

Análisis de la huella de carbono de la ETSIT de la UPM y propuesta de mejora basada en datos de la plataforma IoT Smart CEI Moncloa

Ramón Inarejos¹, Ana Rodríguez¹, Gregorio López¹, Manuel Alvarez-Campana¹,
Carmen Avilés¹

¹ Universidad Politécnica de Madrid, Calle Ramiro de Maeztu, 7, 28040 Madrid

Resumen. La situación ambiental actual es una de las principales responsables de la búsqueda de nuevas tecnologías más eficientes, de la adopción de medidas para reducir el consumo de recursos y del desarrollo de herramientas para estudiar el impacto medioambiental que provoca la actividad humana, entre otras muchas acciones. La Universidad juega un papel importante en este ámbito ya que puede tanto investigar en cómo reducir el impacto medioambiental de las organizaciones como formar a nuevos profesionales proporcionándoles herramientas para hacerlo. Además, las TIC, en general, y el IoT y las técnicas de *Big Data*, en particular, pueden ser de gran utilidad en este sentido.

Este artículo presenta un estudio de la problemática ambiental en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación (ETSIT) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), a través de la herramienta de gestión ambiental conocida como huella de carbono. Dicho estudio se ha llevado a cabo en colaboración con la Subdirección de Asuntos Económicos e Infraestructuras de la Escuela, para obtener información relativa a consumos eléctricos y de gas, y en base a la Norma ISO 14064 y a la guía proporcionada por MAPAMA.

El artículo propone además cómo reducir el consumo eléctrico y, por tanto, la huella de carbono, de una zona en concreto de la ETSIT cambiando la tecnología de iluminación y controlando que la luz esté encendida sólo cuando haga falta en base a los datos de luminosidad y presencia recolectados por la plataforma IoT Smart CEI Moncloa, obteniendo una reducción superior al 90%.

Palabras clave: Factores de emisión, Gases de Efecto Invernadero, Huella de Carbono, Internet de las Cosas, Redes de sensores, Sostenibilidad, Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.

1 Introducción

La situación ambiental actual es una de las principales responsables de la búsqueda de nuevas tecnologías más eficientes, de la adopción de medidas para reducir el consumo de recursos y del desarrollo de herramientas para estudiar el impacto medioambiental que provoca la actividad humana, entre otras muchas acciones. La Universidad como institución está llamada a jugar un papel importante en este ámbito por varios motivos:

por su responsabilidad social, por su capacidad investigadora y por su capacidad formadora. Además, las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), en general, y el Internet de las Cosas (IoT) y las técnicas de *Big Data*, en particular, presentan un gran potencial para este tipo de aplicaciones que aún no ha sido explorado suficientemente.

El objetivo de este artículo es presentar el estudio de la huella de carbono realizado para la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación (ETSIT) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) en la anualidad 2017 e ilustrar cómo se puede reducir utilizando para ello datos de una plataforma IoT.

El resto del artículo se estructura de la siguiente manera. La sección 2 presenta una breve revisión bibliográfica sobre el cambio climático y la huella de carbono en la Universidad, así como sobre normativas y metodologías para el cálculo de la huella de carbono. La sección 3 presenta el cálculo de la huella de carbono realizado para la ETSIT en la anualidad 2017. La sección 4 propone cómo reducir el consumo eléctrico y, por tanto, la huella de carbono, de una zona en concreto de la ETSIT cambiando la tecnología de iluminación y controlando que la luz esté encendida sólo cuando haga falta en base a los datos de luminosidad y presencia recolectados por la plataforma IoT Smart CEI Moncloa [1]. Por último, la sección 5 concluye el artículo y destaca algunas líneas de trabajo futuro.

2 Contexto y antecedentes

Antes de profundizar en la cuantificación de la huella de carbono de la ETSIT, se considera conveniente hacer una breve revisión bibliográfica sobre el cambio climático y la huella de carbono en la Universidad, así como de las normativas y metodologías para su cálculo.

2.1 Cambio climático y Universidad

El cambio climático es un fenómeno real que ha sido provocado por el incremento de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la atmósfera debido a las actividades de origen antrópico [2]. Este incremento de GEI tiene una consecuencia directa: el aumento de temperatura media terrestre (Fig. 1).

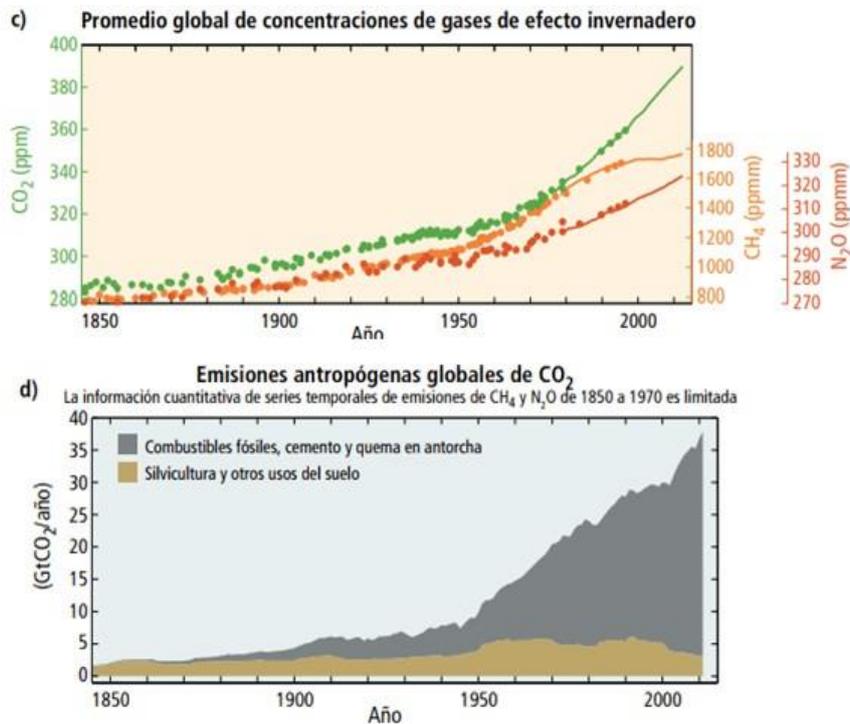


Fig. 1. Evolución de emisiones desde 1850 [2]

Este problema ambiental se ha convertido en un reto para la humanidad. Según el informe de *World Economics Forum*, el cambio climático se encuentra dentro de los cinco riesgos más importantes para el desarrollo de las actividades económicas, tanto en términos de probabilidad como de impacto [3].

Por tanto, es un problema que necesita de medidas gubernamentales y empresariales para poder combatirlo. El punto de inflexión de este compromiso gubernamental es el Protocolo de Kioto desarrollado por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, que entra en vigor en 2005. La meta era reducir las emisiones con respecto de las emisiones de 1990 de los seis GEI: dióxido de carbono (CO₂), gas metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆). En la actualidad, el contrato más destacado es el compromiso adquirido en la Cumbre de París en el año 2017 donde todos los países miembros han asumido compromisos para la reducción de emisiones de GEI. Por otro lado, es necesario resaltar la incorporación exclusiva del cambio climático en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), concretamente en el objetivo número 13 “Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos” [4].

La Universidad no puede ser ajena a esta situación porque es una organización cuyas actividades tienen un impacto socio-ambiental muy alto y tiene el compromiso con la sociedad para construir sistemas sostenibles y con el menor impacto posible. Sus acti-

vidades principales son la docencia y la investigación, por lo que pueden aportar formación en materia de sostenibilidad y cambio climático y realizar proyectos e iniciativas para incorporar este problema ambiental en sus sistemas de gestión [5].

A nivel internacional, la referencia sobre la implementación del cambio climático en la gestión de las Universidades se encuentra en el ranking *UI GreenMetric*, que comienza su desarrollo en el año 2010 y tiene el objetivo de conocer el grado de implementación de la sostenibilidad en las estrategias universitarias y su gestión. El objetivo es reducir o eliminar los impactos ambientales producidos por las actividades de la Universidad para crear Universidades Sostenibles [6].

La incorporación de la sensibilización sobre el cambio climático en las Universidades españolas comienza en el año 2004 cuando la Conferencia de Rectores de las Universidades Españolas (CRUE) decide crear un grupo de trabajo sobre calidad ambiental y desarrollo sostenible, que tiene el objetivo de fomentar las actuaciones en el marco de la sostenibilidad en las Universidades españolas [7]. En la actualidad este grupo de trabajo se constituye como Comisión Sectorial CRUE-Sostenibilidad, donde el cambio climático tiene un papel fundamental y transversal en las distintas líneas de trabajo que se encuentran en desarrollo [8].

Por otro lado, existe el Programa Campus de Excelencia Internacional (CEI) donde se encuentra la Estrategia Universitaria 2015 (EU 2015). El objetivo del desarrollo de estas estrategias es modernizar la Universidad española mediante la integración de las mismas con otras instituciones para crear campus donde la vida universitaria se integre en su distrito urbano o territorio para ofrecer servicios de alta calidad y mejorar la sostenibilidad ambiental [9]. La EU 2015 tiene un claro compromiso con la responsabilidad social universitaria y el desarrollo sostenible de nuestro sistema universitario, así como con la contribución del mismo a la sostenibilidad social, económica y medioambiental [10]. En esta situación, el cambio climático es un impacto ambiental a tener cuenta para conseguir implementar el desarrollo sostenible y encontrar el equilibrio de las tres dimensiones de la sostenibilidad desde una perspectiva holística.

Indicadores de sostenibilidad para el cambio climático en la Universidad: Huella de carbono

El indicador de sostenibilidad que nos permite obtener una medida cuantificable, comparable y robusta de las emisiones de GEI y la contribución de las actividades humanas en el cambio climático es el indicador “huella de carbono” (HC). Este indicador representa la cantidad de GEI emitida a la atmósfera derivada de las actividades de producción o consumo de bienes y servicios [11] y se consolida en un inventario de GEI que incluye tanto las emisiones directas como indirectas de una organización, clasificadas por alcances (Fig. 2), así como sus sumideros de GEI.

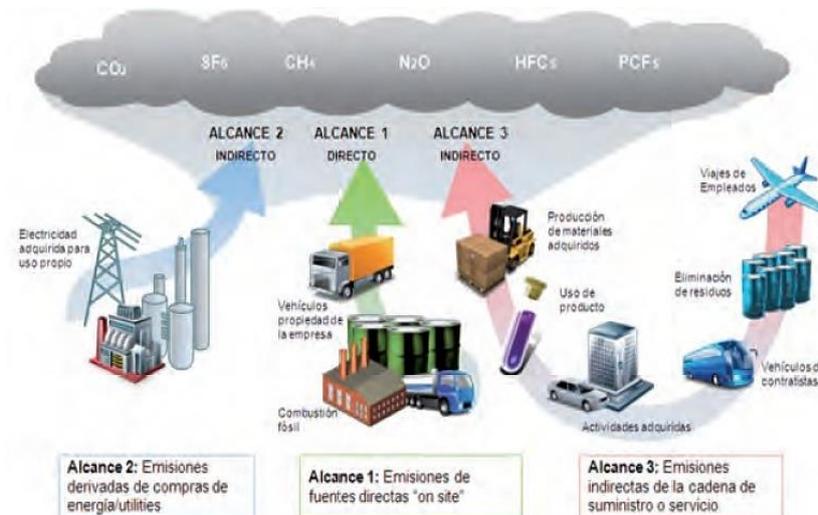


Fig. 2. Emisiones directas e indirectas de GEI clasificadas por alcance [12]

La HC se ha convertido en una de las herramientas más importantes de que disponen las organizaciones para cuantificar las emisiones de GEI y valorar así el impacto que genera la realización de su actividad sobre el medio ambiente y su contribución al proceso de cambio climático [13]. Permite establecer una relación entre la actividad productiva de una empresa, organización, entidad, producto, servicio o ciudadano y las emisiones de GEI generadas [11].

Cambio climático y huella de carbono en la Universidad Politécnica de Madrid

En este contexto, la UPM, junto con la Universidad Complutense de Madrid, forma parte del Campus de Excelencia Internacional Moncloa, con el objetivo de transformar de modo sostenible el Campus de Moncloa en un referente internacional en investigación, formación e innovación. Así, el Campus de Moncloa se autodefine como un campus sostenible, saludable y socialmente responsable [14].

Es por ello que la UPM ha desarrollado una serie de acciones para el desarrollo de una estrategia de sostenibilidad. Entre ella se encuentra el Plan de Sostenibilidad Ambiental y el Proyecto "Responsables, Sostenibles, Universitarios" (RES2+U), financiado por la Convocatoria de Acciones para Contribuir al cumplimiento de los ODS 2018, ambos promovidos por el Vicerrectorado de Calidad y Eficiencia de la UPM.

El objetivo es conocer la situación de la UPM en temas de sostenibilidad y concretamente conocer el impacto ambiental de sus actividades y su contribución al cambio climático. Por ello, la UPM ha decidido continuar con el Proyecto de Cuantificación de la Huella de Carbono iniciado en el año 2013 por el Equipo de Huella de Carbono Montes-UPM. Este hecho fue un hito para la UPM porque pudo registrar su HC en el Registro de Huella de Carbono y Proyectos de Reducción de Emisiones de Gases de

Efecto Invernadero de la Oficina Española de Cambio Climático (OECC), lo que permitió obtener el Sello “Cálculo 2013” y convertirse en la primera Universidad Pública en formar parte de esta iniciativa del Ministerio para la Transición Ecológica. De esta manera, la UPM se posiciona como referente en tema de cambio climático y desarrolla un plan de reducción de emisiones de GEI. El próximo paso es conocer la evolución de la HC para el periodo 2014-2016 para comprobar la efectividad de las medidas de reducción.

2.2 Metodologías de cuantificación de huella de carbono de organización

El indicador huella de carbono adquiere gran popularidad debido a su capacidad para valorar la contribución de las organizaciones al calentamiento global y la identificación de las fuentes de emisión y el grado de eficiencia de los recursos que generan dichas emisiones [15]. Esta situación contribuye a la existencia de dos enfoques para cuantificar la huella de carbono: enfoque de organización y enfoque de producto. La primera consiste en la recopilación de datos de consumo de la entidad y la segunda está basada en el análisis de ciclo de vida [16].

Debido a que el objeto de estudio son las Universidades, el enfoque más apropiado para cuantificar las emisiones de GEI es mediante el enfoque de organización. En este enfoque existen varias metodologías, agrupadas por la Comisión Europea [17] según se muestra en la Tabla 1.

Es importante señalar que los consensos parecen aglutinarse en torno a las normas aprobadas por la Organización Internacional de Normalización (ISO). En concreto, en lo relacionado a la organización, la Norma UNE-EN ISO 14064-1 y el informe técnico UNE-EN ISO/TR 14069:2015, que desarrolla una guía para la aplicación de la ISO 14064-1 [18].

Descripción de la Norma UNE-EN ISO 14064 y el Informe Técnico UNE-EN ISO/TR 14069

La Norma ISO 14064 es una norma internacional elaborada por la ISO en el año 2006. Está estructurada en 3 partes y contiene un conjunto de criterios para la contabilización y verificación de GEI. La Norma UNE-EN ISO 14064-1 establece los requisitos para establecer los límites de las emisiones de GEI, cuantificar las emisiones de GEI de la organización e identificar las actividades o acciones específicas para mejorar la gestión de los GEI. La Norma UNE-EN ISO 14064-2 se centra en proyectos para reducir las emisiones de GEI y la norma UNE-EN ISO 14064-3 consta de los principios y requisitos para desarrollar el proceso de verificación de los inventarios de GEI y de los proyectos de reducción [16].

En el año 2013 aparece el Informe Técnico que usa los principios y procesos de la Norma UNE-EN ISO 14064-1 para la cuantificación de las emisiones de GEI en las organizaciones [18]. El objetivo de este Informe es guiar a los usuarios en la aplicación de la Norma UNE-EN ISO 14064-1, usando pautas y ejemplos basándose en criterios de transparencia para cuantificación de emisiones y elaboración de informes [18].

Tabla 1. Metodologías de Cálculo de Huella de Carbono de Organización más importantes.

METODOLOGÍAS/INICIATIVAS	PAÍS/ REGIÓN	OBLIGACION
CARBON DISCLOSURE PROJECT	mundial	voluntario
WBCSD/WRI Y WBCSD GHG PROTOCOL	mundial	voluntario
PAS 2060	mundial	voluntario
ISO 14064:2006 (PARTES 1 A 3)	mundial	voluntario
ISO/TR 14069:2013	mundial	voluntario
WBCSD/WRI Y WBCSDGHG PROTOCOL SCOPE 3 REPORTING STANDARD	mundial	voluntario
FRENCH BILAN CARBONE	Europa	voluntario hasta 2011
DEFRA COMPANY GHG GUIDANCE	Europa	voluntario hasta 2011
UK CARBON REDUCTION	Europa	obligatorio
US EPA CLIMATE LEADERS	mundial	voluntario
US GHG PROTOCOL PUBLIC SECTOR	mundial	voluntario

Fuente: Elaboración propia y Comisión Europea, 2010

La norma UNE-EN ISO 14064 supone un beneficio para las organizaciones, ya que proporciona claridad, transparencia y coherencia para la cuantificación, el seguimiento, el informe, la validación o verificación de los proyectos e inventarios de GEI. Además facilita el desarrollo de estrategias, planes de gestión de GEI y la posibilidad de un seguimiento posterior de los mismos.

Proceso de cuantificación de la huella de carbono en la Universidad Politécnica de Madrid

Para la cuantificación de la HC de la UPM, se decide aplicar las directrices propuestas en la Norma UNE EN ISO 14064-1, donde se establecen los requisitos y orientaciones que las organizaciones deben seguir para instaurar los límites de emisiones de GEI, cuantificar las emisiones e identificar las actividades o acciones que los generan. También establece orientaciones sobre la gestión de la calidad del inventario, el informe de GEI, la auditoría interna y las responsabilidades de la organización en las actividades de verificación [19].

Para cumplir con las especificaciones de cuantificación de emisiones de GEI y principios de la Norma UNE-EN ISO 14064- 1 y UNE-EN ISO/TR 14069, la UPM sigue el procedimiento de cuantificación de emisiones de GEI desarrollado por el Equipo de Huella de Carbono Montes-UPM, mostrado en la Fig. 3.

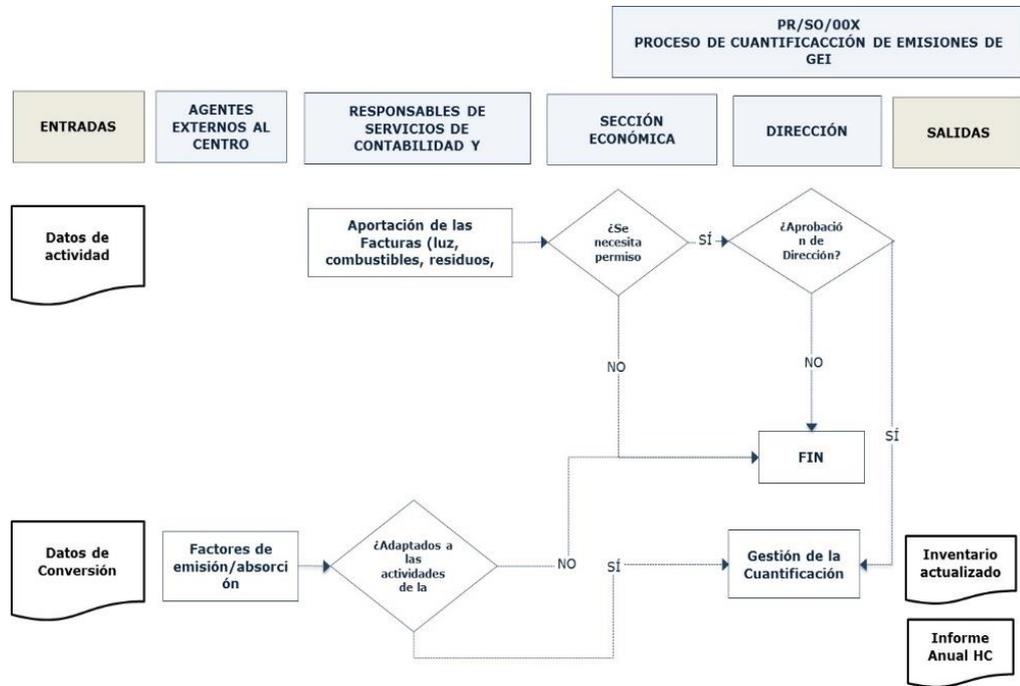


Fig. 3. Proceso de cuantificación de la huella de carbono en la UPM [20]

Según la Norma UNE-EN ISO 14064-1, las emisiones de GEI se obtendrán multiplicando los datos de actividad recopilados por factores de emisión de GEI seleccionados (Ecuación 1):

$$Emisiones (kg CO_2) = Consumos (un) * Factor de emisión \left(\frac{kg CO_2}{un} \right) \quad (1)$$

Donde (un), indica las unidades de cada consumo considerado.

El resultado de esta ecuación son las emisiones de GEI de cada consumo o actividad considerada en el inventario, expresado en kilos de CO₂ equivalente (kg CO_{2e}). Ésta es la unidad de medida aceptada para determinar, de forma conjunta, el impacto que genera cada gas de efecto invernadero que emitimos a la atmósfera en el desarrollo de las actividades productivas, independientemente de cuál sea su objetivo final, un producto o un servicio.

3 Estudio de la huella de carbono de la ETSIT para la anualidad 2017

Para el cálculo de la huella de carbono de la ETSIT UPM se ha seguido la Norma ISO 14064, presentada en la sección 2.2.

En primer lugar es necesario establecer los límites organizativos del estudio: temporal, espacial y socioeconómico. El límite temporal del estudio es el año 2017. Respecto al límite espacial, el cálculo se realiza sobre la superficie construida a 31/12/2016, que es de 44.020,16 m², comprendido los 4 edificios de los que consta la Escuela [21]. Respecto a los límites socioeconómicos, se tiene en cuenta la población universitaria, que en el curso académico 2015-2016 constaba de 2654 alumnos, 269 PDI y 134 PAS, lo que supone un total de 3057 personas [22]. Concretamente, para el estudio realizado se ha considerado que todas las categorías indicadas tienen la misma contribución y responsabilidad en la huella de carbono, ya que es difícil distinguir el límite de la aportación de cada una de ellas.

Como se ha visto anteriormente, es necesario identificar las emisiones y clasificarlas por alcances. Según la Norma ISO 14064:1 los Alcances 1 y 2 son definidos con exactitud y de obligada contabilidad. Sin embargo, la inclusión de las emisiones de Alcance 3 es opcional para los inventarios de GEI. Por lo tanto, las emisiones consideradas en este estudio se clasifican de la siguiente manera:

- Alcance 1: emisiones directas de GEI. En este apartado se incluyen las emisiones derivadas del consumo de combustibles en instalaciones fijas o móviles dentro de los límites de la organización.
- Alcance 2: emisiones indirectas de GEI. Emisiones derivadas de la adquisición y consumo de energía en la organización pero producidas físicamente fuera de los límites de la misma. En nuestro caso, provenientes del consumo eléctrico.

Se han utilizado los datos disponibles para cada una de las actividades analizadas, si bien la base metodológica general para calcular las emisiones que se derivan de estas actividades es siempre la misma y consiste en aplicar la Ecuación 1, tal y como figura en la “Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora de las organizaciones” publicada por el MAPAMA [23].

La Tabla 2 resume el cálculo de la huella de carbono realizado, mostrando tanto los valores por alcance como la suma de los dos alcances considerados.

El dato proporcionado por la suministradora del servicio de gas natural a la Administración de la ETSIT ha sido para la anualidad 2017 de 118.634 M³. Dado que el gas natural tiene un factor de conversión de 11,70 KWH/M³, el consumo de la ETSIT referente a gas natural para el año 2017 ha sido de 1.388.023,65 KW/h. El factor de emisión considerado para el gas natural procede del MAPAMA y es 0,203 Kg CO₂/KWH.

El consumo eléctrico en la ETSIT se debe principalmente a alumbrado, climatización y equipamientos. La información relativa al consumo de electricidad aportada por la Administración de la ETSIT ha sido para la anualidad 2017 de 3.901.418 KW/h. El factor de emisión utilizado ha sido el que ha aportado el suministrador del servicio y es 0,35 Kg CO₂ /KWh

Tabla 2. Resumen de la huella de carbono de la ETSIT para la anualidad 2017

Alcance	Fuente emisión	Dato 2017 (KW/h)	Factor emisión (Kg CO ₂ /KWh)	HC (tCO ₂)
Alcance 1	Gas natural	1.388.023,65	0,203	281,77
Alcance 2	Energía eléctrica	3.901.418	0,35	1365,49
Alcance 1 + 2				1647,26

Se observa que el impacto en la huella de carbono de la ETSIT que tiene el consumo eléctrico es muy superior al del consumo de gas. Es interesante también comparar los resultados obtenidos con los obtenidos en el estudio realizado por la ETSMFMN (Escuela pionera en actuaciones para mejorar el entorno y mitigar el cambio climático que fue la primera en obtener el Sello Calculo-Reduzco del Registro de Huella de Carbono del MAPAMA) en 2014. En dicho estudio se obtuvo que la huella de carbono de la ETSMFMN para los alcances 1 +2 en 2014 fue de 625 tCO₂, valor muy por debajo de las 1647,26 tCO₂ de la ETSIT en 2017. Sin embargo, si estos resultados se normalizan en base a la superficie construida y al número de personas, los valores obtenidos son bastante parejos (Tabla 3), si bien es cierto que no se tiene en cuenta que la ETSMFMN también compensa sus emisiones con un arboreto comprendido dentro de sus instalaciones.

Tabla 3. Comparación de la huella de carbono de la ETSIT en 2017 y la huella de carbono de la ETSMFMN en 2014 en términos absolutos y relativos

Escuela	Personas	Superficie (m ²)	HC A1+A2 abs. (t CO ₂)	HC A1+A2 rel. (gCO ₂ /pax*m ²)
ETSIT	3057	44.020,16	1647,26	12,2
ETSMFMN	1565	33.051,36	625	12,0

4 Propuesta de mejora basada en datos de la plataforma Smart CEI Moncloa

Para estar en consonancia con la estrategia de sostenibilidad es necesario no sólo cuantificar la huella de carbono, sino también reducirla. Para ello, se deben desarrollar planes donde se propongan medidas para reducir las emisiones de GEI. Para disminuir las emisiones de GEI existen numerosas opciones, pero en este artículo nos vamos a centrar en cómo las TIC y nuevos paradigmas de comunicaciones en auge como el IoT pueden contribuir en este sentido.

Concretamente, la UPM cuenta desde el año 2016 con la plataforma Smart CEI Moncloa, que representa uno de los principales resultados de la iniciativa *UPM City of the Future* [24]. Dicha iniciativa pretende fomentar actividades de formación, investigación, desarrollo e innovación en el área de *City Sciences*, con el objetivo de sacar partido al enorme potencial que ofrecen los equipos de investigación de la UPM para

abordar de manera integral los retos de la ciudad del futuro con un enfoque multidisciplinar.

La plataforma Smart CEI Moncloa es una plataforma IoT que actualmente ofrece servicios de monitorización de flujo de personas y monitorización de parámetros medioambientales (temperatura, humedad, luminosidad, ruido, CO y NO₂) [1].

La monitorización de flujo de personas se realiza mediante *Wi-Fi tracking*, para lo que se utilizan dispositivos de bajo coste basados en una *Raspberry Pi* y un *Wi-Fi dongle USB* de *TP-LINK* configurado en modo monitor. Estos sensores Wi-Fi escanean cada uno de los canales tanto en la banda de 2,4 GHz como en la banda de 5 GHz durante una cantidad de tiempo configurable (actualmente, 250 ms), leen las cabeceras de los paquetes IEEE 802.11 que capturan (tanto paquetes de datos como *probes*) y almacenan la dirección MAC del emisor anonimizada.

Por otra parte, para la monitorización de parámetros medioambientales se utiliza la plataforma de bajo coste SCK (*Smart Citizen Kit*) basada en Arduino. Como muestra la Fig. 4, actualmente hay 52 sensores Wi-Fi y 26 sensores medioambientales desplegados en las diferentes Escuelas de la UPM.



Fig. 4. Sensores desplegados en la plataforma Smart CEI Moncloa

La Fig. 5 muestra los sensores Wi-Fi desplegados sólo en la ETSIT. La propuesta de mejora se va a centrar concretamente en la zona donde se encuentra el sensor “3. Std. Tables”. Se trata de una zona con unos amplios ventanales y mesas donde los estudiantes pueden trabajar en grupo. En esa zona actualmente no se utiliza una tecnología de iluminación de bajo consumo ni inteligente. Por tanto, el estudio va a consistir en calcular la reducción en el consumo eléctrico asociado a esa zona y, por tanto, en la huella de carbono, que supondría sustituir la iluminación actual por otra de bajo consumo y que pueda controlarse para que sólo esté encendida cuando sea necesario (*i.e.*, cuando no haya suficiente luz y haya gente en esa zona). Para ello se dispone de los datos del sensor de luminosidad situado en el exterior de la Escuela y de los datos del sensor Wi-Fi “3. Std. Tables”, ambos en formato CSV, para la anualidad 2017.



Fig. 5. Sensores Wi-Fi desplegados en la ETSIT

En cualquier caso, en primer lugar se va a calcular el ahorro en electricidad (y su impacto en la huella de carbono) que supondría usar una tecnología de iluminación de bajo consumo. En la zona de mesas considerada hay 40 focos con una potencia cada uno de ellos de 20W proporcionando 90 lúmenes, lo que, asumiendo que están encendidos de las 9 a las 21 horas, supone un consumo en dicha zona para una anualidad de 2.304 KW/h. Estos focos pueden ser sustituidos por LEDS de 2W proporcionando la misma luminosidad, lo que reduciría el consumo en esa zona hasta 230,4 KW/h al año, suponiendo un ahorro en consumo (y por tanto en huella de carbono) del 90%.

El coste de la inversión que supondría el cambio de tecnología, asumiendo que cada foco tiene un precio de mercado de 3,99 euros, sería de 159,6 €. Teniendo en cuenta que el precio de la luz en España en el año 2017 es de 0,12 € / KW/h, se obtendría una ROI (*Return On Investment*) del 57,98%.

En base a los datos procedentes de la plataforma Smart CEI Moncloa se puede aproximar, además, el número de horas al año en las que realmente es necesario tener la luz encendida. Como ya se ha comentado, los datos de los que se dispone son:

- Datos de iluminación, medidos en lux (lx)
- Datos de ocupación (personas que se encuentran en dicha zona)

Estos datos van asociados a una marca temporal o *timestamp* que se corresponde con la fecha y hora en la que se mide cada uno y las medidas se toman en intervalos de 15 minutos a lo largo de las 24 horas de cada día.

Para determinar cuándo hace falta que la luz esté encendida, primero se ha decidido un valor de umbral. Este valor corresponde con la cantidad mínima de luz que tiene que existir para que la visión sea correcta. Valores por debajo de este nivel, nos indican que

la visión no es la correcta y por lo tanto hay que encender la luz. El valor seleccionado es 4 lx, en base a [25].

Desde la plataforma se han obtenido dos columnas en formato CSV que contienen los datos de luminosidad y ocupación y se han importado a unas hojas de cálculo Excel. A continuación se ha realizado, por una parte, un filtrado de todos los valores de iluminación menores que el valor de umbral en la franja horaria comprendida entre las 9,00 y las 21,00 horas. Posteriormente, se han comparado esos intervalos con los datos de ocupación, comprobándose que los intervalos en los que la luz cae por debajo del umbral se corresponden con momentos en los que hay mínimo una persona en la zona, por lo que no se puede mantener la luz apagada en ninguno de esos intervalos (aunque sí en el resto).

Como se ha comentado anteriormente, cada intervalo corresponde a 15 minutos. El número total de intervalos que cumplen que el valor de umbral es menor al umbral establecido y existe ocupación es de 6.480, lo que supone 1.620 horas al año en las que es necesario encender la luz. Esto supone una reducción de consumo adicional, dejando el consumo anual de esa zona en 129,6 KW/h.

En consecuencia, con un cambio de tecnología y con la utilización correcta del encendido y apagado de las luces, el ahorro energético y de contribución a la huella de carbono es del 94,375%.

5 Conclusiones y trabajos futuros

El impacto medioambiental de las organizaciones es un tema especialmente relevante hoy en día. La Universidad juega un papel importante en este ámbito ya que puede tanto investigar en cómo reducirlo como formar a nuevos profesionales proporcionándoles herramientas para hacerlo. Las TICs, en general, y las plataformas IoT y técnicas de *Big Data*, en particular, pueden ser de gran utilidad en este sentido.

En este artículo se ha presentado el cálculo de la huella de carbono de la ETSIT de la UPM en la anualidad 2017 en base a la Norma ISO 14064. Además, se ha realizado una propuesta concreta para reducir el consumo eléctrico y la huella de carbono en una zona determinada de la Escuela cambiando la tecnología de iluminación y controlando que la luz esté encendida sólo cuando haga falta en base a los datos de luminosidad y presencia recolectados por la plataforma Smart CEI Moncloa.

Como trabajo futuro, se plantean realizar propuestas de mejora similares aplicadas a otras zonas de la ETSIT o de otras Escuelas del Campus de Moncloa de la UPM, ya que, como se ha indicado en el artículo, la plataforma Smart CEI Moncloa cuenta con sensores desplegados en todas ellas.

Agradecimientos

Este trabajo ha contado con el apoyo de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) a través del programa “XVIII Convocatoria para Acciones para contribuir al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)”, del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED) a través de la red CITIES

(518RT0557) y de la Subdirección de Asuntos Económicos e Infraestructuras de la ETSIT de la UPM. Los autores quieren expresar su agradecimiento al Prof. Lorenzo J. Martín García, Subdirector de Asuntos Económicos e Infraestructuras de la ETSIT, así como a Luis Luengo e Ignacio Morenos, por haber proporcionado los datos de consumo de la Escuela necesarios para la realización de este estudio.

Bibliografía

1. Alvarez-Campana, M., *et al.*, Smart CEI Moncloa: An IoT-based Platform for People Flow and Environmental Monitoring on a Smart University Campus, *Sensors*, 17(12), (2017). *Online*: <http://www.mdpi.com/1424-8220/17/12/2856>, último acceso 13/07/2018
2. IPCC, 2014. Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 157 págs.
3. WEF, 2017. The global Risks. Report 2017 12th Edition (GRR17_Report_web). Recuperado de: http://www3.weforum.org/docs/GRR17_Report_web.pdf, último acceso 15/07/2018
4. ONU, 2018. Objetivos de Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>, último acceso 15/07/2018
5. Parrado, A. & Trujillo, H. 2015. Universidad y Sostenibilidad: Una Aproximación teórica para su implementación. AD-minister.
6. GreenMetric. 2016. Overall Rankings 2016. UI GreenMetric World University Rankings. Recuperado de: <http://greenmetric.ui.ac.id/overall-ranking-2016/> último acceso 15/07/2018
7. Alba, D. & Ysern, P. (2011). Evaluación de las políticas universitarias de sostenibilidad como facilitadoras para el desarrollo de los campus de excelencia internacional. Estudio financiado por el Programa de estudios y análisis destinados a la mejora de la calidad de la enseñanza y de actividades del profesorado universitario de 2010. Ministerio de Educación.
8. CRUE, 2015. Conferencia de Rectores de las Universidades Españolas. Recuperado de: <http://www.crue.org/SitePages/Inicio.aspx>, último acceso 15/07/2018
9. MECD. (2017b). Programa Campus de Excelencia Internacional. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Recuperado de: <https://www.mecd.gob.es/servicios-al-ciudadano-mecd/catalogo/general/educacion/0/cei/cei-2009.html>, último acceso 15/07/2018
10. MECD. (2017a). Estrategia Universidad 2015. Contribución de las universidades al progreso socioeconómico español 2010-2015. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.
11. Wiedmann, T. y Minx, J. 2007. A definition of carbon footprint. En: C. C. Pertsova, *Ecological Economics Research Trends*. Chapter 1, pp. 1-11, Nova Science Publishers, Hauppauge NY, USA.
12. World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) and World Resources Institute (WRI), 2004. A Corporate Accounting and Reporting Standard. World Business Council for Sustainable Development and World Resources Institute. USA.
13. Espíndola, C. y Valderrama, J.O. 2012. Huella del Carbono. Parte 1: Conceptos, Métodos de Estimación y Complejidades Metodológicas. *Información tecnológica*. Vol.23, n. 1., pp. 163-176. La Serena. Chile.
14. UPM. 2017. Campus de Excelencia Internacional: Campus Moncloa. Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado de: http://www.upm.es/Investigacion/personal_estructuras_inv/Campus_de_Excelencia_Internacional/CampusMoncloa, último acceso 15/07/2018

15. Rodríguez-Olalla, A. 2015. La huella de carbono en la sostenibilidad empresarial. En S. Álvarez Gallego (Eds.), *conceptos básicos de la huella de carbono* (79-88). Madrid. AENOR Ediciones
16. Rollán, H. 2013. Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero en las organizaciones: aplicación de la Norma ISO 14064. Proyecto fin de carrera de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid.
17. Comisión Europea, 2010a. Company GHG Emissions. A Study on Methods and Initiatives. Environmental Resources Management. Manchester. Reino Unido.
18. Rodríguez-Olalla, A y Álvarez, S 2015. *La huella de carbono de las organizaciones*. Madrid. AENOR Ediciones
19. AENOR. 2009. Mecanismos para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Protocolo de Kioto. AENOR Ediciones. España.
20. Rodríguez, C. 2015. La gestión de las emisiones de gases de efecto invernadero como parte de la estrategia de sostenibilidad de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y Medio Natural. Universidad Politécnica de Madrid.
21. Portal de transparencia de la UPM: Inmovilizado material. Superficies a 31/12/2016: http://www.upm.es/transparencia/informacion_economica/relacion_bienes_inmuebles?id=4e3891b5a650f510VgnVCM10000009c7648a____&fmt=detail&prefmt=articulo, último acceso 15/07/2018
22. Portal de transparencia de la UPM.: Infraestructuras y recursos de la ETSIT UPM. Alumnos matriculados ETSIT UPM año 2015/2016 y personal docente: http://www.upm.es/transparencia/estudiantes/matriculados_titulo, último acceso 15/07/2018
23. Guía para el cálculo de la Huella de Carbono y para la elaboración de un plan de mejora de las organizaciones publicada por el MAPAMA: http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/guia_huella_carbono_tcm30-178893.pdf, último acceso 15/07/2018
24. UPM *City of the Future*, <http://blogs.upm.es/cityofthefuture-upm/en/initiative/>, último acceso 13/07/2018
25. Niveles de iluminación recomendados: https://www.noao.edu/education/QLTkit/es/Safety_Activity_Poster/LightLevels_outdoor+indoor_es.pdf, último acceso 13/07/2018