gases de efecto invernadero

Las formulas aplicadas, así como los factores de emisión seleccionados, fueron tomados de los lineamientos del IPCC (2006), según cada categoría de emisión. Los gases cuantificados fueron: metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). A continuación se presenta la metodología empleada según la fuente de emisión.

### Emisiones de metano ( $\text{CH}_4$ ) del ganado a partir de la fermentación entérica

Con la ayuda de los técnicos del hato ganadero de la sede Santa Clara, la lechería y la porqueriza del ITCR, se obtuvo información sobre los inventarios de animales

y de la producción de leche entre los años 2007 y 2009 (Solís 2010 b, Solano 2010). Posteriormente; se eligió un factor de emisión para cada categoría animal siguiendo las normas del IPCC (2006); que considera aspectos como la especie, la etapa de desarrollo y la producción de leche. Mediante la siguiente fórmula se estimaron las emisiones de CH<sub>4</sub>:

$$Emisiones = EF(t) * N(T) \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

**Emisiones**= emisiones de metano por fermentación entérica, kg CH<sub>4</sub> año<sup>-1</sup>

**EF (T)**= Factor de emisión para la población de ganado definida, kg CH<sub>4</sub> cabeza<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

**N (T)**= la cantidad de cabezas de ganado de la especie T bajo estudio.

**T**= especie/categoría de ganado

Finalmente se realizó una sumatoria de las diferentes categorías de ganado, para obtener el total de metano.

### Emisiones de dióxido de carbono (CH<sub>4</sub>) producidas por la gestión del estiércol

A la categorización de animales realizada anteriormente se le asignaron factores de emisión, los cuales se seleccionan con base a la temperatura de la región. La temperatura promedio de la sede es de 25,6 °C, según datos de la Estación Meteorológica # 59069 del Instituto Meteorológico Nacional situada en Santa Clara (Alvarado 2010). Finalmente, se utilizó la Ecuación 1.

Se aplicó un factor de corrección a los factores de emisión, correspondiente al tiempo que los animales pasan en condiciones de confinamiento (16,67%) y de pastoreo (83,33%), ya que en estos, la gestión del estiércol difiere; el estiércol de las pasturas queda en el campo sin que reciba algún tratamiento, mientras que el de los porcinos y las vacas en producción una parte es recogida para producir compost (Figura 2).



Figura 2. Estiércol recogido del establo y proceso de producción de compost, Santa Clara, Alajuela, Costa Rica, 2010.

**Emisiones de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) por la gestión del estiércol:** Como se mencionó anteriormente, el estiércol del ganado en pasturas y el de la lechería recibe tratamiento diferente, por lo tanto se empleó una metodología diferenciada a cada uno.

**Emisiones directas de N<sub>2</sub>O en pasturas por animales en pastoreo.** Se utilizó la siguiente fórmula:

$$N_2O = \left[ N_T * \left( N \text{ indice}_T * \frac{TAM}{1000} * 365 \right) * MS_{T,PRP} * EF_{3,PRP,PPP} \right] * \frac{44}{28} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

**N<sub>2</sub>O:** Emisiones directas anuales de N<sub>2</sub>O-N de aportes de orina y estiércol a tierras de pastoreo, kg N<sub>2</sub>O - N año<sup>-1</sup>.

**EF<sub>3,PRP,PPP</sub>:** Factor de emisión para emisiones de N<sub>2</sub>O del N de la orina y el estiércol depositado en pasturas, por animales vacunos en pastoreo, kg N<sub>2</sub>O - N(kg de aporte de N). Se usó 0,02.

**N<sub>T</sub>:** Cantidad de cabezas de ganado de la especie/ categoría T.

**MS<sub>T,PRP</sub>:** Fracción del total de la excreción anual de N de cada especie/ categoría T que se deposita en pasturas. Sin dimensión.

**N índice<sub>T</sub>:** Tasa de excreción de N por defecto, kg N (1000 kg de masa animal)<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>

**TAM:** Masa animal típica para la categoría de ganado T, kg animal<sup>-1</sup>

Se aplicó el factor de corrección 83,33% al total de N<sub>2</sub>O calculado, lo cual corresponde al tiempo que pasan en pasturas. Además para los caballos no se estimó las emisiones directas de N<sub>2</sub>O, ya que no se conoce su valor de MS (%).

### Emisiones directas por animales confinados.

Se utilizó la siguiente fórmula:

$$N_2O \text{ D(mm)} = \left[ \sum S \left[ \sum T \left( N_T * \left[ N \text{ indice}_T * \frac{TAM}{1000} * 365 \right] * MS_{TS} \right) \right] * EF_{3(S)} \right] * \frac{44}{28} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

**N<sub>2</sub>O D (mm):** Emisiones directas de N<sub>2</sub>O de la gestión del estiércol del país, kg N<sub>2</sub>O año<sup>-1</sup>.

**N<sub>T</sub>:** Cantidad de cabezas de ganado de la especie/ categoría T.

**N índice<sub>T</sub>:** Tasa de excreción de N por defecto, kg (1000 kg masa animal)<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>

**TAM:** Masa animal típica para la categoría de ganado T, kg animal<sup>-1</sup>

**MS<sub>T,S</sub>:** Fracción del total de la excreción anual de N de cada especie/ categoría T para el sistema de gestión de estiércol S. Sin dimensión.

**T:** Especie/ categoría de ganado.

**S:** sistema de gestión del estiércol, en este caso es fabricación de abono orgánico (compost).

**44/28:** Conversión de emisiones de N<sub>2</sub>O-N (mm) a emisiones de N<sub>2</sub>O (mm)

**EF<sub>3(S)</sub>:** Factor de emisión para emisiones directas de N<sub>2</sub>O del sistema de gestión del estiércol S en el país, kg N<sub>2</sub>O - N/kg N en el sistema de gestión del estiércol S.

Se aplicó una proporción de 16,67% que corresponde al tiempo que pasan las vacas productoras de leche en confinamiento o en el establo.

**Emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O por la gestión del estiércol.**  
Se utilizó la siguiente fórmula:

$$N_2O(mm) = \sum S \left[ \sum T \left[ N_T * \left[ N \text{ indice}_T * \frac{TAM}{1000} * 365 \right] * MS_{T,S} * \left( \frac{FracGasMs}{100} \right) \right] * EF_4 * \frac{44}{28} \right]$$

(Ecuación 4)

Donde:

**N<sub>2</sub>O (mm):** Emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O debidas a la volatilización de N de la gestión del estiércol del país, kg N<sub>2</sub>O año<sup>-1</sup>

**N<sub>T</sub>:** Cantidad de cabezas de ganado de la especie/categoría T de la sede.

**MS<sub>T,S</sub>:** fracción de la excreción total anual de nitrógeno de cada especie/categoría T que se gestiona en el sistema de gestión del estiércol S en la sede, sin dimensión.

**FracGasMs:** porcentaje de nitrógeno del estiércol gestionado para la categoría del ganado T que se volatiliza como NH<sub>3</sub> y NO<sub>x</sub> en el sistema de gestión del estiércol S, %.

**N índice<sub>T</sub>:** Tasa de excreción de N por defecto, kg (1000 kg masa animal)<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>

**TAM:** Masa animal típica para la categoría de ganado T, kg animal<sup>-1</sup>

**EF<sub>4</sub>:** factor de emisión para emisiones de N<sub>2</sub>O resultantes de la deposición atmosférica de nitrógeno en la superficie del suelo o del agua, kg N<sub>2</sub>O - N (kg NH<sub>3</sub> - N + NO<sub>x</sub> - N)<sup>-1</sup>.

Una vez que se calculó el total de N<sub>2</sub>O se le aplicó la proporción 16,67%, lo cual corresponde al tiempo que permanecen confinadas las vacas lecheras.

**Emisiones procedentes de la combustión móvil**

**Flotilla vehicular:** Por medio de la poliza, se recopilaron los datos registrados por el Departamento de Archivo de la sede Central, para el período 2007 - 2009, donde se contabiliza el monto (en colones) de combustible consumido por los vehículos institucionales, la placa del vehículo y la fecha. Con dicha información y el listado de precios de RECOPE se calculó la cantidad de litros de gasolina y diesel. En algunos pocos casos no se reportaba la placa del vehículo, así que se asumió que eran vehículos diesel, debido a que la mayoría de los vehículos del ITCR utilizan dicho combustible. Algunos de los datos de la sede de San Clara fueron brindados por la encargada de la Oficina de Transportes, según el registro llevado por dicha oficina. En los meses que no existían datos registrados, se recurrió a estimar estos faltantes por medio de la línea de mejor ajuste, con los datos existentes. Las sedes Cartago y San José se trabajaron conjuntamente en este estudio.

**Viajes aéreos:** La oficina de Proveeduría del ITCR brindó información acerca de las órdenes de compra de pasajes aéreos, con sus respectivos destinos y escalas. Dichos viajes fueron realizados por el personal institucional de la sede de Cartago durante los años 2007 - 2009. Se utilizó la calculadora de carbono, generada por la ICAO (Organización Internacional de Aviación Civil) y ofrecida al público a partir del año 2008 (ICAO 2010).

**Emisiones procedentes de la combustión estacionaria**

**Gas LP institucional:** Por entrevista personal al encargado del comedor institucional de la sede de Cartago (Rojas 2010) se obtuvieron datos de consumo de gas. El gas consumido por los laboratorios, así como el diesel y gasolina utilizada por las diferentes escuelas en labores institucionales en esta sede durante el período 2007 - 2009, se obtuvo por medio de la oficina de Proveeduría. De la sede Santa Clara, no se pudo obtener registros y el Centro académico San José solo utiliza electricidad, por lo que no fueron tomados en cuenta.

**Planta de matanza:** El encargado de la planta de matanza de la sede de Santa Clara, proporcionó información acerca de la cantidad de combustible tipo búnker consumido por la planta de matanza de ganado, durante el período 2007 - 2009 (Galindo 2010).

**Electricidad:** Se obtuvieron registros del consumo de electricidad (KWh) de las tres sedes, los cuales fueron proporcionados por COOPELESCA R.L, el Departamento de Financiero Contable y el Sistema de Gestión Ambiental del ITCR (Salazar 2010), ambos de la sede Cartago, durante el período 2007 - 2009. Los datos del año 2007 de la sede de Cartago - San José fueron proporcionados a partir de un estudio similar, realizado previamente (Solórzano 2010).

A los datos obtenidos anteriormente, se les aplicó un factor de corrección, esto debido a que en Costa Rica, parte de la electricidad proviene de fuentes limpias como el viento y la hidroelectricidad, pero una parte se genera en plantas térmicas que consumen combustibles. El cuadro 1 presenta el porcentaje de energía térmica producida por el ICE a nivel nacional para esos años.

**Cuadro 1.** Energía térmica producida (%) por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) durante el período 2007 - 2009.  
Fuente: Zúñiga (2010).

Año	Energía térmica (%)
2007	10,22
2008	9,39
2009	6,58

Para el cálculo de las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la combustión móvil y estacionaria se utilizó la siguiente fórmula, según los lineamientos del IPCC, 2006.

$$Emisión = \sum_a (Combustible_a * EF_a)$$

(Ecuación 5)

Donde:

**Emisión=** Emisión de CO<sub>2</sub> (t)

**Combustible<sub>a</sub>**= combustible (l)

**EF<sub>a</sub>**= Factor de emisión (t/l).

**a=** tipo de combustible (Diesel, Gasolina, GLP y Búnker).

Para el cálculo de la emisión de metano y óxido nitroso se utilizó la misma fórmula, pero variando el factor de emisión según fuese el caso. Posteriormente se multiplicó la emisión de CH<sub>4</sub> por 21 y N<sub>2</sub>O por 310 y ambos se suman para obtener CO<sub>2</sub> equivalente (Ruiz y Musmanni 2007).

**Medida de mitigación:** La principal medida de mitigación propuesta es el establecimiento de plantaciones forestales maderables, para ello se cuantificó la cantidad de carbono fijado según la especie y con esto se determinó la cantidad de hectáreas necesarias para mitigar las emisiones emitidas en un plazo de 10 años. Para la realización de dicho cálculo se tomó en cuenta las recomendaciones del "Good Practice Guidance for Land Use, Land - use change and Forestry (IPCC 2003).

La fórmula aplicada fue la siguiente:

$$R \text{ CO}_2 = \left[ (IMA \text{ vol} * \text{Densidad} * BEF) * \left( 1 + \frac{R}{S} \right) * CF * \frac{44}{12} \right]$$

(Ecuación 6)

Donde:

R CO<sub>2</sub> = Remociones de CO<sub>2</sub> (t).

IMA = incremento medio anual (m<sup>3</sup>/ha/año)

Densidad = Densidad de la madera (t/m<sup>3</sup>)

BEF = Factor de expansión de biomasa. Sin dimensión. 1,5 (IPCC 2003)

R/S = Relación raíz / parte aérea. Sin dimensión. 0,24 (IPCC 2003).

CF = Fracción de carbono. Valor por defecto 0,45 (IPCC/OECD, 1995 citado por Cubero 1999)

44/12 = factor de conversión de C a CO<sub>2</sub>.

Una vez conocidas las remociones de carbono de cada especie, se procede a determinar el área a reforestar, por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{Área a reforestar (ha)} = \frac{\text{Emisiones anuales de CO}_2 \text{ (t)}}{\text{Remociones de CO}_2 \text{ (t)}}$$

(Ecuación 7)

## Resultados y discusión

**Estimación de GEI, período 2007 - 2009:** Los datos obtenidos a nivel institucional, para el período 2007 - 2009, se muestran en el cuadro 2.

Como se puede observar la fermentación entérica y la gestión del estiércol son las fuentes de mayor emisión a nivel institucional, totalizando entre las dos más del 76% de todas las emisiones.

**Cuadro 2.** Promedio y porcentaje de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente (t) emitidas por el ITCR durante el período 2007 - 2009.

Fuente de emisión	Promedio CO <sub>2</sub> equivalente	(%)
Fermentación entérica	1016,33	40,01
Gestión del estiércol	915,33	36,03
Flotilla vehicular	280,00	11,02
Viajes aéreos	101,33	3,99
Gas LP institucional	1,33	0,05
Planta de matanza	99,33	3,91
Gasolina/Diesel institucional	27,00	1,06
Electricidad	99,67	3,92
<b>Total</b>	<b>2540,33</b>	<b>100</b>

### Fermentación entérica y gestión del estiércol:

La cantidad de animales en la sede ha ido en aumento, por lo que de igual manera las emisiones han aumentado notablemente. Las emisiones varían según la categoría animal, por ejemplo los cerdos a pesar de estar siempre confinados, emiten menos CH<sub>4</sub> por poseer un sistema digestivo monogástrico, lo cual difiere de las vacas. Las vacas en producción fueron las que más emitieron GEI. Es importante resaltar que las emisiones por fermentación entérica de los animales varía según las características del alimento, el nivel de consumo del animal y la digestibilidad (Montenegro y Abarca 2001), lo que se podría tomar en cuenta en el manejo del ganado en la sede.

Con respecto a la gestión del estiércol las mayores emisiones de CH<sub>4</sub> se presentan en un ambiente anaeróbico. Dichas condiciones se dan con mayor facilidad cuando los animales se encuentran confinados y además el estiércol es eliminado por lavado con agua (IPCC 2006). Esto concuerda con lo obtenido en donde los cerdos y vacas en producción fueron los que más CH<sub>4</sub> emitieron en comparación con los animales en pastoreo. Con respecto a las emisiones de N<sub>2</sub>O los animales en pastoreo de la Finca La Vega y La Balsa fueron los mayores emisores.

**La flotilla vehicular:** El aumento de las emisiones de la flotilla vehicular del ITCR se encuentra asociado con el aumento de la cantidad de vehículos y el consumo de combustible tipo diesel, ya que este posee mayor factor de emisión de GEI que la gasolina. En los años 2008 - 2009 han ingresado nuevos vehículos en ambas sedes. Según el encargado de la Unidad de Transportes en Cartago (Quesada 2010), en el 2008 ingresaron 5 vehículos los cuales utilizan combustible tipo diesel, mientras que en el 2009 ingresaron 4 con el mismo tipo de combustible. En la sede de Santa Clara, según información suministrada por la encargada de la Unidad de Transporte (Bustos 2010), en el 2008 ingresaron 2 vehículos diesel y en el 2009 ingresaron 6, de los cuales la mayoría utilizan como tipo de combustible gasolina. Sin embargo, del total de vehículos de la sede el combustible tipo diesel es el que se utiliza en mayor proporción.

**Viajes aéreos:** La cantidad de viajes ha sido variable durante el tiempo de estudio, del mismo modo las emisiones. La mayoría de destinos registrados pertenecen al continente americano. Con respecto a la mayor cantidad de viajes realizados corresponden a España y México, siendo el viaje a España el que mayor emisión representa debido a la distancia y las escalas.

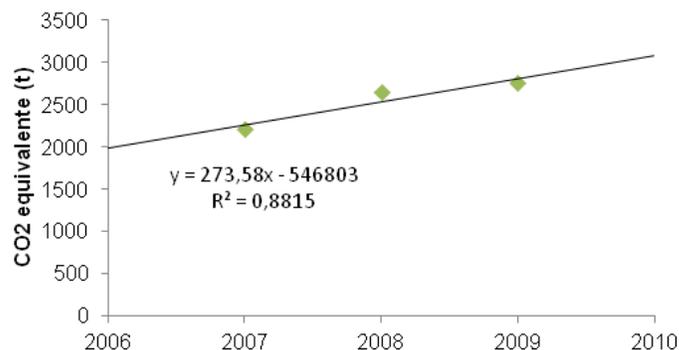
**Combustible institucional:** Los combustibles son utilizados en distintas labores y por distintas escuelas. Por lo que no se puede asegurar que todos los años el consumo sea el mismo. Por ejemplo se utiliza gasolina para mantenimiento de áreas verdes, control de malezas, diesel para planta eléctrica y Gas LP en laboratorios. Por lo tanto es difícil establecer una tendencia clara en esta fuente.

**Planta de matanza:** El consumo de combustible tipo búnker disminuyó a partir del año 2008 debido a que se empezó a utilizar un biodigestor empleando desechos orgánicos de la planta de matanza para generar energía que es utilizada en la misma planta. La utilización del biodigestor representa un importante aporte ambiental y económico ya que significa un ahorro de 7 570,83 litros de combustible tipo búnker. Según los encargados de la planta, se pretende que dicho ahorro permanezca, ya que se espera mejorar la calidad de los materiales de los biodigestores y así evitar interrupciones en el proceso de obtención de energía.

**Electricidad:** La sede de Cartago posee el mayor consumo de electricidad por el tamaño de su infraestructura que ha ido en aumento durante los últimos años. A pesar de dicho aumento, el consumo de electricidad (KWh) disminuyó a partir del año 2008, según el Sistema de Gestión Ambiental del ITCR, debido a la implementación de un programa de ahorro energético (Salazar y Quesada 2010) y al cierre temporal de un aserradero en el Centro de Investigación en Integración Bosque Industria.

En la sede de Santa Clara, el consumo de electricidad aumentó año a año, sin embargo las emisiones no presentaron el mismo comportamiento, debido a que el porcentaje de energía térmica a nivel nacional ha tendido a disminuir. La sede de San José presentó un comportamiento variable.

**Proyección de las emisiones de GEI, período 2011 - 2021:** Empleando la suma total de las emisiones calculadas en el período 2007 - 2009 se obtuvo la tendencia de las emisiones para el período 2011 - 2021, como se muestra en la Figura 3.



**Figura 3.** Total de CO<sub>2</sub> equivalente (t) emitido por el Instituto Tecnológico de Costa Rica, durante el período 2007 - 2009.

Según la Figura 3 se observa una tendencia lineal al aumento en 273 ton/año. Por medio de la siguiente fórmula se puede predecir ( $R^2 = 0,8815$ ), las emisiones generadas por la institución en años posteriores.

$$Y = 273.58x - 546803$$

(Ecuación 8)

Donde:

Y= emisiones de CO<sub>2</sub> (t) en el año X.

X= año.

Así las emisiones calculadas a nivel institucional son las siguientes:

**Cuadro 3.** Emisiones totales a nivel institucional, de CO<sub>2</sub> (t), calculadas para el período 2011 - 2021.

Año	CO <sub>2</sub> (t)
2011	3 366
2012	3 640
2013	3 914
2014	4 187
2015	4 461
2016	4 734
2017	5 008
2018	5 281
2019	5 555
2020	5 829
2021	6 102
<b>Total</b>	<b>52 077</b>

Del cuadro 3 se observa que el ITCR en 10 años pasa de emitir 2756 ton en el 2009 a 6102 ton en el 2021, más que duplicando su nivel de emisiones en el 2009. No obstante esta tendencia no está considerando la apertura de nuevas carreras y aumento de población estudiantil. Tampoco se puede asumir la misma tendencia en viajes, flotilla e infraestructura, los cuales pueden disminuir o aumentar según el estado de financiamiento de las universidades; misma incertidumbre con respecto al factor térmico de la generación eléctrica del país, el

cual está en función de la economía del país, el precio del petróleo y la capacidad nacional de producir electricidad con nuevas fuentes limpias.

No obstante es una aproximación aceptable como un primer paso para impulsar un programa de carbono neutro a nivel institucional.

**Mitigación con reforestación:** Como se indicó anteriormente, se propone mitigar GEI mediante la siembra de especies forestales maderables, pues además de crecer rápido y fijar carbono eficientemente, permiten obtener un producto al final del turno o de su vida útil, además se pueden volver a sembrar. A continuación se detalla la cantidad de CO<sub>2</sub> que pueden fijar ciertas especies forestales.

**Cuadro 4.** Estimación de CO<sub>2</sub> almacenado/ha según especie a plantar.

Especie	t CO <sub>2</sub> fijado/ha
<i>Gmelina arborea</i> (Roxb)	31
<i>Vochysia guatemalensis</i> (Donn. Sm)	23
<i>Hyeronima alchorneoides</i> (Allemao)	10
<i>Vochysia ferruginea</i> (Donn. Smith)	12

Con base en la capacidad de cada especie de fijar carbono se obtuvo el área necesaria a reforestar, a una densidad de 3 x 3 m, para mitigar las emisiones institucionales del ITCR. Se recomienda realizar la siembra de toda el área en un mismo año, en suelos de textura francos ó franco arcillosos, con buena fertilidad y preferiblemente sin pedregosidad, para el caso de *G. arborea* (Rojas *et al.* 2004); y de suelos de pH ácidos, arcillosos con fertilidad de media a baja, en el caso de *V. guatemalensis*, *V. ferruginea* y *H. alchorneoides* (Solís y Moya a y b, sf).

**Cuadro 5.** Área a reforestar (ha), según especie, para mitigar las emisiones del Instituto Tecnológico de Costa Rica durante el período 2011 - 2021.

Especie	Área (ha)
<i>G. arborea</i> (exótica)	170
<i>V. guatemalensis</i> (nativa)	222
<i>H. alchorneoides</i> (nativa)	504
<i>V. ferruginea</i> (nativa)	442

Con la especie *G. arborea* se necesitarían reforestar en total 170 ha en el año 1, de esta manera se estaría asegurando que para el año 2021 se habrían mitigado 52 077 t CO<sub>2</sub>. En el caso de esta especie, al final del turno se logra un valor económico comercial muy significativo que no solamente cancela la inversión, sino además generaría dividendos a la institución si se realiza en sus propias tierras. Por otro lado, se puede pensar en el uso de especies nativas que, a pesar de ocupar mayor cantidad de terreno, el producto final tendrá un valor ecológico agregado, ya que brindan importantes servicios ambientales como lo son la recuperación de la biodiversidad, alimento para especies de aves y por supuesto la fijación de carbono. De no realizarse en sus propias tierras, se deberá hacer arreglos con otras instituciones o con agricultores dispuestos a participar en este proyecto.

Es importante que cada sede y en particular cada actividad analice sus fuentes de emisión y con ello decida que prácticas impulsar para reducir las emisiones generadas, de manera que lo mitigado por medio de reforestación sea lo que de ninguna manera se puede evitar por las labores institucionales.

Se hace notar como un aspecto positivo sobresaliente el uso del biodigestor en Santa Clara, ya que por medio de esta implementación se evitó emitir 23 t CO<sub>2</sub> equivalente a la atmósfera por año. Además como proyecto a corto plazo se espera instalar paneles solares, así aprovechar el amplio potencial de radiación solar que caracteriza a San Carlos, durante la mayor parte del año y de esta manera reducir el consumo de combustible fósil (Muñoz *et al.* sf).

## Conclusiones

El ITCR emitió en promedio 2540 t/año de CO<sub>2</sub> equivalente, durante el período 2007 - 2009. Las fuentes de emisión evaluadas para toda la institución fueron: fermentación entérica (40%), gestión del estiércol (36%), flotilla vehicular (11%), viajes aéreos (4%), planta de matanza (4%), electricidad (4%), gasolina/diesel institucional (1%) y gas LP institucional (0,1%).

La gestión del hato ganadero fue la actividad con más incidencia en el total de las emisiones GEI institucionales, principalmente por la fermentación entérica. Estas emisiones llegan a representar un 76% del total de las emisiones institucionales. En el caso de la sede Cartago - San José, la actividad con mayor incidencia en las emisiones GEI totales fue la flotilla vehicular, que representa 51% del total de las emisiones de dicha sede.

Para mitigar las emisiones de la sede Central y Centro Académico de San José se requiere reforestar 32 ha con la especie melina (variable con otras especies), mientras que para la Sede de Santa Clara se requieren 138 ha, esto por cuanto la gestión entérica del ganado genera excesivos volúmenes del GEI metano y óxido nitroso.

## Recomendaciones

Como política institucional para llegar a ser una Universidad Carbono Neutro, el ITCR debe tomar en cuenta en sus tres sedes, la implementación de un control más riguroso del tipo de combustible consumido por la flotilla vehicular (diesel/gasolina), del gas LP utilizado por las sodas, comedores y laboratorios y, por último de las escalas de los viajes aéreos que realizan los funcionarios en representación de la institución. Además apoyar iniciativas para mitigar las emisiones, como por ejemplo el uso de los biodigestores, fomentar el uso de energías limpias como paneles solares y viento, y promover planes de ahorro energético y la sustitución de equipo electrónico por equipo más eficiente a fin de reducir la dependencia de combustibles fósiles.

Es necesario mejorar la estimación de las emisiones del ITCR, tomando en cuenta las originadas por las actividades de la FUNDATEC que no se evaluaron en este estudio y las proyecciones de creación de futuras carreras, aumento de población estudiantil y otros factores.

## Agradecimientos

Se agradece al Dr. Julio C. Calvo - Alvarado, coordinador del Programa de Recursos Naturales de la Escuela de Ingeniería Forestal, por financiar y dirigir este estudio. A los doctores Floria Roa y Edgar Ortiz por los aportes realizados.

Un agradecimiento especial por la información brindada al Departamento Financiero Contable, a las Unidades de Transportes, Proveduría, Archivo y Presupuesto. A la Escuela de Agronomía, especialmente a Arnoldo Gadea, Mario Solano, Wilfrido Paniagua, Rodrigo Solís y Jaime Galindo. A Teresa Salazar de la Escuela de Química por su apoyo a este estudio.

## Referencias

- Alvarado, R. 2010. Temperatura promedio del Campus de la Sede Regional Santa Clara, (entrevista). Santa Clara, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Bonilla, A; Brenes, A. 2008. Decimoquinto informe estado de la nación en desarrollo humano sostenible (en línea). Consultado: 17 feb. 2010. Disponible: <http://www.estadonacion.or.cr/pdf/Gestion.pdf>
- Bustos, E. 2010. Flotilla vehicular de la Sede Santa Clara (entrevista). Santa Clara, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Cubero, J; Rojas, S. 1999. Fijación de carbono en plantaciones de melina (*Gmelina arborea* Roxb), teca (*Tectona grandis* Lf.) y pochote (*Bompaopsis quinata* Jacq) en los cantones de Hojancha y Nicoya. Guanacaste, Costa Rica (en línea) Consultado: 15 oct. 2009. Disponible: <http://cglobal.imn.ac.cr/Pdf/mitigacion/Estudio%20sobre%20Fijacion%20de%20Carbono%20en%20Plantaciones.pdf>
- Fernández, S. 2010. Infraestructura del Instituto Tecnológico de Costa Rica (entrevista). Cartago, CR. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Galindo, J. 2010. Información acerca de la planta de matanza de la sede Santa Clara (entrevista). San Carlos, Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático). 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land - Use Change and Forestry (en línea) Consultado: 5 de mayo de 2010. Disponible: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf/spanish/ch3.pdf>
- IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático). 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (en línea) Consultado: 16 ene. 2010. Disponible: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>
- IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático). 2007. Cambio climático 2007, Informe de síntesis (en línea). Consultado: 22 nov. 2009. Disponible: [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr\\_sp.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf)
- ICAO, 2010. Carbon emissions calculator (en línea). Consultado: 1 abril 2010. Disponible: <http://www2.icao.int/en/carbonoffset/Pages/default.aspx>
- Montenegro, J; Abarca, S. 2001. Importancia del sector agropecuario costarricense en la mitigación del calentamiento global (en línea). Consultado: 05 mayo 2010. Disponible: <http://cglobal.imn.ac.cr/Pdf/mitigacion/Estudio%20sobre%20Factores%20de%20Emision%20Agricola.pdf>
- Muñoz, G; Galindo, J; Paniagua, W. Retana, J; Pino, M. Sf. Avance del proyecto: "Eficiencia energética y energías renovables Bunca - ITCR. Santa Clara, CR, ITCR.
- Pratt, L; Alpizar, W. 2010. Opciones de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero en Costa Rica: Hacia la carbono Neutralidad en el 2021 (correo electrónico). San José, CR. INCAE Business School. (Jessica.Arrieta@incae.edu).
- Paz con la naturaleza. 2008. Plan de acción (en línea). Consultado: 11 mayo 2010, Disponible:<http://www.pazconlanaturaleza.org/admin/descargas/upload/Plan%20Accion%20IPN.pdf>
- Quesada, C. 2010. Flotilla vehicular de la Sede Cartago - San José (entrevista). Cartago, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Rojas, F; Arias, D; Moya, R; Meza, A; Murillo, O; Arguedas, M. 2004. Manual para productores de Gmelina arborea en Costa Rica (en línea). Consultado: 10 mayo 2010. Disponible: [http://www.fonafifo.com/text\\_files/proyectos/Manual%20Prod%20Melina.pdf](http://www.fonafifo.com/text_files/proyectos/Manual%20Prod%20Melina.pdf)
- Rojas, W. 2010. Gas LP consumido por el comedor institucional (entrevista). Cartago, Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Ruiz, S; Musmanni, S. 2007. Inventario e informe de gases con efecto invernadero (GEI) (en línea). Consultado: 19 mar. 2010. Disponible: <http://www.encc.go.cr/documentos/documentos/Inventario%20e%20Informa%20de%20GEI%20ENCC-Pro,%2025.octubre.doc>
- Salazar, T. 2010. Consumo de electricidad de la Sede Cartago (correo electrónico). Cartago, CR. Sistema de Gestión Ambiental del ITCR (SIGA). [tsalazar@itcr.ac.cr](mailto:tsalazar@itcr.ac.cr)
- Salazar, T; Quesada, H. 2010. Desempeño ambiental del TEC. InformaTEC. Cartago, CR. Abr. No. 303: 18.
- Solis, M; Moya, R. sf a. *Vochysia guatemalensis* en Costa Rica (en línea). Consultado: septiembre, 2011. Disponible: [http://www.fonafifo.com/text\\_files/proyectos/ManualVochysia.pdf](http://www.fonafifo.com/text_files/proyectos/ManualVochysia.pdf)
- Solis, M; Moya, R. sf b. *Hieronyma alchorneoides* en Costa Rica (en línea). Consultado: septiembre, 2011. Disponible: [http://www.fonafifo.com/text\\_files/proyectos/ManualHieronyma.pdf](http://www.fonafifo.com/text_files/proyectos/ManualHieronyma.pdf)
- Solis, R. 2010a. Extensión de terreno de la Finca La Vega y La Balsa (correo electrónico). San Carlos, Instituto Tecnológico de Costa Rica. [jrsolisrojas@gmail.com](mailto:jrsolisrojas@gmail.com)

- Solís, R. 2010b. Información del hato ganadero de la sede Santa Clara (correo electrónico). San Carlos, Instituto Tecnológico de Costa Rica. jrsolisrojas@gmail.com
- Solano, M. 2010. Información de la lechería y la porqueriza de la sede Santa Clara (correo electrónico). San Carlos, Instituto Tecnológico de Costa Rica. mariosolano63@gmail.com
- Solórzano, S. 2010. Datos de electricidad del año 2007 (correo electrónico). Cartago, CR. Instituto Tecnológico de Costa Rica. stephiesn87@gmail.com
- Zuñiga, A. 2010. Fuentes de producción de energía para el período 2007 - 2009 (correo electrónico). San José. CR. ICE. azuniga@ice.go.cr