



Fecha de presentación: 3/07/2020

Fecha de aceptación: 14/09/2020

Fecha de publicación: 6/11/2020

¿Cómo citar este artículo?

Ponce Valdés, Y., Martínez Castro, Y., & Rega Armas, D. (mayo-agosto, 2020). Dimensionamiento solar fotovoltaico y cálculo de huella de carbono de la Universidad de Sancti Spíritus. Revista *Márgenes*, 8(2), 32-51. Recuperado de <http://revistas.uniss.edu.cu/index.php/margenes/issue/view/1120>

TÍTULO: DIMENSIONAMIENTO SOLAR FOTOVOLTAICO Y CALCULO DE HUELLA DE CARBONO DE LA UNIVERSIDAD DE SANCTI SPÍRITUS

TITLE: ESTABLISHING THE SOLAR PHOTOVOLTAIC DIMENSIONS AND THE CARBON FOOTPRINT OF THE UNIVERSITY OF SANCTI SPÍRITUS

Autores: MSc. Yudelkys Ponce-Valdés¹, MSc. Yenima Martínez-Castro², MSc. Dayned Rega-Armas³

¹ Máster en Ciencias de la Educación. Profesora Asistente. Universidad de Sancti Spíritus "José Martí Pérez", Centro de Estudios de Energía y Procesos Industriales (CEEPI), Sancti Spíritus, Cuba. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2893-0790> Correo electrónico: yponce@uniss.edu.cu

² Máster en Ciencias de la Educación. Profesora Asistente. Universidad de Sancti Spíritus "José Martí Pérez", Centro de Estudios de Energía y Procesos Industriales (CEEPI), Sancti Spíritus, Cuba. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5819-3309> Correo electrónico: yenima@uniss.edu.cu

³ Máster en Ciencias Pedagógicas. Profesora Auxiliar. Universidad de Sancti Spíritus "José Martí Pérez", Departamento Matemática- Física, Sancti Spíritus, Cuba. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4078-2217> Correo electrónico: drega@uniss.edu.cu

RESUMEN

Las actividades laborales y académicas realizadas en las Instituciones de Educación Superior emiten gases de efecto invernadero que determinan su huella de carbono. En la Universidad de Sancti Spíritus, la Sede Central es el campus de mayor área y de mayor consumo eléctrico. Por otro lado, en el Docente I existe un centro dedicado al estudio e implementación de las fuentes renovables de energía.

Márgenes publica sus artículos bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



<http://revistas.uniss.edu.cu/index.php/margenes>
margenes@uniss.edu.cu

El objetivo del presente artículo es calcular la huella de carbono por concepto de consumo eléctrico de ambos campus y dimensionar una instalación solar fotovoltaica conectada a la red para cubrir su demanda.

Para el cálculo se siguió la metodología de la Norma UNE-ISO 14064-1 y las Directrices del *Intergovernmental Panel on Climate Change* de las Naciones Unidas. Para el dimensionamiento, principios de diseño establecidos en la literatura.

Como resultado, se determinó que durante 2018 estos campus emitieron más de 314 t CO₂ eq por concepto de consumo eléctrico. Se calculó que tal demanda podría cubrirse con una instalación solar fotovoltaica conectada a la red de 650 paneles policristalinos de 265 Wp, para la Sede Central y 200, para el Docente I, lo que disminuiría su huella de carbono.

Palabras clave: dimensionamiento; huella de carbono; sistema solar fotovoltaico.

ABSTRACT

Academic and working activities carried out in Higher Education Institutions emit greenhouse gases determining their carbon footprint. At University of Sancti Spíritus, the Central Campus is the largest area and the one with the highest electricity consumption. On the other hand, at Campus I there is a center devoted to the study and implementation of energy-renewable sources. The objective of this paper is to calculate the carbon footprint by electricity consumption of both campuses and to establish the dimensions of a solar photovoltaic installation connected to the grid to meet their demand. For calculating, the methodology of the Norm UNE-ISO 14064-1 and the Guidelines of the United Nations' Intergovernmental Panel on Climate Change were followed. For establishing the dimensions, the design principles found in literature were considered. As a result, it was determined that in 2018 the aforementioned campuses emitted more than 314 t CO₂ eq by electric consumption and accordingly, the calculating system concluded that their demand could be met with a solar photovoltaic installation connected to the grid of 650 poly-crystalline panels of 265 Wp for the Central Campus, and 200 for Campus I, consequently decreasing their carbon footprint.

Keywords: dimension; carbon footprint; photovoltaic solar system.



INTRODUCCIÓN

El deterioro de la naturaleza y de la biodiversidad que se viene presentando en el planeta responde al cambio climático drástico que ha provocado la actividad humana. Una de las principales causas identificadas es precisamente el aumento de los gases de efecto invernadero (GEI) presentes en la atmósfera, lo que equivale a una alteración en el efecto invernadero natural, por las actividades antrópicas como el crecimiento demográfico y las actividades de diversos sectores (Quirós-Vindas, 2015, Rodríguez Buitrago & Gutiérrez-Fernández, 2017). La cantidad de GEI que se emiten a la atmósfera por la acción directa o indirecta de un individuo, organización, evento o producto se expresa mediante un indicador ambiental conocido como huella de carbono (HC).

Este fenómeno puede ser susceptible a cambios en pro de revertir la situación presente, pero sobre todo mejorar el panorama futuro. Es un proceso que podría mitigarse de forma paulatina abordándolo con consciencia y sobre todo con compromiso (Quirós-Vindas, 2015).

En tal caso, se hizo necesario reforzar la conciencia pública, a escala mundial, de los problemas relacionados con el cambio climático. Es por eso que La Conferencia de Río fue testigo de la aprobación de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, UNFCCC, que afirma la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y condujo a la firma en 1997 del Protocolo de Kyoto, que cuenta con medidas más enérgicas y jurídicamente vinculantes. Más tarde, en 2015, se firma el Acuerdo de París, con el que se busca mejorar la aplicación de la Convención, incluido el logro de su objetivo, con el fin de reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, en el contexto del desarrollo sostenible y de los esfuerzos por erradicar la pobreza. Para ello, entre otros objetivos, se pretende:

a) Mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2 °C con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales, reconociendo que ello reduciría considerablemente los riesgos y los efectos del cambio climático (UNFCCC, 2015).

Luego, en reporte de 2018, el Panel Intergubernamental del Cambio Climático, conocido por el acrónimo en inglés IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) de las Naciones Unidas, se



refiere a la necesidad de transiciones "rápidas y de gran alcance" en la tierra, la energía, la industria, los edificios, el transporte y las ciudades para limitar el calentamiento global a 1,5°C (IPCC, 2018).

Sería necesario que las emisiones netas globales de CO₂ de origen humano disminuyeran en 2030 alrededor de un 45% respecto a los niveles de 2010, y así gradualmente hasta alcanzar el "cero netos" alrededor de 2050. Eso significa que se necesitaría compensar cualquier emisión remanente por medio de remover CO₂ de la atmósfera (IPCC, 2018).

Cuba ya en el año 2015, bajo la coordinación del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), comenzó un proceso de actualización de los documentos ya aprobados por el Consejo de Ministros para el enfrentamiento al cambio climático, conocidos como Tarea Vida. Este macro-proyecto tiene un alcance y jerarquía superiores a los documentos antes elaborados, referidos al tema. Su implementación requiere de un programa de inversiones progresivas que se irán ejecutando a corto (año 2020), mediano (2030), largo (2050) y muy largo (2100) plazos. Cuenta con cinco acciones estratégicas y 11 tareas (CITMA, 2017).

Específicamente la tarea 8 plantea "Implementar y controlar las medidas de adaptación y mitigación al cambio climático derivadas de las políticas sectoriales en los programas, planes y proyectos vinculados con la seguridad alimentaria, la energía renovable, la eficiencia energética (...)" (CITMA, 2017).

Por otra parte, el 23 de marzo de 2017, se firmó en Cuba el Decreto Ley No. 345, Del Desarrollo de las *Fuentes Renovables y el Uso Eficiente de Energía*, que tiene como objeto establecer las regulaciones para el desarrollo de las fuentes renovables de energía (FRE) y el uso eficiente de la energía. Para disminuir la emisión de los GEI y por tanto contribuir a la mitigación del cambio climático.

Cuba como país se propone alcanzar para el 2030 un 24% de generación de energía eléctrica a partir de las FRE (Arrastía, 2015). Escalonadamente, los diferentes sectores toman medidas y ejecutan acciones para dar cumplimiento a la Tarea Vida. El Ministerio de Educación Superior (MES) no es la excepción.

En su quehacer diario, las personas no perciben que producir la energía eléctrica necesaria para las actividades laborales y académicas realizadas en las Instituciones de Educación Superior también

Márgenes publica sus artículos bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



<http://revistas.uniss.edu.cu/index.php/margenes>
margenes@uniss.edu.cu

emite gases de efecto invernadero que contribuyen a su HC. Como generalmente los lugares donde se genera la electricidad están alejados de los núcleos poblacionales, no es posible apreciar la contaminación que emite su producción en las unidades de generación que emplean combustibles fósiles (Arrastía, 2015).

Dentro de las acciones de enfrentamiento al cambio climático, el MES cuenta con varias IES cubanas que trabajan en relación con las FRE y da prioridad a potenciar las investigaciones vinculadas con la instalación y uso de FRE y el ahorro de combustibles fósiles, liderados por la Red de Energía del MES (MES, 2016). Una de esas instituciones es la Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez” (UNISS).

La UNISS está localizada en el centro del país. Es de conocimiento de las autoras de este trabajo que, en correspondencia con las prioridades del país, esta institución tiene un plan de ahorro de energía y cuenta con varios aparatos administrativos que controlan su cumplimiento. Sin embargo, sus consumos energéticos siguen dependiendo mayoritariamente de combustibles fósiles. Además, aun cuando en la UNISS funciona el Centro de Estudios de Energía y Procesos Industriales (CEEPI), con buenos resultados científicos en FRE, en la UNISS apenas se han implementado soluciones tecnológicas con FRE para disminuir su HC.

Dada la posición geográfica de Cuba, la energía solar brinda grandes posibilidades para implementar soluciones tecnológicas con FRE. La utilización de paneles solares, por ejemplo, abre paso a la eficiencia en la conservación y protección de los recursos naturales, así como a la reducción de la HC. Los sistemas fotovoltaicos (FV) tienen la capacidad de aprovechar la luz solar y convertirla en energía eléctrica para abastecer una demanda determinada.

El objetivo del presente trabajo es calcular la HC por concepto de consumo eléctrico de los campus Sede Central y Docente I de la UNISS y dimensionar una instalación solar fotovoltaica conectada a la red para cubrir su demanda.

DESARROLLO

De acuerdo con el objetivo de esta investigación, es importante definir los conceptos de HC y dimensionamiento, así como referirse a las ventajas de la energía fotovoltaica, que hacen que sea la FRE seleccionada para la propuesta que aquí se presenta.

Márgenes publica sus artículos bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



<http://revistas.uniss.edu.cu/index.php/margenes>
margenes@uniss.edu.cu

La HC es un indicador integral que representa la cantidad de GEI emitidos a la atmósfera, tanto de forma directa como indirecta, derivados de las actividades de producción o consumo de bienes y servicios. Se expresa en toneladas de CO₂ equivalente (t CO₂eq) y es considerada una de las más importantes herramientas para cuantificar las emisiones de dichos gases que permite evaluar la presión de las actividades antropogénicas sobre los ecosistemas de remoción y almacenamiento de carbono (Guerra, Hsieh & Valderrama, 2013).

Como explica la Oficina Española de Cambio Climático (OECC 2016), las emisiones de GEI asociadas a las operaciones de una organización se pueden clasificar como emisiones directas o indirectas. Al referirnos a la HC de la organización y a las fuentes emisoras para su cálculo se recurre al término alcance, clasificándolos en alcances 1, 2 y 3.

Las emisiones de alcance 1, también denominadas emisiones directas, son aquellos GEI emitidos por la organización por el empleo directo de combustibles fósiles. Algunos ejemplos son en el uso de vehículos, calderas, hornos. En estos también se incluyen las pérdidas de gases refrigerantes y otros.

Las emisiones de alcance 2, son emisiones indirectas asociadas a la generación de electricidad adquirida por la organización. Mientras que las emisiones de alcance 3, también denominadas “otras emisiones indirectas”, son aquellas atribuibles a los productos y servicios adquiridos por la organización (Véase Figura 1).

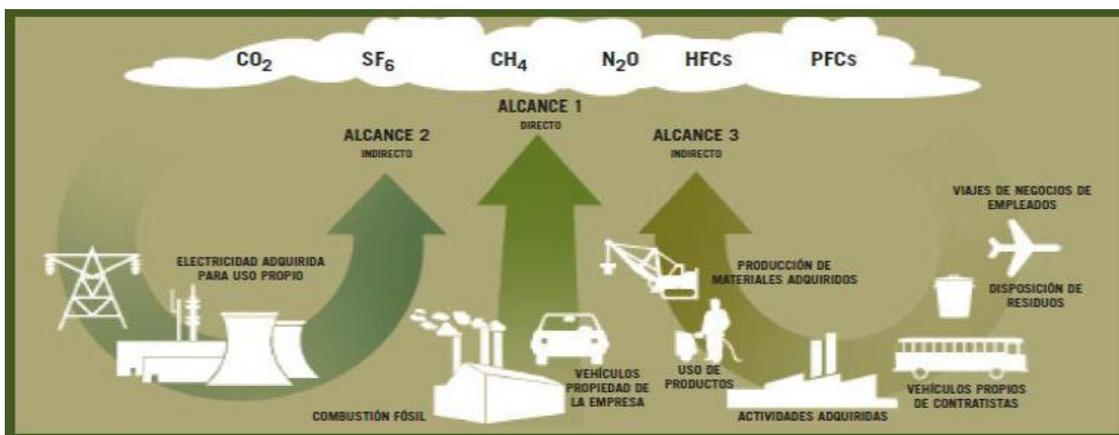


Figura 1. Esquema de los elementos que componen cada alcance.

Fuente: GHG Protocol en OECC (2016)



El diseño de un sistema fotovoltaico es un concepto muy amplio que incluye todas las tareas y especificaciones necesarias para que un sistema fotovoltaico funcione satisfactoriamente, con la mayor fiabilidad y al menor costo posible. El concepto de dimensionado o dimensionamiento, por su parte, es menos amplio y está incluido entre las tareas del diseño. Se entiende por dimensionamiento de un sistema fotovoltaico el cálculo del tamaño óptimo de la instalación; es decir, fundamentalmente, del tamaño óptimo del generador fotovoltaico. Aunque no es menos importante, en una fase posterior habrá que dimensionar también otros elementos de la instalación como son el inversor, el regulador de carga y el cableado (Aguilera & Hontoria, 2011), pero ello no constituye objetivo de la presente investigación.

En cuanto a las ventajas de la energía fotovoltaica, Stolik (2018) se refiere a las siguientes:

Está disponible en todo el mundo. En términos de energía, la superficie del planeta recibe radiación solar en un rango desde 700 KWh/año/m² hasta 2 400 KWh/año/m²; el promedio total que recibe la superficie de la Tierra es de 1 700 KWh/año/m². La de Cuba es superior al del promedio mundial, debido a su localización geográfica, con unos 1 825 KWh/año/m².

Además, es la más instantánea de las energías solares y es aditiva, o sea, se puede hacer una ampliación de la instalación FV en cualquier momento. Posee aplicaciones de amplio rango de potencia; desde fracciones de Watt hasta instalaciones actuales de cientos de Megawatts.

Por otra parte, el silicio está disponible en todo el mundo. El 94% de los módulos FV son de silicio cristalino (Si-c). Ellos son de fácil traslado y rápida instalación. Utiliza poca agua (solo se usa para limpiar los módulos) y son benignas para el medio ambiente, ya que los módulos se pueden reciclar. Igualmente, es silenciosa, es decir, no produce intrusión auditiva y puede instalarse contigua a la presencia de personas.

Los costos de operaciones y mantenimiento son más bajos que otras tecnologías (menos de 1% anual del costo inicial). Puede generar energía para su almacenamiento con la utilización de baterías u otros tipos de acumulación eléctrica. Se puede utilizar corriente directa y corriente alterna.

MATERIALES Y MÉTODOS

Existen varias metodologías para el cálculo de la HC, tanto de productos como de organizaciones. En la presente investigación se utilizó la norma UNE-ISO 14064-1 IHOBE, (autor corporativo) (2012).

Márgenes publica sus artículos bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



<http://revistas.uniss.edu.cu/index.php/margenes>
margenes@uniss.edu.cu

Esta norma se desarrolló en 2006 de acuerdo con el *Greenhouse Gas Protocol Corporate Standard (GHG Protocol)*, elaborado por el Instituto de Recursos Mundiales y el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible. Luego, en 2015 fue corregida y, por tanto, perfeccionada. La misma especifica los principios y requisitos a nivel de organización para la cuantificación y el informe de emisiones y remociones de GEI (OECC, 2016).

Además, se tomó en consideración las directrices del Panel Intergubernamental del Cambio Climático, conocido por el acrónimo en inglés IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) de las Naciones Unidas (IPCC, 2006), organización internacional que rige las acciones para mitigar el cambio climático.

Para el cálculo de la HC, la norma UNE-ISO 14064-1 establece que deben tomarse previamente una serie de decisiones (IHOBE, 2012 y OECC, 2016).

1. Establecer los límites de la organización y los límites operativos.
2. Elegir el periodo para el que se va a calcular la HC.
3. Recopilar los datos de actividad de estas operaciones.
4. Buscar los factores de emisión adecuados.

Los límites de la organización y los límites operativos se refieren a qué áreas de la organización se incluirán en la recolección de información y en los cálculos, así como en identificar las emisiones asociadas a las operaciones dentro de esas áreas, distinguiendo entre emisiones directas (Alcance 1) e indirectas (Alcances 2 y 3) (Figura 1).

Una vez tomadas las decisiones necesarias, es posible calcular la HC de alcance 2 en el período estudiado por medio de la Ecuación 1:

$$HC=CEE*FE (1)$$

Donde CEE es el consumo mensual de energía eléctrica (kWh) y FE es el factor de emisión (kg CO₂ eq/kWh).

Como el dimensionamiento es la primera fase del diseño, en esta investigación se siguió la primera parte de la metodología recomendada por Mesa (2017) y Pérez (2019). En primer lugar, se analizaron las características solares de la zona en términos de irradiación, índice de claridad, irradiancia y horas de sol pico. En correspondencia con el recurso solar y teniendo en cuenta la

Márgenes publica sus artículos bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



<http://revistas.uniss.edu.cu/index.php/margenes>
margenes@uniss.edu.cu

demanda eléctrica a cubrir y se seleccionó el diseño según sus principales características, para a partir de ahí determinar el tipo de panel y proceder al dimensionamiento, es decir, calcular el número de paneles necesarios para generar la energía que ha de cubrir la demanda, lo cual se hace

$$\text{mediante la Ecuación 2: } No \text{ de módulos} = \frac{\text{Energía Necesaria}}{HSP * \text{Rendimiento del sistema} * \text{Potencia del panel}} \quad (2)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Huella de carbono

La UNISS cuenta con cinco campus y varias sedes municipales. Para la presente investigación los límites de la organización seleccionados fueron la Sede Central y el Docente I de la UNISS. En el caso de la Sede Central, la selección se debió a que es el campus de mayor área y de mayor consumo eléctrico. Incluye la cocina-comedor central, la Residencia Estudiantil I, el Rectorado, la Facultad de Ciencias Pedagógicas, la Facultad de Ciencias Técnicas y Empresariales, la Facultad de Cultura Física, la Dirección de Informatización, talleres, almacenes, y otras áreas académicas y administrativas.

En cuanto al Docente I (que incluye la Facultad de Ciencias Agropecuarias, el Colegio Universitario, la Dirección de Desarrollo, la Dirección Posgrado y el CEEPI, entre otros), la selección estuvo relacionada con que allí radica el CEEPI, que como se explicó, es un centro de estudios dedicado al estudio e implementación de las FRE.

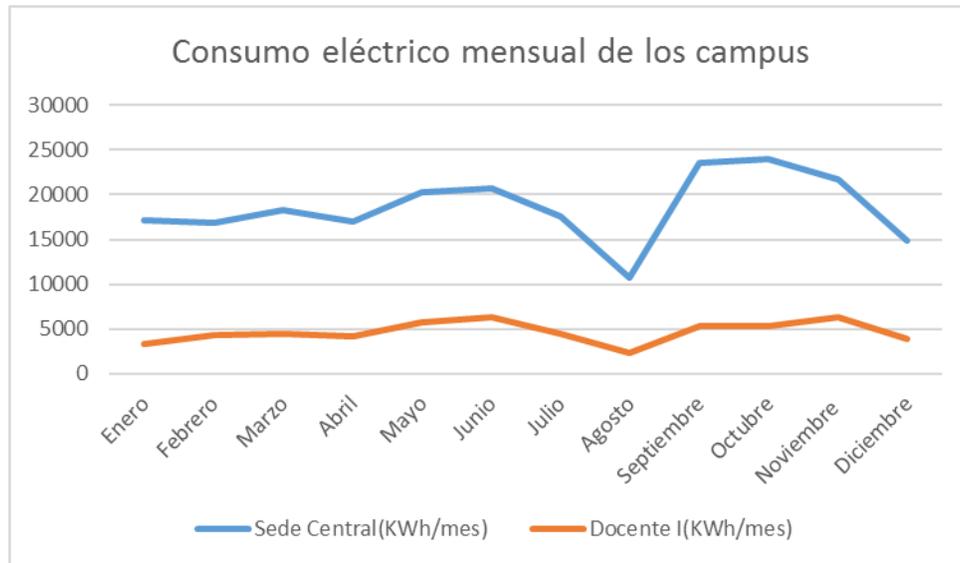
Los límites operativos lo constituyen las emisiones indirectas de GEI, ya que se decidió recolectar información y realizar los cálculos solamente a partir de emisiones procedentes de la generación de electricidad adquirida y consumida por la organización (Alcance 2); ya que la contaminación ambiental asociada a la generación eléctrica es reconocida como uno de los problemas a resolver.

Generalmente el periodo para el que se calcula la HC es el año anterior al que se desarrolla el estudio. Sin embargo, en este caso se decidió utilizar los datos de enero a diciembre de 2018, porque en 2019 a causa de medidas extraterritoriales del Gobierno de Estados Unidos se produjo una contingencia energética en Cuba que condujo a tomar decisiones y medidas energéticas en el país (Figueredo Reinaldo, Fuentes Puebla, Doimeadios Guerrero & Romeo Matos, 2019) que hizo



que durante varios meses los niveles de consumo eléctrico no se correspondieran con el histórico de la entidad.

A partir de datos aportados por la Oficina de Planificación y Estadística de la UNISS, se recopilaron y tabularon los consumos de energía eléctrica (expresados en kWh) durante el año 2018. La Gráfica 1 muestra los consumos mensuales de los campus en cuestión, y sus valores máximos y mínimos.



Gráfica 1. Consumo energético mensual de los Campus Sede Central y Docente I de la UNISS en 2018

Fuente: Elaboración propia a partir de datos aportados por la Oficina de Planificación y Estadística de la UNISS

Como era de esperar por la propia actividad de la UNISS, en el mes de agosto el consumo es mínimo, porque este mes y gran parte de julio constituye el periodo vacacional. Mientras que se aprecian mayores consumos en junio y de septiembre a noviembre; esto podría estar asociado al uso de ventiladores y aires acondicionados por las altas temperaturas ambientales y al incremento de actividades docentes que se generan a final y principio de curso. Los consumos máximos se produjeron en octubre en la Sede central y en noviembre en el Docente I.

El factor de emisión supone la cantidad de GEI emitidos por energía eléctrica consumida. Estos factores varían en función de la actividad que se trate. En relación a la actividad que se estudió, el



factor de emisiones de la electricidad entregada en Cuba fue de 1,127 kg CO₂ eq/kWh, según la Oficina Nacional de Estadística e Información (Arrastía, 2015).

Como se explicó en la sección Materiales y Métodos, una vez tomadas las decisiones necesarias, a partir del consumo mensual de energía eléctrica de ambos campus (Gráfica 1), se calculó la HC de alcance 2 de ambos campus en todos los meses del período estudiado por medio de la Ecuación 1:

$$HC=CEE*FE \quad (1)$$

Donde CEE es el consumo mensual de energía eléctrica (kWh) y FE es el factor de emisión (kg CO₂ eq/kWh). Los resultados pueden observarse en la Tabla 1.

Tabla 1. Consumo eléctrico y Huella de Carbono de alcance 2 de la Sede Central y el Docente I en la UNISS en 2018

Meses	Sede Central		Docente I	
	Consumo KWh/mes	HC (KgCO ₂ eq)	Consumo KWh/mes	HC (KgCO ₂ eq)
Enero	17209.96	19395.62	3310.80	3731.27
Febrero	16889.88	19034.89	4256.00	4796.51
Marzo	18338.98	20668.03	4447.88	5012.76
Abril	17058.00	19224.36	4218.00	4753.68
Mayo	20233.70	22803.37	5727.87	6455.30
Junio	20671.80	23297.11	6378.00	7188.00
Julio	17510.97	19734.86	4513.50	5086.71
Agosto	10746.77	12111.60	2344.80	2642.58
Septiembre	23577.90	26572.29	5250.90	5917.76
Octubre	24019.73	27070.23	5347.50	6026.63
Noviembre	21679.80	24433.13	6267.90	7063.92
Diciembre	14912.86	16806.79	3817.80	4302.66
Promedios	18570.86	20929.36	4656.74	5248.15
Sumatoria	222850.35	251152.34	55880.95	62977.83

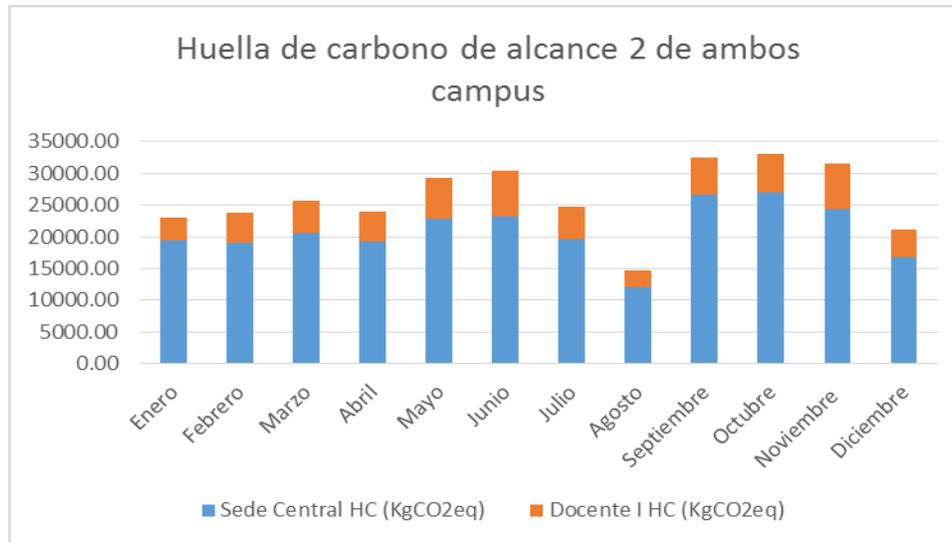
Fuente: Elaboración propia a partir de datos aportados por la Oficina de Planificación y Estadística de la UNISS

Además, se determinó que el promedio mensual de la HC de alcance 2 de la Sede Central es de alrededor de $21 \cdot 10^3$ KgCO₂eq y el del Docente I es $5,2 \cdot 10^3$ KgCO₂eq, lo que representa al año emisiones de aproximadamente $251 \cdot 10^3$ KgCO₂eq y $63 \cdot 10^3$ KgCO₂eq, respectivamente. O sea, un



total entre ambos campus de $314 \cdot 10^3$ KgCO₂ eq (Tabla 1). Ello representa más de 314 t CO₂ eq de GEI emitidos a la atmósfera en un año.

Si bien la Tabla 1 muestra los valores específicos, la Gráfica 2 permite visualizar los meses en que la HC de alcance 2 (expresada en Kg CO₂eq) de los campus Sede Central y Docente I alcanzaron los mayores valores en 2018: junio, y de septiembre a noviembre, en correspondencia con los consumos eléctricos.



Gráfica 2. Huella de carbono de alcance 2 en Kg CO₂eq por meses de los campus Sede Central y Docente I de la UNISS

Fuente: Elaboración propia a partir de datos aportados por la Oficina de Planificación y Estadística de la UNISS

Dimensionamiento solar fotovoltaico

Datos aportados por el Centro Meteorológico Provincial de Sancti Spíritus permitieron estudiar la característica solar de la zona donde se encuentra la UNISS. Las Figuras 2 y 3 muestran cómo se comporta la irradiación, el índice de claridad y la irradiancia por meses. El promedio de Horas de sol pico (energía por unidad de superficie que se recibiría con una hipotética irradiancia solar constante de 1000 W/m²) para la región de Sancti Spíritus es de aproximadamente 6 kWh/m²/d. Ello quiere decir que durante 6 horas al día los paneles FV proporcionarían su potencia pico, lo que se considera buen rendimiento, según Pérez (2019).



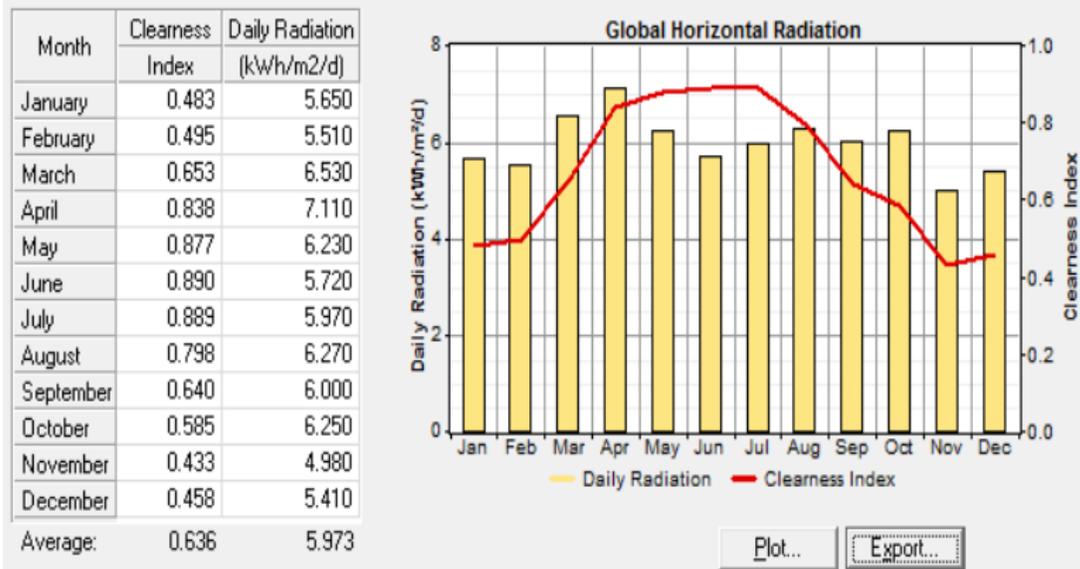


Figura 2. Horas de sol pico (HSP), Índice de claridad

Fuente: Elaboración propia a partir de datos aportados por el Centro Meteorológico Provincial de Sancti Spíritus empleando HOMER Legacy (v2.68 beta)

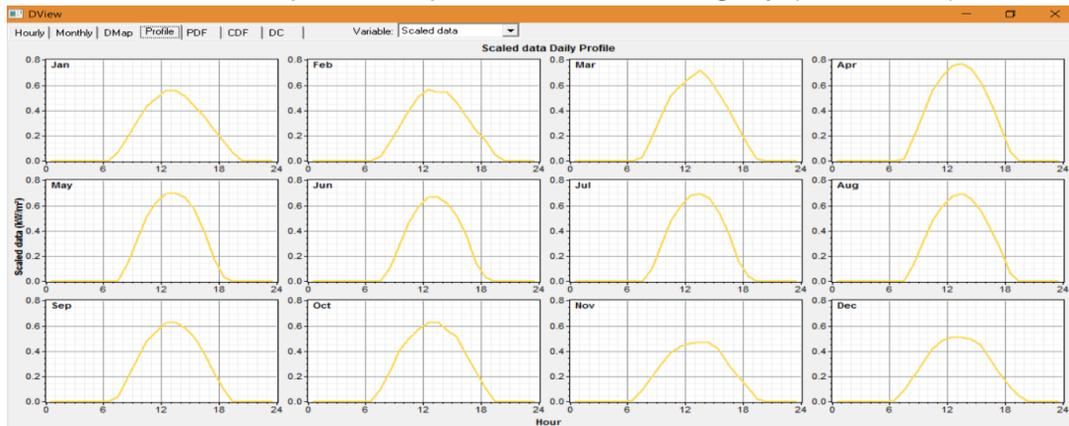


Figura 3. Insolación (Hora de salida del sol y hora de puesta)

Fuente: Elaboración propia a partir de datos aportados por el Centro Meteorológico Provincial de Sancti Spíritus empleando HOMER Legacy (v2.68 beta)

A partir de la característica solar y teniendo en cuenta los altos costos de las baterías y su mantenimiento, para la presente investigación, se seleccionó un diseño FV conectado a la red sin almacenamiento (Figura 4). Los sistemas conectados a la red se componen, fundamentalmente, de



los módulos FV que integran el generador FV, el inversor-regulador que convierte la corriente continua de los paneles en alterna con la frecuencia de red adecuada y la inyecta a la misma, y el contador de energía.

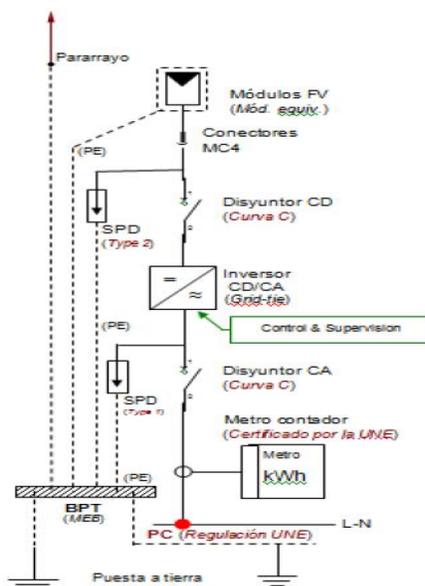


Figura 4. Esquema de un diseño fotovoltaico, conectado a la red sin almacenamiento.

Fuente: Pérez (2019)

Los paneles solares son los principales componentes de los módulos FV. Son dispositivos creados para aprovechar la energía en forma de radiación solar que llega a la Tierra. Los paneles basan la producción de electricidad en lo que se denomina efecto fotoeléctrico, el cual consiste en la producción de voltaje en un material que tenga características semiconductoras mediante la absorción de radiación electromagnética como el haz de luz. Dichos materiales se utilizan para formar lo que se denomina las células FV (Quirós-Vindas, 2015), las que se encapsulan entre materiales que las protegen de los efectos de la intemperie.

Los paneles se asocian eléctricamente en diferentes combinaciones, ya sean en serie o paralelo, o una combinación de ambos, que permiten obtener los valores de corriente y tensión necesarios para una aplicación determinada. Pueden ser: monocristalinos, policristalinos y amorfos o de lámina delgada (Mesa, 2017).

Márgenes publica sus artículos bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



<http://revistas.uniss.edu.cu/index.php/margenes>
margenes@uniss.edu.cu

Los más utilizados en Cuba son los policristalinos ya que es posible aprovechar sus valores de eficiencia dada la irradiancia de la zona geográfica donde se encuentra. Específicamente, son de uso muy común, y por ello seleccionados para esta investigación, los módulos de 265 Wp de potencia máxima, generalmente fabricados en China. Algunas de sus características técnicas son:

- Corriente de cortocircuito del módulo: $I_{sc} = 9,03 \text{ A}$
- Corriente de máxima potencia: $I_{mp} = 8,44 \text{ A}$
- Tensión a circuito abierto: $V_{oc} = 38,6 \text{ V}$
- Tensión de máxima potencia: $V_{mp} = 31,4 \text{ V}$

Para instalaciones FV conectadas a la red en las que los módulos fotovoltaicos van sujetos a una estructura fija, la inclinación de los módulos debe favorecer la máxima producción de energía al año. Según estudios realizados por el Centro Meteorológico Provincial, en la zona donde está ubicada la UNISS los paneles deben estar inclinados al sur con un ángulo de inclinación de aproximadamente 17° .

Para determinar la cantidad necesaria de paneles solares a utilizar de 265 Wp de potencia máxima que cubra la demanda de los campus, se utilizó la Ecuación 2:

$$No \text{ de módulos} = \frac{\text{Energía Necesaria}}{HSP * \text{Rendimiento del sistema} * \text{Potencia del panel}} \quad (2)$$

Para realizar los cálculos se tuvo en cuenta el rendimiento del sistema o rendimiento energético de acuerdo con los siguientes parámetros:

- La dependencia de la eficiencia con la temperatura
- La eficiencia del cableado
- Las pérdidas por dispersión de parámetros y suciedad
- Las pérdidas por errores en el seguimiento del punto de máxima potencia
- La eficiencia energética del inversor
- Otros

A partir de los valores que se mostraron en la Gráfica 1, se definieron los picos de consumo de energía eléctrica de los campus Sede Central y Docente I en 2018, teniendo en cuenta que ese



consumo se comportó de manera similar a los años anteriores, según reportó la Oficina de Planificación y Estadística de la UNISS. Estos valores representan la Energía Necesaria en la Ecuación 2. Así se pudo definir que la cantidad de paneles para cubrir la demanda de la Sede Central es de aproximadamente, 650 y de 200 para el Docente I, o sea, que se necesita un total de 850 paneles policristalinos de 265 Wp para cubrir la demanda de ambos campus.

Luego, con la Ecuación 3, es posible calcular la producción de energía media de los paneles solares por días.

$$E. mg = \frac{W(\text{pico}) * HSP * \eta(\text{total})}{1000W/m^2} \quad (3)$$

Donde E.mg es Energía media generada por día en KWh/d; W (pico) es potencia pico del panel; HSP son las horas de sol pico para la región; y $\eta(\text{total})$ es la eficiencia total del sistema.

Este valor se multiplica por la cantidad de días de cada mes y se obtiene la energía mensual generada por el sistema. La Tabla 2 muestra el consumo del 2018 por meses y la producción prevista para el dimensionamiento calculado.

A partir de estos datos, se elaboraron las Gráficas 3 y 4 que permiten apreciar que si estos campus de la UNISS mantienen un consumo eléctrico similar al del periodo estudiado, con el dimensionamiento calculado es posible suplir la demanda de ambos campus durante las horas de mayor actividad, que coinciden con las HSP de la región, durante casi todo el año. En la noche, los campus se abastecerían del SEN. En el caso del mes de noviembre, al ser el período de menor HSP, índice de claridad e irradiancia, si fuera necesario se consumiría una parte de la corriente eléctrica del SEN en horas del día. De igual manera, el exceso de energía producida durante el día gran parte del año podría aportarse al SEN.

Tabla 2. Consumo por meses (2018) y producción de energía eléctrica (prevista) del sistema fotovoltaico propuesto para la Sede Central y el Docente I de la UNISS

Meses	HSP	Sede Central		Docente I	
		Consumo kWh/d	Producción kWh/d	Consumo KWh/d	Producción KWh/d
Enero	5.65	555.16	681.24	106.80	209.61
Febrero	5.51	603.21	664.36	152.00	204.42
Marzo	6.53	591.58	787.35	143.48	242.26
Abril	7.11	568.6	857.28	140.60	263.78
Mayo	6.23	652.7	751.18	184.77	231.13

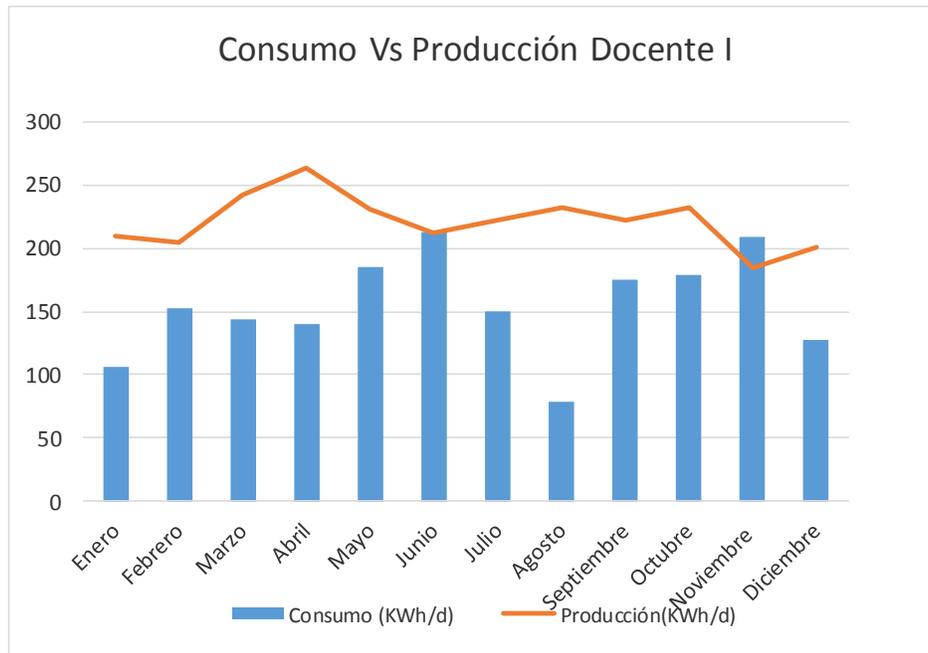
Márgenes publica sus artículos bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



<http://revistas.uniss.edu.cu/index.php/margenes>
margenes@uniss.edu.cu

Junio	5.72	689.06	689.68	212.60	212.21
Julio	5.97	564.87	719.83	150.45	221.48
Agosto	6.27	346.67	756.00	78.16	232.61
Septiembre	6	785.93	723.45	175.03	222.60
Octubre	6.25	774.83	753.59	178.25	231.87
Noviembre	4.98	722.66	600.46	208.93	184.75
Diciembre	5.41	481.06	652.31	127.26	200.71

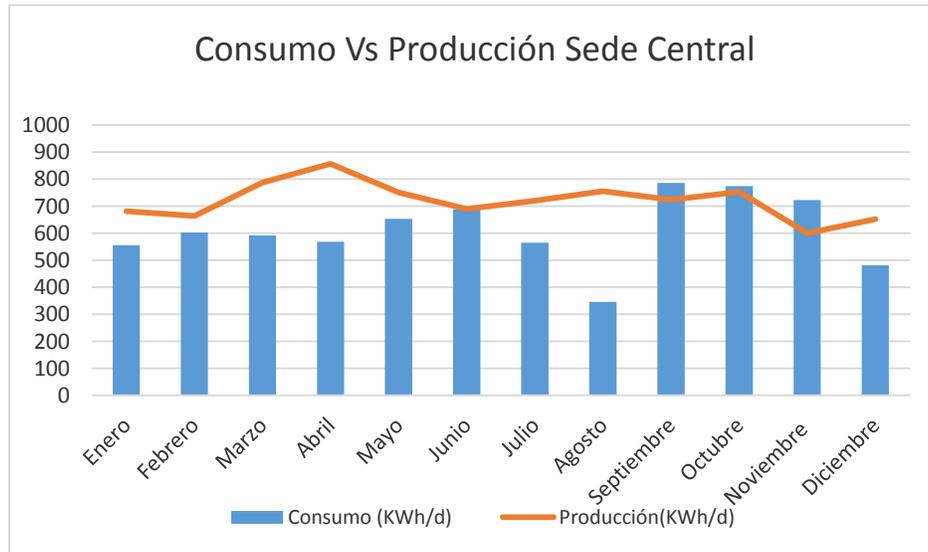
Fuente: Elaboración propia



Gráfica 3. Relación entre el consumo (2018) y la producción de energía (prevista) del sistema fotovoltaico propuesto para la Sede Central

Fuente: Elaboración propia





Gráfica 4. Relación entre el consumo (2018) y la producción de energía eléctrica (prevista) del sistema fotovoltaico propuesto para el Docente I

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

El aumento de los gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera es la principal causa del drástico cambio climático que pone en riesgo la vida en el planeta. La huella de carbono (HC) es un indicador ambiental que expresa la cantidad de GEI que se emiten a la atmósfera por la acción directa o indirecta de un individuo, organización, evento o producto. Para tener conciencia de cuánto la actividad humana influye en el cambio climático, es recomendable el cálculo de la HC de las organizaciones. La investigación realizada permitió calcular la HC de alcance 2 de los campus Sede Central y Docente I de la UNISS en el año 2018. Se demostró que entre ambos campus se emitieron aproximadamente 314 t CO₂ eq de GEI a la atmósfera por concepto de consumo eléctrico.

Para disminuir la emisión de los GEI y por tanto contribuir a la mitigación del cambio climático, se han establecido regulaciones para el desarrollo de las fuentes renovables de energía y el uso eficiente de la energía en Cuba. Específicamente, la energía fotovoltaica posee ventajas que hacen que sea la fuente seleccionada para la propuesta que aquí se presenta.

A partir del análisis de las características solares de la zona, se seleccionó el diseño fotovoltaico y el tipo de panel, y se determinó el número de paneles. Es decir, se calculó el dimensionamiento de una

Márgenes publica sus artículos bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



<http://revistas.uniss.edu.cu/index.php/margenes>
margenes@uniss.edu.cu

instalación solar fotovoltaica sin almacenamiento conectada a la red para cubrir la demanda. Se demostró que, si se mantiene el comportamiento histórico de consumo, con 650 y 200 paneles policristalinos de 265 Wp, se suple la demanda de energía eléctrica de la Sede Central y Docente I, respectivamente. O sea, que se necesitarían 850 paneles con las características antes especificadas.

Para presentar una propuesta más completa del sistema fotovoltaico para estos campus, sería necesario determinar aún algunos de los principales elementos del sistema tales como el inversor-regulador, conectores y sistemas de aterramiento contra descargas eléctricas, pero estas actividades están más allá del alcance de esta investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera, J., & Hontoria, L. (2011). Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos. Recuperado de <https://manuelberaun.files.wordpress.com/2011/12/dimensionado-de-sfv-autonomos.pdf>
- Arrastía Avila, M. A. (2015). Electricidad y emisiones de CO₂. *Energía y Tú*, (70), 21-24.
- Figueredo Reinaldo, O., Fuentes Puebla, T., Doimeadios Guerrero, D. & Romeo Matos, L. (11 de septiembre, 2019). Presidente Díaz-Canel informa medidas coyunturales ante situación energética de Cuba. *Cubadebate*. Recuperado de <http://www.cubadebate.cu/noticias/2019/09/11/presidente-diaz-canel-informa-nuevas-medidas-ante-situacion-energetica-de-cuba/>
- Guerra, L. (2013). *Metodología para el análisis de la huella de carbono a través del análisis de ciclo de vida de sistemas lecheros de Costa Rica*. Recuperado de <http://gamma.catie.ac.cr/ecleds/wp-content/uploads/2013/04/Metodologia-de-HC-LCA140420131.pdf>
- Hsieh, T. & Valderrama, J. O. (2013). Determinación de la Huella del Carbono mediante el Método Compuesto de las Cuentas Contables (MC3) para una Empresa Vitivinícola en Chile. *Información tecnológica*, 24(4), 3-14.
- IHOBE (autor corporativo) (2012). *Guía metodológica para la aplicación de la norma UNE-ISO 14064-1:2006 para el desarrollo de inventarios de gases de efecto invernadero en organizaciones*. Bilbao, España. Ediciones Bilbao.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2006). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*. Recuperado de https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/2_Volume2/V2_4_Ch4_Fugitive_Emissions.pdf
- IPCC (2018). *Special Report. Global Warming of 1.5 °C*. Recuperado de https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/11/pr_181008_P48_spm_es.pdf



- Mesa Lozano, M. (2017). *Electrificación de zonas rurales aisladas en África (Nikki)*. Tesis de grado. Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Ministerio de Educación Superior, (MES) (2016). *Estrategia Ambiental del Ministerio de Educación Superior*.
- Oficina Española de Cambio Climático (OECC) (2016). *Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización*. Madrid, España. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- Pérez Lorenzo, A. (2019). *Tipos de sistemas fotovoltaicos y principios de diseño*. Material de clase. Integración de Sistemas Fotovoltaicos al Diseño de Proyectos Civiles, Industriales y Agroindustriales. Ciego de Ávila, Cuba. Universidad de Ciego de Ávila "Máximo Gómez Báez",
- Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba (CITMA) (2017). *Enfrentamiento al cambio climático en la República de Cuba*. La Habana. Cuba. Recuperado de <https://www.citma.gob.cu>.
- Quirós-Vindas, G. (2015). *Determinación de la huella de carbono y utilización de energía solar en unidades productoras de leche como alternativa al cambio climático en la Región Huetar Norte de Costa Rica*. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Sede Regional San Carlos.
- Rodríguez Buitrago, A. M. & Gutiérrez-Fernández, F. (2017). Reducción de la huella de carbono por medio de la implementación de un sistema fotovoltaico en el sector hotelero. Caso de estudio anaira hostel (Leticia-Amazonas - Colombia). *Revista de Tecnología*, 16, 170.
- Stolik Novygrad, D. (2018). Ventajas y desventajas de la energía fotovoltaica. Bosquejo integral para la aplicación de la FV. *Energía y Tú*, (82), 9-13.
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio (UNFCCC) (2015). *Acuerdo de París sobre el Cambio Climático*. Recuperado de <https://www.exteriores.gob.es>

