

Cálculo de la Huella Ecológica generada por el Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado

Calculation of the Ecological Footprint generated by the National Center of Applied Electromagnetism

Roberto Orlando Menadier-Gainza^{1*} <http://orcid.org/0000-0002-0712-2284>

Siannah María Más-Diego¹ <http://orcid.org/0000-0002-1464-3985>

Ramón Arias-Gilart¹ <http://orcid.org/0000-0003-2050-9712>

Yudith González-Díaz² <https://orcid.org/0000-0003-1240-1146>

¹Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA), Santiago de Cuba, Cuba

²Facultad de Ingeniería Química y Agronomía, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba

*Autor para correspondencia. Correo electrónico: roberto.menadier@uo.edu.cu

RESUMEN

El presente trabajo desarrolló el cálculo de la huella ecológica del Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado, entidad de ciencia adscrita a la Universidad de Oriente, Santiago de Cuba. Las categorías analizadas para realizar los cálculos de las emisiones de CO₂ y de la huella ecológica fueron: Agua, Superficie construida, Consumo de Electricidad, Movilidad, Papel, Residuos sólidos no peligrosos, Residuos peligrosos, Alimentos, Servicios y Producción de Acondicionadores Magnéticos. Se utilizó como base la metodología de Doménech (2009) y la metodología para el cálculo de la huella ecológica en universidades de López Álvarez y colaboradores (2009) de la Oficina de Desarrollo Sostenible, Universidad de Santiago de Compostela. Los resultados obtenidos para el año 2022 reflejan que el Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado necesita un área de bosques de 52,984 ha/año para regenerar los recursos naturales que se demandan por el centro para satisfacer su objeto social. Asimismo, requiere de 89,096 hag estándar mundial para asimilar las emisiones de CO₂ generadas.

Palabras clave: huella ecológica; entidad de ciencia; universidad; gestión ambiental.

ABSTRACT

This work determined the ecological footprint of the National Center for Applied Electromagnetism, a science institution attached at the Universidad de Oriente, Santiago de Cuba. The categories analyzed to carry out the calculations of CO₂ emissions and the ecological footprint were: Water, Built surface, Electricity Consumption, Mobility, Paper, Non-hazardous solid waste, Hazardous waste, Food, Services and Production of Magnetic Conditioners. The methodology of Doménech (2009) and the methodology for calculating the ecological footprint in universities of López Álvarez et al. (2009) of the Sustainable Development Office, University of Santiago de Compostela were used as a basis. The results obtained for the year 2022 reflect that the National Center for Applied Electromagnetism needs an area of 52,984 ha/year of forest to regenerate the natural resources that the center uses for the satisfaction of its social demand. Similarly, it requires 89,096 ha standard forest to assimilate CO₂ emissions.

Keywords: ecological footprint; science institution; university; environmental management.

Recibido: 15/01/2024

Aceptado: 10/04/2024

Introducción

Wackernagel y Rees⁽¹⁾, introdujeron en 1998 el concepto de huella ecológica como un nuevo indicador o aproximación al grado de sostenibilidad de una población. La huella ecológica es uno de los instrumentos aplicados para evaluar el desarrollo sostenible. Es una herramienta contable que permite estimar los requerimientos en términos de consumo de recursos y asimilación de desechos de una determinada población o economía, expresados en áreas de tierra productiva.⁽²⁾

Frente a los retos ambientales, se ha considerado la Huella Ecológica (HE) como una herramienta de contabilidad de recursos que evalúa dos criterios específicos de sostenibilidad.⁽³⁾ Estos criterios son la tasa de uso de recursos renovables de la humanidad en comparación con la capacidad de la Tierra para renovar dichos recursos y la tasa de producción de desechos humanos en comparación con la capacidad de la Tierra para asimilar los desechos.⁽⁴⁾

La capacidad ecológica de la tierra para regenerar los recursos naturales se conoce como HE. Es una herramienta para representar la cantidad de área de tierra productiva que se necesita para regenerar el recurso que consume la población humana. ⁽⁵⁾

La huella ecológica transforma todos los consumos de materiales y energía a hectáreas de terreno productivo (cultivos, pastos, bosques, mar, suelo construido o absorción de CO₂). Es una idea clara y precisa del impacto de las actividades antrópicas sobre el ecosistema. Bajo este punto de vista, es el indicador final porque transforma cualquier tipo de unidad de consumo (toneladas, kilowatts, litros.), así como los desechos producidos, en un número único totalmente significativo. ⁽⁶⁾

La metodología de cálculo de la huella ecológica se basa en la estimación de la superficie necesaria para satisfacer los consumos asociados con la alimentación, los productos forestales, gasto energético y ocupación directa del territorio. La huella ecológica está compuesta de seis usos exclusivos de la superficie bioproductiva del planeta que compiten mutuamente por el espacio biológicamente productivo disponible. Estas categorías se expresan en hectáreas globales estandarizadas y se suman para determinar la HE total de una población. Así, los terrenos productivos que se consideran para el cálculo son: cultivos, pastos, bosques, mar productivo, terreno construido, espacio público y área de absorción de CO₂. ⁽⁷⁾

La HE analiza la sustentabilidad en términos sencillos y comprensibles y utiliza los datos científicos disponibles más confiables; lo que permite a las personas en general, analistas políticos y a los gobiernos medir y manifestar el impacto en los sectores económico, ambiental y de seguridad, originado por el uso que hacemos de los recursos naturales. ⁽⁸⁾ Conocer la HE de cualquier institución ayuda a tomar decisiones ecoeficientes con su entorno, haciendo incluso que mejore la imagen de la institución entre sus propios trabajadores y usuarios. Servirá también para identificar las fuentes de emisión de gases de efecto invernadero y para elaborar planes para reducirlos. Esto se relaciona directamente con la eficiencia y se traduce en un ahorro no solamente de recursos, sino también de los gastos propios de la entidad, como los consumos de agua, electricidad, papel, combustible, y demás. Incluso, permite seleccionar de una manera más inteligente y sostenible, como qué productos comprar,

establecer criterios de compra y contrataciones que reduzcan el impacto ambiental, haciendo mejorar la gestión. ⁽⁹⁾

Es de vital importancia el cálculo de la HE para tener un indicador de sostenibilidad que muestre la realidad del consumo de recursos y que ayude a plantear medidas de ecoeficiencia que permitan ahorrar recursos y asegurarlos para las futuras generaciones. También constituye una herramienta para que las futuras actividades se desarrollen de manera sostenible cumpliendo el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) número 12 que es garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles. ⁽¹⁰⁾

Los centros de investigaciones dentro de las universidades tienen características específicas (pequeñas producciones, servicios científico técnicos, consumo de materiales y reactivos para las investigaciones, menos consumo de electricidad, hojas, combustible, mayor movilidad). Las metodologías para el cálculo de la HE desarrolladas para las universidades deben adecuarse a estas entidades para contar con una herramienta para la toma de decisiones que contribuya a minimizar su impacto negativo en el medio ambiente. A pesar de esto, estos centros sirven como modelo para estudios que se aplican a otras escalas mayores. Son generadores de herramientas para la toma de decisiones en cuanto a la contaminación ambiental, por tanto, deben ser los principales lugares de aplicación de estas metodologías. Cuentan con personal de prestigio social, divulgadores de los resultados de la ciencia, por lo que son espejo de los instrumentos aplicados. Existe una necesidad creciente de investigar acerca del tema del cálculo de la HE en los centros de investigaciones dentro de las universidades cubanas. Es una herramienta que en cierta medida ayuda a analizar la demanda de naturaleza por parte de la humanidad, además de la superficie necesaria para absorber los residuos que se generan debido al consumo de productos, bienes y servicios para satisfacer las necesidades de las personas, por lo que el objetivo de este trabajo es determinar la huella ecológica generada por el Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA) como indicador de sostenibilidad.

Materiales y métodos

Metodología utilizada para el cálculo de la Huella Ecológica

Después de realizar una revisión bibliográfica se decidió usar, como base, la “Metodología para el cálculo de la huella ecológica en universidades”, de la autora Noelia López Álvarez ⁽¹¹⁾ de la Oficina de Desarrollo Sostenible, Universidad de Santiago de Compostela en España y la metodología utilizada por Juan Luis Doménech Quesada⁽⁶⁾ en su trabajo Huella ecológica y desarrollo sostenible. A la misma se le realizaron los ajustes para adaptarla a las condiciones de los centros de investigaciones adscritos a universidades cubanas.

El CNEA es considerado como un sistema dentro del entorno que lo rodea, ya que cuenta con entradas asociadas al consumo de recursos naturales: agua, materiales (construcción de edificios), papel, combustibles fósiles (energía eléctrica, movilidad, transporte), alimentos y salidas (productos, bienes y servicios, producción de residuos, emisiones de CO₂). Para realizar el cálculo se utiliza como base los datos de consumos de recursos naturales, de producción de bienes y servicios y generación de residuos del año 2022.

Para realizar el cálculo de la HE generada por el CNEA para las categorías: consumo de agua, consumo de electricidad, superficie construida, consumo de papel, movilidad y generación de residuos se utilizó la ecuación siguiente:

$$HE \left(\frac{ha}{año} \right) = \frac{Emisiones (ton CO_2)}{C.Fijación \left(\frac{ton CO_2}{\frac{ha}{año}} \right)} + Superficie Edificio \left(\frac{ha}{año} \right) \quad (1)$$

La fijación media de carbono para un terreno forestal cubano, que se acumula en biomasa (viva y muerta) y suelo (tierra vegetal y suelo mineral), se estima en 5,06 t CO₂ /ha/año.⁽¹²⁾ La superficie construida total del CNEA es de 8 984,08 m².

Consumo de agua

Las emisiones están en función de la energía eléctrica requerida por los sistemas de bombeo y tratamiento para conocer la cantidad de combustible requerido en toneladas equivalentes de petróleo (tep) para la generación de

esta energía se utiliza el factor de conversión (Fc), consumo específico en uso final, reportado por el Ministerio de Economía y Planificación de Cuba.

$$F_c = 0,352 \text{ tep/MW-h}$$

Para obtener la cantidad de CO₂ liberado a la atmosfera con la quema de este combustible se utiliza el índice de 3 t de CO₂ por cada tep consumida.

$$\text{tep} = F_c * (\text{consumo energía eléctrica}) \quad (2)$$

$$\text{Emisiones de CO}_2 (\text{consumo de agua}) = \text{tep} * 3 \quad (3)$$

Superficie construida

Para conocer las emisiones anuales se considera que la vida útil de los edificios es de 50 años, ya que es el tiempo estimado que transcurre sin que sea necesario realizar obras de acondicionamiento de envergadura suficiente como para modificar el valor del factor. Según el informe MES ⁽¹³⁾ la generación total de CO₂ de los edificios, es de 475 kg de CO₂ / m² en toda su vida útil, por tanto, para obtener la tasa anual de emisión de CO₂ debido a las edificaciones se divide este valor por 50 (tiempo de vida útil en años) y se obtiene 9,5 kg de CO₂ / m² al año.

$$\text{Índice anual de emisiones edificios} = 9,5 \text{ kg de CO}_2 / \text{m}^2 * \text{año}$$

Energía eléctrica

Se basa en obtener las emisiones debido a la generación de la energía, se procede de forma similar al cálculo del epígrafe consumo de agua, para conocer la cantidad de combustible requerido en tep se utiliza el factor de conversión.

$$F_c = 0,352.$$

Para obtener la cantidad de CO₂ liberado a la atmosfera con la quema de este combustible se utiliza el índice de 3 t de CO₂ por cada tep consumida.

Movilidad

Para evaluar las emisiones de CO₂ debidas a los medios de transporte empleados en el CNEA se tuvo en cuenta las cantidades de combustibles utilizadas anualmente, ya que su uso es exclusivo de las actividades que se desarrollan en el centro, los combustibles utilizados son diésel y gasolina los cuales se van a multiplicar por su respectivo factor de emisión. Según el

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía de España, por cada litro de gasolina consumido, un coche emite en promedio 2,35 kg de CO₂ y por cada litro de diésel, unos 2,68 kg de CO₂.⁽¹⁴⁾

$$\text{Emisiones (kg CO}_2\text{)} = \text{consumo (um)} * \text{Factor de emisión (kg CO}_2\text{/um)} \quad (4)$$

Consumo de papel

El índice de generación de CO₂ por cantidad de papel producido es de 1,84 kg de CO₂ /kg de papel, este índice es utilizado por algunos autores⁽¹²⁾ en la elaboración de la metodología para el cálculo de la huella ecológica en universidades. El cálculo se realiza igual que en el epígrafe Movilidad

Generación de Residuos

Los residuos sólidos urbanos no peligrosos generados en el CNEA fueron: papel, 235 kg; cartón, 7 kg; residuos de comida, 120 kg; residuos de los mantenimientos constructivos, 180 kg. Para la cuantificación de las emisiones de CO₂ se utilizó el factor de emisión dado por la literatura,⁽¹¹⁾ el cual fue de 91,70 kg CO₂/kg de residuo. Por lo tanto solo se multiplicó el total de materiales por el factor de conversión directamente.

Los residuos sólidos peligrosos generados por los trabajadores del Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado fueron: 3 kg tubos fluorescentes, 7 kg equipos electrónicos, 110 kg baterías. No se tuvo en cuenta a la hora de realizar cálculos los desechos biológicos generados por los Laboratorios de Preclínica 1 y 2 ya que estos laboratorios no estaban trabajando en el período analizado. El cálculo se realiza igual que en el epígrafe Movilidad

Factor de emisión para tubos fluorescentes y equipos electrónicos: $1,35 \cdot 10^{-2}$ kg CO₂/kg de residuos.

Factor de emisión para baterías: $4,96 \cdot 10^{-2}$ kg CO₂/kg de residuos

Consumo de alimentos

Para este acápite se tomó en cuenta solamente la comida consumida por los trabajadores dentro del centro, la mayoría de los alimentos de la canasta básica alimentaria y la contabilización de las porciones de cada uno de ellos se

obtuvieron en la Dirección de Economía, expresado en kilogramos, estos se dividen en 2 clases:

- Origen Vegetal: Incluye los siguientes alimentos: frijoles, azúcar, arroz, chícharos
- Origen Animal: Incluye los siguientes alimentos: cerdo, pollo.

Los datos de productividad natural de los alimentos para porciones de tierras de Cuba se obtuvieron del Anuario Estadístico de la Oficina Nacional de Estadística e Información, estos se expresaban en kg/ha. Para realizar este cálculo solo se tiene en cuenta la productividad nacional de los alimentos.

$$HE(\text{alimentos}) = \frac{\text{Consumo}}{\text{Productividad Natural}} * \text{Factor de equivalencia} \quad (5)$$

Cálculo de la huella de los servicios

Según algunos autores, ⁽⁶⁾ detrás de cada servicio consumido existe un consumo de materiales y energía, por lo que su huella también debe ser calculada. Para estimar el consumo energético asociado a los servicios, se asume que una parte de la factura del servicio corresponde al consumo energético. Esta conversión se realiza considerando el precio del combustible fósil.

El cálculo se efectúa de la siguiente forma: se estima que un 2 % del importe total de los servicios de oficina (asesorías, asistencias técnicas, diseño de proyectos, seguros, finanzas, *software*, diseño gráfico), corresponde al gasto energético. Este se pasa a litros de combustible fósil líquido, según el precio del mismo en el momento actual; se pasa a kilogramos multiplicando por 0,8 y, finalmente, de kilogramos a toneladas. (1 litro de combustible pesa 0,8 kg)

El resultado se multiplica por el contenido energético del combustible (43,75 GJ/t), para así obtener el consumo en GJ, y se divide entre la productividad de los combustibles fósiles líquidos (71 GJ/ha/año), para obtener la huella.

Para obtener las emisiones de CO₂ resultantes de los servicios académicos que presta el centro se procede de la siguiente forma: se conoce que un 2 % del importe total de los servicios corresponde al gasto energético, por tanto, se puede calcular la energía eléctrica utilizada para dicha actividad.

Para conocer la cantidad de combustible requerido en toneladas equivalentes de petróleo (tep) para la generación de esta energía se utiliza el factor de

conversión, Fc, consumo específico en uso final, reportado por el Ministerio de Economía y Planificación de Cuba.

$$F_c = 0,352 \text{ tep/MW-h.}$$

Para obtener la cantidad de CO₂ liberado a la atmosfera con la quema de este combustible se utiliza el índice de 3 t de CO₂ por cada tep consumida.

$$HE(\text{servicios}) = \frac{\left(\left(\frac{\text{cons de electricidad} * 0,02}{\text{precio del comb fosil liq}} \right) * \left(\frac{\text{peso(kg)}}{1000} \right) \right) * \text{cont energét}}{\text{Productividad de los combustibles fósiles líquidos}} \quad (6)$$

Cálculo de la huella de Producción de Magnetizadores

Las emisiones de CO₂ están en función de la energía eléctrica requerida para la producción de acondicionadores magnéticos. Según⁽¹⁵⁾ para producir un acondicionador magnético se necesitan 1,16 kW/h, multiplicando este valor por la producción anual de magnetizadores obtenemos el consumo de electricidad. Luego para conocer la cantidad de combustible requerido en toneladas equivalentes de petróleo (tep) para la generación de esta energía se utiliza el factor de conversión, Fc, consumo específico en uso final, reportado por el Ministerio de Economía y Planificación de Cuba.

$$F_c = 0,352 \text{ tep/MW-h.}$$

Para obtener la cantidad de CO₂ liberado a la atmosfera con la quema de este combustible se utiliza el índice de 3 t de CO₂ por cada tep consumida.

$$HE(\text{PM}) = \frac{\left(\left(\frac{\text{PM anual} * 1,16 \text{ kW/h}}{\text{precio del comb fosil liq}} \right) * \left(\frac{\text{peso(kg)}}{1000} \right) \right) * \text{cont energético}}{\text{Productividad de los combustibles fósiles líquidos}} \quad (7)$$

Factores de equivalencia por terrenos productivos

Los factores de equivalencia traducen un tipo específico de uso de la tierra, es decir, tierras de cultivo promedio, pastos, bosques, zonas de pesca en una unidad universal de área biológicamente productiva, una hectárea global (hag). A continuación, en la tabla 1 se muestran los factores de equivalencia por tipos de terrenos productivos.

Tabla1- Factores de equivalencia por terrenos productivos

Categoría de la superficie	Factor de equivalencia
Absorción de CO ₂	1,26
Cultivos	2,51
Pastos	0,46
Bosques	1,26
Terreno Construido	2,51
Mar	0,37

Fuente: Ecological Footprint Atlas 2010⁽¹⁶⁾

Resultados y discusión

Cálculos de las Emisiones de CO₂ generadas por el CNEA.

Consumo de Agua

El CNEA no cuenta con Metrocontador para medir el consumo de agua diario, mensual y anual, ya que se abastece de la acometida hidráulica de la Universidad de Oriente, por lo que se realizó un estudio de estimación de los valores de este consumo. Los valores se estimaron por los índices de consumo de la Resolución 287/2015. Se realizó estudio de la demanda de agua de la entidad para el 2021, arrojando una demanda anual de 1823 m³, cuyo resultado se certificó por la UEB Comercial Empresa de Acueducto y Alcantarillado Santiago de Cuba. El consumo de electricidad para potabilizar y bombear el agua que consumen los trabajadores del CNEA es de 0,32 MWh.

Entonces:

$$\text{tep} = 0,352 \text{ tep/MWh} * 0,32 \text{ MWh}$$

$$\text{tep} = 0,11$$

donde:

tep (toneladas equivalentes de petróleo)

$$\text{Emisiones de CO}_2 \text{ (consumo de agua)} = 0,11 \text{ tep} * 3 \text{ t CO}_2 / \text{tep}$$

$$\text{Emisiones de CO}_2 \text{ (consumo de agua)} = 0,33 \text{ t CO}_2$$

Superficie construida

La entidad ocupa un edificio principal de un nivel con una superficie techada total de 8 984,08 m².

Emisiones de CO₂ Edificios = 8 984,08 m² *9,5 kg de CO₂ / m²

Emisiones de CO₂ Edificios = 85 348,76 kg de CO₂ <>85,349 ton CO₂

Consumo de Electricidad

El consumo de energía eléctrica del CNEA para realizar todas las actividades previstas para el año 2022 fue de 71370 kW.

tep = 0,352 tep/MWh * 71,37MWh

tep = 25,12

Emisiones de CO₂ (consumo de electricidad) = 25,12*3

Emisiones de CO₂ (consumo de electricidad) = 75,36 t CO₂

Movilidad

El consumo de gasolina y diésel del CNEA para realizar todas las actividades previstas para el año 2022 fueron de 5500 L y 1530 L respectivamente.

Cálculo de las emisiones para el consumo anual de combustibles

Emisiones de CO₂ (consumo de gasolina) = 5500 L*2,35 kg CO₂/L

Emisiones de CO₂ (consumo de gasolina) = 12925 kg CO₂ <>12,925 ton CO₂

Emisiones de CO₂ (consumo de diésel) =1530L*2,68kg CO₂/L

Emisiones de CO₂ (consumo de diésel) = 4100,4 kg CO₂ <> 4,1 ton CO₂

Emisiones de CO₂ Total = 17,025 ton CO₂

Consumo de papel

El consumo de papel virgen para la impresión de los documentos de la entidad para el año 2022 fue de 233 resmas. Cada resma pesa 20 lb, y se va a multiplicar por la cantidad de resmas consumidas para obtener el consumo en libras y luego convertir el resultado a kilogramos.

233 resmas * 20lb * 0,460 kg = 2 143,6 kg de papel

Emisiones de CO₂ (consumo de papel) =2 143,6kg de papel*1,84 kg CO₂ /kg de papel

Emisiones de CO₂ (consumo de papel) = 3 944,22 kg CO₂ <>3,944 t CO₂.

Generación de Residuos Sólidos

Emisiones de CO₂ Residuos no peligrosos = 542kg de residuos*91,70 kg CO₂/ kg de residuos

Emisiones de CO₂ Residuos no peligrosos = 49701,4 kg CO₂ <> 49,701t CO₂

Residuos peligrosos

Para calcular las Emisiones de CO₂ generadas por los residuos sólidos peligrosos que se generan en el CNEA se utilizó la ecuación (10), por lo que:

Emisiones de CO₂ Residuos peligrosos = (3kg+7 kg)* 1,35·10⁻² kg CO₂/kg de residuos + 110 kg*4,96·10⁻² kg CO₂/kg de residuos

Emisiones de CO₂ Residuos peligrosos = 5,91 kg CO₂ <> 0,005 t CO₂.

Servicios brindados por el CNEA

Emisiones de CO₂ (Servicios) = (0,352tep/MWh*(71,37 MWh*0,02)* 3t de CO₂/tep)

Emisiones de CO₂ (Servicios) = 1,50 t CO₂

Producción de Acondicionadores Magnéticos

Para el año que se está analizando se produjeron 510 acondicionadores magnéticos.

Emisiones de CO₂ PAM = (Fc*(Prod anual de magnetizadores*0 001 16MWh)*3)

donde:

1,16 KW/h <> 0,001 16MWh

Emisiones de CO₂ PAM = (0,352tep/MWh*(510*0,001 16 MWh)*3t de CO₂/tep)

Emisiones de CO₂ PAM=0,624t CO₂

En la figura 1 se muestran los valores de las emisiones de CO₂ generadas a partir de las actividades que se realizan a diario en el CNEA (consumos de recursos naturales, generación de residuos, producción de acondicionadores magnéticos, además de los servicios que brinda)

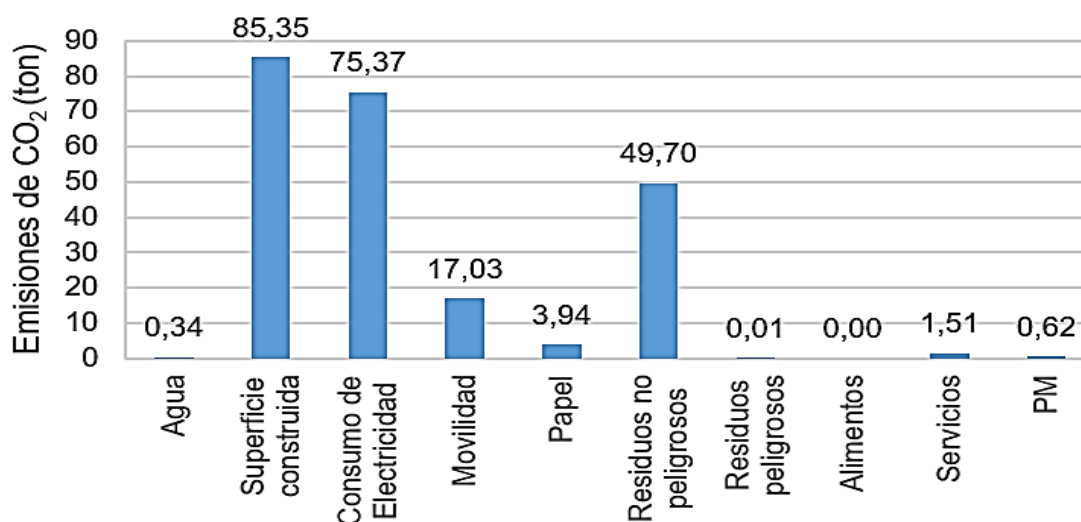


Fig. 1- Emisiones de CO₂ por categorías analizadas

El cálculo de la cantidad de CO₂ emitido a la atmósfera por las actividades que se ejecutan en el CNEA, fue realizada para todas las variables, excepto para la categoría alimento, obteniéndose el resultado directamente en valores de HE (hag/año), este resultado coincide con lo planteado por. ^(17, 18)

El valor total de toneladas de emisiones de CO₂ generados por el CNEA fue de 233,86 t/CO₂ para el año 2022. El total de estas emisiones estuvieron generadas por todas las actividades de investigación y administración que realiza el centro. Las emisiones están asociadas mayormente a la variable superficie construida que se estimó en toneladas anuales, las cuales podrían mejorarse, de manera que prevalezcan materiales amigables con el ambiente. Las categorías consumo de papel, consumo de agua, generación de residuos sólidos peligrosos fueron de las variables que menos emisiones aportaron a la atmosfera en el año 2022, al igual que en otros estudios realizados en varias universidades. ^(9, 17,18,19)

Cálculo de la Huella Ecológica generada por el CNEA

La estimación de HE, fue convertida a hectáreas globales aplicando factores de equivalencia según la categoría de superficie productiva establecido por ⁽¹⁵⁾, permitiendo compararla con las métricas de capacidad biológica. Estos factores de equivalencia se multiplicaron por los datos de HE en hectáreas de cada una de las variables, para transformarlos en hectáreas globales (hag). Los resultados se muestran en la tabla 2

Tabla 2- Huella Ecológica por categorías en hectáreas globales

Categorías	HE (ha/año)	Factor de equivalencia	HE (hag/año)
Agua	0,9650	1,26	1,216
Superficie construida	17,7660	2,51	44,593
Consumo de Electricidad	15,7930	1,26	19,899
Movilidad	5,1610	1,26	6,503
Papel	1,6780	1,26	2,114
Residuos no peligrosos	10,7200	1,26	13,507
Residuos peligrosos	0,8990	1,26	1,133
Alimentos	-	2,51	0,129
Servicios	0,0010	1,26	0,0012
Producción de Acondicionadores Magnéticos	0,0005	1,26	0,00063
Total	52,9840	-	89,096

Fuente: Elaboración propia

Se obtiene como resultado de calcular en el CNEA la HE por categorías 52,984 (ha/año) para el año 2022. Este valor representa el área bioproductiva de superficie tierra necesaria para regenerar los recursos consumidos por los trabajadores del CNEA, así como la necesaria para absorber los residuos que genera, independientemente de la localización de estas áreas. El cálculo de la (HE) por categorías, fue realizada para todas las variables, en el caso de la categoría consumo de alimentos su obtuvo el resultado directamente en valores de HE (hag/año).

Los resultados de la tabla 2 muestran que el CNEA requiere de 89,096 hag de bosque estándar mundial para asimilar las emisiones de CO₂ emitidas en el periodo 2022 según las categorías analizadas. Comparando el terreno en el que el CNEA realiza sus actividades y la HE calculada, se requiere al menos de 52 veces más superficie que la que la organización dispone. Se puede afirmar que el CNEA padece déficit ecológico, la superficie que necesitaría el centro para ser ecológicamente autosuficiente sería aproximadamente de 52 terrenos de fútbol.

En la figura 2 se muestra la contribución de cada categoría a la huella ecológica generada por el CNEA en hectáreas globales (hag).

Las mayores contribuciones a la huella ecológica son de la superficie construida, el consumo de electricidad y los residuos no peligrosos.

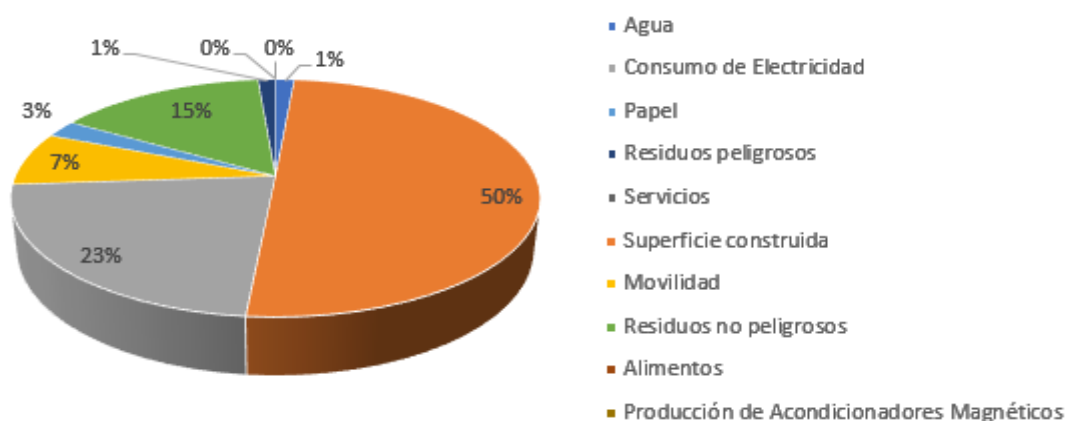


Fig. 2- Composición de la Huella ecológica del CNEA en hectáreas globales

Es necesario estimar la HE por miembro del centro de trabajo. Para ello se consideró la cantidad total de personas (investigadores, especialistas y administrativos) que integraron la entidad en el año 2022, (88 personas). Con este valor se obtuvo la HE del CNEA, que es 0,60 ha/persona/año o 1,01 hag/persona/año. De acuerdo al resultado obtenido por persona, en el año 2022, un trabajador del Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado requirió de 1,01 hag/persona/año de terreno productivo global de bosque para asimilar las emisiones de CO₂ a la atmósfera debido a las actividades según las categorías analizadas anteriormente.

Conclusiones

Las categorías analizadas para realizar los cálculos de las emisiones de CO₂ y de la huella ecológica fueron: Agua, Superficie construida, Consumo de Electricidad, Movilidad, Papel, Residuos sólidos no peligrosos, Residuos peligrosos, Alimentos, Servicios y Producción de Acondicionadores Magnéticos. Las emisiones de CO₂ generadas por el CNEA según las categorías analizadas fueron de 233,86 t CO₂. Además, se necesita un área de 52,984 ha/año de bosque para regenerar los recursos naturales que necesitan los trabajadores del centro para satisfacer su objeto social. Asimismo, se requiere de 89,096 hag de bosque estándar mundial para asimilar las emisiones de CO₂. Un trabajador del CNEA requirió de 1,01 hag de terreno productivo global de bosque para asimilar las emisiones de CO₂ generadas a partir de las actividades que realiza según las categorías analizadas.

Referencias bibliográficas

1. WACKERNAGEL, M. ; REES, W. *Our ecological footprint: reducing human impact on the earth*. New society publishers, 1998. ISBN 086571312X.
2. GUERRA, J. ; RINCÓN, I. Cálculo de la huella ecológica. Campus de la Universidad Central de Venezuela. *Revista Luna Azul (On Line)*. 2018, (46), pp: 3-19. ISSN: 1909-2474. [Consultado 1 febrero 2023]. Disponible en: <https://revistasojs.ucaldas.edu.co/index.php/lunazul/article/view/3104>
3. GONZÁLEZ-DIAZ, Yudith; RODRIGUEZ-GARCÍA, Ambar Esperanza; MATOS-DOMÍNGUEZ, Yilian. Cálculo de la huella ecológica corporativa en la molinera “Frank Pais Garcia”. *Tecnología Química*, 2021, **41**(1), p. 5-21. [Consultado 1 marzo 2023]. Disponible en: <https://tecnologiaquimica.uo.edu.co/index.php/tq/article/view/5176>
4. GALLI, A.; IHA, K.; PIRES, S. M.; MANCINI, M. S., et al. Assessing the ecological footprint and biocapacity of Portuguese cities: Critical results for environmental awareness and local management. *Cities*. 2020, **96**, pp: 102442. ISSN: 0264-2751. [Consultado 10 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264275119302306>
5. PACHECO, A. M.; PORRAS, I. D. ; RODRÍGUEZ, D. A. Dispositivo para la clasificación de residuos sólidos y medición de huella ecológica. *Revista Habitus: Semilleros de investigación*. 2021, **1** (2), pp: e12181-e12181. ISSN: 2745-2166. [Consultado 5 marzo 2023]. Disponible en: https://revistas.uptc.edu.co/index.php/semilleros_investigacion/article/view/12181
6. QUESADA, J. L. D. *Huella ecológica y desarrollo sostenible*. Asociación Española de normalización y Certificación. España: Asociación Española de normalización y Certificación, 2009. 407 p. ISBN 978-84-8143-222-0.
7. ACUÑA, I. T. Huella ecológica y biocapacidad: Indicadores biofísicos para la gestión ambiental. El caso de Manizales, Colombia. *Revista Luna Azul (On Line)*. 2008, **26**, pp: 120-136. ISSN: 1909-2474. [Consultado 15 marzo 2023]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S190924742008000100008&script=sci_arttext
8. CASTILLO, R. M. Algunos aspectos de la huella ecológica. *Intersedes: Revista de las sedes regionales*. 2007, **8** (14), pp: 11-25. ISSN: 2215-2458. [Consultado 19 marzo 2023]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/666/66615071002.pdf>
9. PELLEGRINO, L. A. *Cálculo de la huella ecológica de la Facultad de Artes, Diseño y Ciencias de la Cultura*. Tesis en opción al grado de Máster en Ecología, Ambiente, Universidad Nacional del Nordeste, Argentina, 2023. [Consultado 1 octubre 2023]. Disponible en: <https://repositorio.unne.edu.ar/handle/123456789/51788>

10. JAIMES GUTIERREZ, L. L. *Estimación de la huella ecológica de la Universidad Peruana Unión*. Tesis en opción al grado de Máster en Desarrollo Ambiental, Universidad Peruana de Unión, Perú, 2019. [Consultado 9 marzo 2023]. Disponible en: <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/14862>
11. LOPEZ-ALVAREZ, N. ; BLANCO-HERAS, D. Metodología para el Cálculo de la huella ecológica en universidades. En: *Congreso Nacional del Medio ambiente, Cumbre del Desarrollo Sostenible, Madrid*. 2008. [Consultado 1 marzo 2023]. Disponible en: http://www.premioconama.org/conama9/download/files/CTs/987984792_NL%F3pezpdf
12. MANSO, R. Resultado de la estimación de la captura de carbón en Cuba entre los años 1989 y 1997. En: *Simposio internacional de medición y monitoreo de la captura de en ecosistemas forestales*. Valdivia, Chile, 2001.
13. CUCHI, A. ; LÓPEZ, I. Informe Mies. *Una aproximació a l'impacte ambiental de l'Escola d'Arquitectura del Vallès*. Bases para una política ambiental a l'ETSAV, Universidad Politécnica de Cataluña con el apoyo del Departamento de Medio Ambiente de la Generalitat de Cataluña. 1999. ISBN: 84-7653-870-7.
14. IDAE, Instituto para la Diversificación y ahorro de la Energía. Consumo y emisiones de CO₂. En. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2023. [Consultado 2 marzo 2023]. Disponible en: <https://coches.idae.es/consumo-de-carburante-y-emisiones>
15. CONDE-GARCÍA, R. E.; BERENQUER-UNGARO, M. R.; RODRÍGUEZ-CLAVIJO, Y. ; RUIZ-CARRIÓN, U. Evaluación del tratamiento magnético en los sistemas ingenieros del hotel Villa San Juan a partir de la huella de carbono. *Ciencia en su PC*. 2021, **1** (4), pp: 87-101. ISSN: 1027-2887. [Consultado 10 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/1813/181371071017/181371071017.pdf>
16. ATLAS, E. F. Global footprint network. [Consultado 2 marzo 2023]. Disponible en: http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/ecological_footprint_atlas_2010 .
17. SALCEDO, B. P. C. ; RIVERA, C. V. Evaluación de la huella ecológica y su relación con la capacidad biológica en el campuspuerta roja de la universidad de Sucre–Colombia. *Revista de Investigación en Gestión Industrial, Ambiental, Seguridad y Salud en el Trabajo-GISST*. 2022, **8** (1), pp: 1-24. ISSN: 2711-2934. [Consultado 20 marzo 2023]. Disponible en: <https://revistaseidec.com/index.php/GISST/article/download/422/367>
18. LEIVA-MAS, J.; RODRÍGUEZ-RICO, I. ; QUINTANA-PÉREZ, C. Cálculo de la huella ecológica de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. *Tecnología*

Química. 2011, **31** (1), pp: 47-52. ISSN: 2224-6185. [Consultado 2 marzo 2023].

Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/4455/445543772006.pdf>

19. PARRA, G.; CHECA, M.; MESA-BARRIONUEVO, C. R.; RUIZ-REYES, N.; GUERRERO, F. Evaluación de la huella ecológica en la Universidad de Jaén, una herramienta para la gestión sostenible. *Observatorio Medioambiental*. 2018, **21**, pp: 233. ISSN: 1139-1987. [Consultado 10 febrero 2023]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/162287974.pdf>

Conflicto de interés

Los autores declaran que no hay conflictos de intereses

Contribución de los autores

Roberto Orlando Menadier-Gainza: contribuyó con la idea, la adaptación de la metodología empleada y en la realización de los cálculos, al análisis e interpretación de datos. Además, en la revisión y aprobación de la versión final. Trabajó en la redacción del borrador del artículo y en la revisión crítica de su contenido.

Siannah María Más-Diego: contribuyó con la idea, la adaptación de la metodología empleada y al análisis e interpretación de datos. Además, en la revisión y aprobación de la versión final.

Ramón Arias-Gilart: contribuyó con la idea, la adaptación de la metodología empleada y al análisis e interpretación de datos. Además, en la revisión y aprobación de la versión final.

Yudith González-Díaz: contribuyó con la idea, la adaptación de la metodología empleada y al análisis e interpretación de datos. Además, en la revisión y aprobación de la versión final.