



LA FORMACIÓN DE INGENIEROS:  
UN COMPROMISO PARA EL  
DESARROLLO Y LA SOSTENIBILIDAD

15 al 18  
DE SEPTIEMBRE

20  
20

[www.acofi.edu.co/eiei2020](http://www.acofi.edu.co/eiei2020)

# MEDICIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO UTILIZANDO UNA APLICACIÓN MÓVIL INTEGRADA CON TECNOLOGÍA IOT

**Luis Alfredo Blanquicett, Luis Murillo Fernández, Maria Claudia Bonfante**

**Universidad del Sinú  
Cartagena, Colombia**

## **Resumen**

El calentamiento global y la huella de carbono son directamente proporcionales, es decir, cuanta más huella de carbono se tenga, más calentamiento global habrá, por esta razón se decidió tomar este problema ambiental y calcular la huella de carbono de la facultad de ingeniería de la Universidad de Sinú, de esta manera, la universidad puede conocer la cantidad de CO<sub>2</sub> que se emite por el funcionamiento de la facultad y de esta manera ser capaz de tomar medidas con respecto a la mitigación de estas emisiones. Para esto, se desarrolló una aplicación móvil con el lenguaje de desarrollo Dart, esta aplicación es capaz de realizar cálculos manuales de la huella de carbono, y se implementó un cálculo en tiempo real a través de un sensor que está conectado a un microcontrolador, este sensor mide el consumo eléctrico de un dispositivo y envía la información a un servidor IoT. Conociendo el consumo eléctrico, se puede calcular la huella de carbono. La aplicación permite medir esta huella de carbono debida al consumo eléctrico y organiza esta información por medio de gráficos, y de esta manera el usuario puede comprender mejor la información almacenada.

**Palabras clave:** huella de carbono; Internet de las cosas; Arduino

## **Abstract**

*It is known that global warming and the carbon footprint are directly proportional, that is, the more carbon footprint there is, the more global warming there will be, for this reason it was decided to take this environmental problem and calculate the carbon footprint of the engineering faculty of the Sinú University, in this way, the university can know the CO<sub>2</sub> emission that is emitted in the faculty and in this way be able to take actions regarding the mitigation of these emissions.*

*For this, a mobile application was developed with the Dart development language, this application is capable of performing manual calculations of the carbon footprint, and a real-time calculation was implemented through a sensor that is connected to an Arduino, this Sensor is capable of measuring the electrical flow of a device and sends the information to an IoT server. Knowing the electric flux, the carbon footprint can be calculated. The application allows to control emissions, and organizes this information by means of graphs, and in this way the user can have a better understanding of the stored information.*

**Keywords:** carbon footprint; internet of things; Arduino

## 1. Introducción

Actualmente la sociedad está pasando por una era de crisis ambiental, las temperaturas cada vez son más altas, llevando a esto que los polos geográficos se derritan. El impacto ha ido aumentando a lo largo de los últimos años, trayendo grandes consecuencias y efectos secundarios. Esto a causa del fenómeno llamado "efecto invernadero", que se crea cuando algunos gases retienen la energía que emite la tierra tras haber sido calentada por la radiación solar. Los gases de efecto invernadero (GEI) están aumentando significativamente según el informe presentado por el IDEAM y el PNUD, elaborado en el país, el aumento ha sido un 15%, al pasar de 245 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> en 1990 a 281 millones de toneladas en 2010, causando que la radiación solar se mantenga por más tiempo de lo necesario dentro de la atmósfera. De tal forma, el efecto invernadero no es en sí un problema, pero las acciones desmesuradas del hombre lo están convirtiendo en uno difícil de erradicar, está produciendo que se acentúe aún más por el aumento de emisiones de gases, especialmente el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que eleva la temperatura del planeta. Cabe resaltar el impacto de la revolución industrial sobre el clima, el cual ha conllevado a que se realicen centenares de investigaciones que demuestran indiscutiblemente que el calentamiento de la tierra guarda mucha relación con este tema. Por ejemplo, la universidad Libre de Berlín, que es una de las instituciones pioneras en estas investigaciones, informó que esta es la principal causa, basándose en el estudio pionero del "archivo natural del clima" de los últimos 500 años.

## 2. Antecedentes

Con el acelerado y diversificado desarrollo de las tecnologías en busca de facilitar las tareas más difíciles del ser humano, estas han comenzado a introducirse en el campo del cuidado del medio ambiente e incluso en el área especializada del cálculo de la huella de carbono, ya que el cambio climático es una de las mayores

preocupaciones y uno de los problemas más importantes a los cuales se enfrenta actualmente el ser humano debido a que muchos de los productos que se consumen o se utilizan, incluyendo las actividades del día a día denotan en gran medida el alto índice de los gases de efecto invernadero. Tras haber dicho esto, se revisaron algunas investigaciones que plantean soluciones relacionadas con la emisión del CO<sub>2</sub> y la huella de carbono, dentro de las cuales se destacan las

siguientes.

## **2.1 Sistema de internet de las cosas para el monitoreo de cultivos protegidos**

Es un proyecto basado en el internet de las cosas (IoT) para monitorear los cultivos de zonas específicas, utilizando sensores los cuales enviarán información a un servidor web, estos sensores recogen distintos datos, como la humedad relativa, la temperatura, el contenido volumétrico de agua en el suelo y otros factores. La arquitectura del proyecto es un modelo de aplicación sensor-cloud-server, los datos se actualizan automáticamente y el usuario los podrá visualizar a través del sitio web o desde el dispositivo móvil ya sea por medio de gráficas o tablas. Este sistema es capaz de enviar alertas a los usuarios para que de esta forma se tenga un control total de los cultivos en los invernaderos (Gómez et al., 2018).

## **2.2 SGreenH-IoT: Plataforma IoT para Agricultura de Precisión**

Es una plataforma diseñada para satisfacer las necesidades de monitoreo remoto, reduciendo de esta forma la inversión de recurso humano, la plataforma está enfocada en el campo de la agricultura de precisión, cuenta con mecanismos los cuales generan un balance entre la producción agrícola y la optimización de los recursos utilizados como agua y fertilizantes. Este tipo de agricultura contribuye a combatir enfermedades epidémicas, a optimizar los recursos y además proporciona un valor agregado a la producción agrícola, la plataforma cuenta con una arquitectura de cuatro capas, cuenta con sensores los cuales se encargan de recoger la información referente a campos de cultivo e invernaderos, la información es enviada mediante el protocolo ZigBee hacia el servidor central en la nube, estos datos almacenados son analizados en la nube, mostrando estadísticas acerca de los cultivos y los factores externos, y la última capa permite a los usuarios visualizar toda la información en la página web dinámica y el agricultor puede activar los sistemas de forma manual o automática (Guerrero et al., 2017).

## **2.3 Green Multimedia: Informing People of Their Carbon Footprint through Two Simple Sensors**

Este proyecto llevado a cabo en Irlanda por los estudiantes de la universidad Dublin City University, Aiden R. Doherty, Zhengwei Qiu, Colum Foley, Hyowon Lee, Cathal Gurrin, Alan F. Smeaton tiene como propósito estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> relacionadas con el transporte de una persona mediante el uso de un simple acelerómetro portátil, presente en muchos teléfonos móviles, utilizado como un medio de estimación de CO<sub>2</sub> de un individuo relacionado con el transporte. Se logró mediante la construcción de un algoritmo para detectar cuando un individuo está conduciendo, basado en los valores del sensor de movimiento x, y, z, Y a partir de esos cálculos, el tiempo que está impulsado se detiene, luego se logra hacer una estimación de cuantos litros de gasolina se consumen y que finalmente se puede convertir en CO<sub>2</sub>. Además, realizaron una investigación exhaustiva para proporcionar estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> relacionadas con el transporte a través de un sitio web interactivo y una aplicación móvil, el cual engloba a un conjunto de usuarios a ser conscientes de sus emisiones de CO<sub>2</sub> (Doherty et al., 2010).

### 3. Sensores

A lo largo del trabajo se utilizaron distintos sensores, cada uno con la funcionalidad que necesitábamos para llevar a cabo el cálculo de la huella de carbono en tiempo real y así poder visualizar los resultados desde la aplicación móvil. Los sensores utilizados durante el trabajo fueron los siguientes: Arduino UNO, ESP8266, RTC DS1307, ACS712.

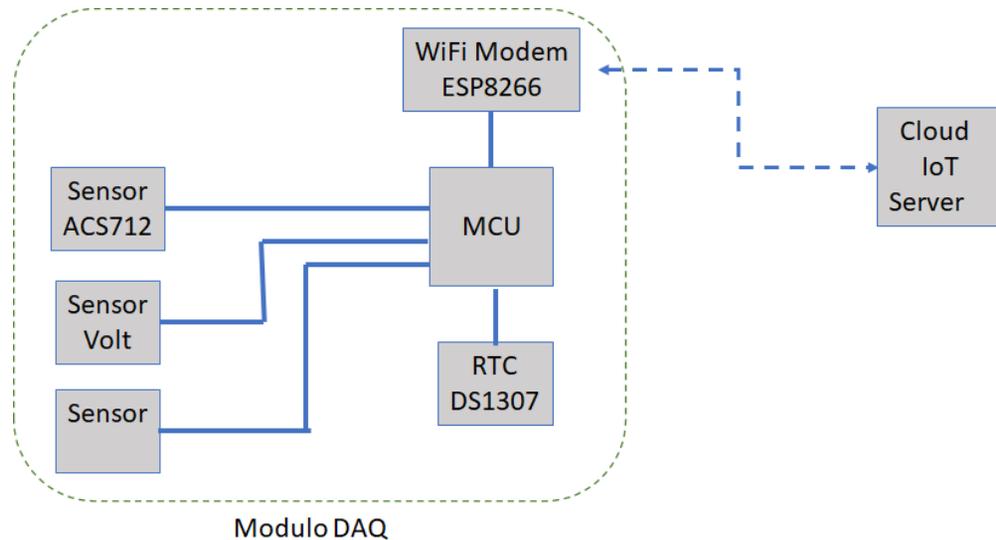


Figura 1. Diagrama de bloques del modulo DAQ. Fuente: Los autores

Después de realizar las conexiones, se programaron los sensores para que cada determinado tiempo enviaran los datos al servidor IoT y así poder procesar los datos que serían visualizados en la aplicación más adelante.

### 4. Cálculo de la huella de carbono

La huella de carbono se mide en emisiones de CO<sub>2</sub> y para hallar las emisiones, es necesario realizar operaciones matemáticas, cada fuente de emisión tiene un factor de emisión, desde el comienzo del trabajo sabíamos que se implementarían dos tipos de cálculos, uno manual y otro que se llevaría a cabo en tiempo real a través de sensores capaces de medir el flujo eléctrico y de esta manera poder calcular la huella de carbono del dispositivo que se le haya conectado. Para la realización de los cálculos, se utilizaron los parámetros para el cálculo del inventario de GEI como se muestran en la tabla 1.

#### 4.1 Cálculo de la huella de carbono en tiempo real.

Este tipo de cálculo se realiza directamente desde la aplicación, es necesario digitar en la aplicación móvil los parámetros requeridos. La aplicación es capaz de calcular la huella de carbono de las siguientes fuentes de emisión: consumo diésel, consumo de gas natural genérico, consumo de energía eléctrica, transporte aéreo, consumo de agua, consumo de papel, PET, hierro, polipropileno, vidrio, papel y cartón, plástico, vasos de cartón, aluminio,

RAEE, Biosanitarios y sin categorizar, disolventes, materiales de envases contaminados, ácidos bases y soluciones, aceites, pesticida inespecífico, residuos orgánicos, tóner, aguas residuales industriales, infraestructura construida. Cada fuente de emisión tiene su factor de emisión y su unidad de medición correspondiente.

Actividad			Factor de emisión de CO <sub>2</sub> e
Consumo de diésel			10.2765 kg CO <sub>2</sub> e./gal
Consumo de gas natural			1.9801 kg CO <sub>2</sub> e./m <sup>3</sup>
Consumo de energía eléctrica			0.221 kg CO <sub>2</sub> e./kWh
Transporte aéreo	Vuelos nacionales		0.205 kg CO <sub>2</sub> e./km recorrido
	Vuelos internacionales	Cortos*	0.116 kg CO <sub>2</sub> e./km recorrido
		Largos**	0.135 kg CO <sub>2</sub> e./km recorrido
Consumo de agua			0.1427 kg CO <sub>2</sub> e./m <sup>3</sup>
Consumo de papel			1.30 kg CO <sub>2</sub> e./kg
Generación de residuos reciclados	PET***		2.538 kg CO <sub>2</sub> e./kg residuo
	Hierro		2.9 kg CO <sub>2</sub> e./kg residuo
	Polipropileno		1.343 kg CO <sub>2</sub> e./kg residuo
	Vidrio		0.04 kg CO <sub>2</sub> e./kg residuo
	Aluminio		9.13 kg CO <sub>2</sub> e./kg residuo
	Papel + cartón		0.55 kg CO <sub>2</sub> e./kg residuo
	Plástico		0.035 kg CO <sub>2</sub> e./kg residuo
	Vasos de cartón		10.15 kg CO <sub>2</sub> e./kg residuo
Generación de residuos peligrosos	RAEE ****		0.0846 kg CO <sub>2</sub> e./kg residuo
	Biosanitarios y residuos sin categorizar		0.0502 kg CO <sub>2</sub> e./kg residuo
	Disolventes		0.0991 kg CO <sub>2</sub> e./kg residuo
	Materiales y envases contaminados		0.0262 kg CO <sub>2</sub> e./kg residuo
	Ácidos, bases y soluciones		0.0677 kg CO <sub>2</sub> e./kg residuo
	Aceites		0.0347 kg CO <sub>2</sub> e./kg residuo
	Pesticidas		7.37 kg CO <sub>2</sub> e./kg residuo
	Residuos orgánicos		0.365 kg CO <sub>2</sub> e./kg residuo
	Tóner		2.76 kg CO <sub>2</sub> e./kg residuo
Aguas residuales industriales			5,63 kg CO <sub>2</sub> e./DQO
Infraestructura construida			520 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> construido

Tabla 1. Factores de emisión equivalentes por actividad en kg CO<sub>2</sub>.

Para demostrar que el cálculo manual de la huella de carbono en la aplicación funciona de manera correcta, se realiza el cálculo manual a través de una hoja de cálculo en el software Microsoft Excel, las fuentes de emisiones que se calcularon fueron el consumo de papel y el consumo de vasos de cartón, esta comprobación se realiza tomando el mes de marzo como referencia. Los resultados arrojados en Excel fueron los siguientes:

La medición se realizó de manera semanal empezando el lunes 2/marzo/2020 y finalizando el martes 31/marzo 2020, realizando los cálculos todos los viernes de cada semana y en la última semana se realizó el martes, en la figura se puede observar la huella de carbono total



que fue calculada semanalmente. Esta misma simulación fue realizada desde la aplicación móvil y se puede observar que los resultados son totalmente correspondidos con los de Excel, dando por hecho que el cálculo manual de la huella de carbono desde la aplicación móvil, funciona correctamente. A continuación, se visualizan los cálculos realizados desde la aplicación:

Los cálculos realizados desde la aplicación deben almacenarse en la base de datos, es decir, es necesario que el usuario guarde los resultados para así poder llevar un control minucioso de estos, estos cálculos son visualizados en una gráfica, que le permite al usuario poder interpretar mejor estos datos.

	D	E	F	G	H	I
<b>Consumo de papel y vasos de carton durante el mes de marzo</b>						
# de semana	Semanas	Fuente de emision	Consumo	Factor de emision	Huella de carbono	
1	02/marzo - 06/marzo	Papel	1,5Kg	1,30 kg co2 e /kg	1,95Kg co2e	
		Vasos de carton	184g	10,15 kg co2 e /kg	1,86Kg co2e	
<b>Total</b>					<b>3,81Kg co2e</b>	
2	09/marzo - 13/marzo	Papel	1,1Kg	1,30 kg co2 e /kg	1,43Kg co2e	
		Vasos de carton	152g	10,15 kg co2 e /kg	1,54Kg co2e	
<b>Total</b>					<b>2,97Kg co2e</b>	
3	16/marzo - 20/marzo	Papel	1,2Kg	1,30 kg co2 e /kg	1,56Kg co2e	
		Vasos de carton	167g	10,15 kg co2 e /kg	1,69Kg co2e	
<b>Total</b>					<b>3,25Kg co2e</b>	
4	23/marzo - 27/marzo	Papel	1,4Kg	1,30 kg co2 e /kg	1,82Kg co2e	
		Vasos de carton	173g	10,15 kg co2 e /kg	1,75Kg co2e	
<b>Total</b>					<b>3,57Kg co2e</b>	
5	30/marzo - 31/marzo	Papel	457g	1,30 kg co2 e /kg	0,59Kg co2e	
		Vasos de carton	51g	10,15 kg co2 e /kg	0,51Kg co2e	
<b>Total</b>					<b>1,1Kg co2e</b>	
<b>Gran Total</b>					<b>14,7Kg co2e</b>	

Figura 2. Calculo manual en Excel. Fuente: Los autores

## 4.2 Cálculo de la huella de carbono en tiempo real.

Este tipo de cálculo se llevó a cabo con los sensores que se describieron anteriormente, cada sensor con su respectiva funcionalidad permitieron medir el flujo eléctrico del dispositivo al cual se le haya conectado, para el trabajo, se utilizó un diodo de color rojo, como se puede observar en la Fig 1, de esta manera, el sensor ACS712 capaz de medir el flujo eléctrico, envía los datos al servidor IoT a través del sensor WiFi ESP8266, estos datos son enviados puntualmente a las 23:59:55horas, gracias al módulo RTC DS1307 al cual se le configuro la hora (GMT-5) y estos datos se puede visualizar desde la aplicación en forma de gráficas para que el usuario pueda interpretar mejor esta información.



Figura 3. Grafica del resultado. Fuente: Los autores

La aplicación brinda estos resultados de manera gráfica, pudiendo el usuario interpretar mejor estos datos, la aplicación brinda además información adicional al seleccionar la línea de la gráfica, esta le brindara al usuario el resultado de la huella de carbono y la fecha con la que se almaceno este cálculo en la base de datos. Los datos son representados en la aplicación de la siguiente manera:

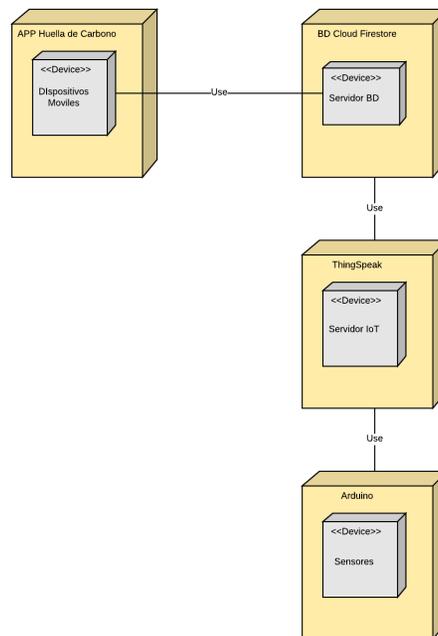


Figura 4. Diagrama de distribución del sistema. Fuente: Los autores

## 5. Resultados

Este trabajo permitió la elaboración y la construcción de un prototipo de una aplicación móvil, que contribuye a la medición en tiempo real de la huella de carbono que se produce en cada dependencia y equipo de una edificación, en este caso de las oficinas de la facultad de ingeniería de la Universidad del Sinú principalmente, además la facilidad de conocer la huella de carbono que se está emitiendo en ella. Para la comprobación se tomaron datos manualmente a partir de mediciones periódicas del consumo de energía del sitio de instalación las cuales fueron comparadas con las mediciones realizadas por el sistema del módulo DAQ y la aplicación.

Estas mediciones se compararon obteniendo errores de menos del 2%, los cuales en parte son atribuibles a que las mediciones manual y automática no se sincronizan exactamente en el tiempo. Adicionalmente existe una diferencia debido a la resolución de cada medidor y alguna otra parte del error es atribuible a la calibración e incertidumbre de la medición. Sin embargo, en el seguimiento de mediano plazo (una semana) se nota más detalle en la medición automática debido a la frecuencia con la que se muestrean los datos. Esto permite tener una medición más fiable del consumo energético y su huella de carbono que la toma de medición manual, ya que esta es estimada en lapsos más grandes de tiempo, lo cual no es adecuado en entornos donde el consumo sufre variaciones durante el uso. La aplicación de acuerdo con las pruebas de uso con diversos usuarios muestra facilidad de manejo, los resultados son accesibles fácilmente y su visualización e interpretación es adecuada.

Este sistema permite la integración de múltiples sensores para la lectura de consumos eléctricos en diversas dependencias o por equipos en cada dependencia, pueden integrarse otros sensores del mismo tipo sin prácticamente cambios, solo se requiere realizar algunas configuraciones en el módulo DAQ y en la aplicación. También pueden integrarse otros sensores que permiten la medición de otras variables en el cálculo de la huella de carbono, tales como: consumos de agua potable, producción de basura y desechos, etc. Adicionalmente se puede realizar un seguimiento de temperatura y humedad en las dependencias con el fin de determinar la relación entre consumos de los equipos de acondicionamiento de aire y los perfiles de confort térmico, para evaluar su eficiencia durante el funcionamiento de este. Todos estos sistemas requieren la activación de módulos de cálculo en la aplicación y la adición de módulos hardware al DAQ y la activación de rutinas de software en la medición, que no se encontraban habilitadas durante las pruebas de este prototipo pero que si pueden ser activadas para pruebas más extensas.

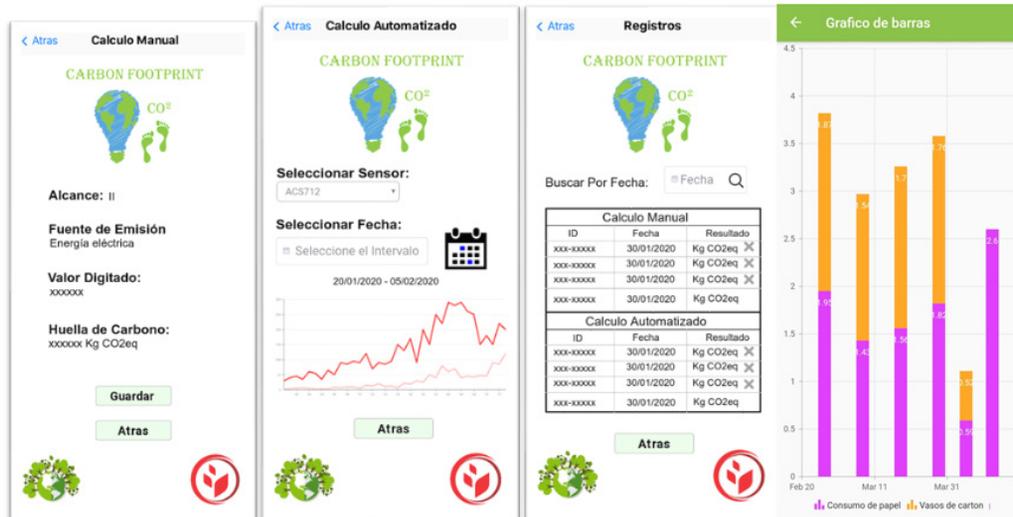


Figura 5. Pantallas de la aplicación. Fuente: Los autores

## 6. Conclusiones

La aplicación alcanzó todos los objetivos que se plantearon desde el comienzo del trabajo, brindando de esta manera a la universidad del Sinú, la posibilidad de tener conocimiento total sobre la huella de carbono y las emisiones de CO<sub>2</sub>, y así, poder tomar medidas para mitigar la huella de carbono, y de esta manera la universidad puede llevar un control de los dispositivos que más emiten CO<sub>2</sub> y buscar la manera de prevenir el excesivo uso de estos dispositivos.

La aplicación le aportará a la universidad, el conocimiento de la huella de carbono que se emite en tiempo real y además se puede realizar cálculos manuales, la aplicación también aporta al usuario un control de todas las emisiones que se almacenen en la aplicación y así poder aplicar medidas para mitigar la huella de carbono y corroborar con ayuda de la aplicación, si las medidas tienen buenos resultados o no.

## 7. Referencias

- Doherty, A., Qiu, Z. et al (2010). Green multimedia: Informing people of their carbon footprint through two simple sensors. MM '10: Proceedings of the 18th ACM international conference on Multimedia, Vol. 1, Firenze, pp. 441-450. <https://doi.org/10.1145/1873951.1874015>
- Gómez, J., Castaño, S., Mercado, T., Fernandez, A., & Garcia, J. (2018). Sistema de internet de las cosas (IoT) para el monitoreo de cultivos protegidos. Ingeniería E Innovación, 5(1). <https://doi.org/10.21897/23460466.1101>
- Guerrero, J., Estrada, F. & Medina, M. (2017). SGreenH-IoT: Plataforma IoT para Agricultura de Precisión. Sistemas, Cibernética e Informática, Vol. 14, No. 2, pp. 53-58.
- Li, X., Tan, H. y Rakes, A. (2015). Carbon footprint analysis of student behavior for a sustainable university campus in China. Journal of Cleaner Production, 106, 97-108.

- Manso, D., Parrado, C. & Aristizabal, A. (2017). Inventario de gases efecto invernadero en la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano (Utadeo). Revista Mutis, 7(2), pp. 44-58. <https://doi.org/10.21789/22561498.1252>
- Robinson, O.J., Tewkesbury, A. Kemp, S y Williams, I. (2017). Towards a universal carbon footprint standard: A case study of carbon management at universities. Journal of Cleaner Production, in press, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.147>
- Secretaría Distrital de Ambiente. Alcaldía Mayor de Bogotá (2015). Guía para el cálculo y reporte de Huella de Carbono Corporativa, Bogotá, D.C., pp. 9-37.

## Sobre los autores

- **Luis Alfredo Blanquicett**. Ingeniero de Sistemas, Especialista en gerencia de sistemas de información, magister en gerencia de sistemas de información. Profesor tiempo completo universidad del Sinú Cartagena. [lbianquicett@unisinucartagena.edu.co](mailto:lbianquicett@unisinucartagena.edu.co)
- **Luis Murillo Fernández**: Ingeniero Electricista, Especialista en Informática Industrial, Máster en Gestión de la Innovación. Profesor de tiempo completo en Universidad del Sinú – Cartagena. [lmurillo@unisinucartagena.edu.co](mailto:lmurillo@unisinucartagena.edu.co)
- **María Claudia Bonfante**: Ingeniera de Sistemas. Dra. en Ingeniería de Software de la Universidad Pontificia de Salamanca de Madrid España, Docente de tiempo completo y directora de la Escuela de Ingeniería de Sistemas de la Universidad del Sinú Seccional Cartagena – Colombia. [direccionsistemas@unisinucartagena.edu.co](mailto:direccionsistemas@unisinucartagena.edu.co)

---

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2020 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)