

(05-012) - Accreditation of the carbon footprint of long lead manufactured equipment using verifiable credentials

RODRÍGUEZ MONTEQUÍN, VICENTE ¹; Vigil Berrocal, Miguel Angel ¹; Saldaña Fernández Del Viso, Antonio ¹; Vigil Blanco, Carlos ¹

¹ Universidad de Oviedo

Quantifying carbon footprints has become a fundamental tool for sustainability, and companies are increasingly being asked to provide reliable evidence of the rigour with which it has been assessed. Long lead manufacturers typically supply equipment to the energy sector, where this requirement is most pronounced. The paper presents a web application that enables the calculation and traceability of the product level carbon footprint of this type of equipment, from manufacture to delivery to the end customer, and generates the environmental declaration for each product in the form of a verifiable credential. The environmental declaration thus becomes a kind of digital passport of the product, which could be used to accredit to any organisation or certification body the greenhouse gas emissions generated during the manufacture and transport of the equipment. The methodology used is Product Life Cycle Assessment. The system has been developed as a proof of concept within IDESA, an international leader in the sector.

Keywords: Carbon footprint; verifiable credential; environmental product declaration

Acreditación de la huella de carbono de equipos de calderería pesada mediante credenciales verificables

La cuantificación de la huella de carbono se ha convertido en una herramienta fundamental de sostenibilidad, siendo cada vez mayores las exigencias para que las empresas acrediten fehacientemente la rigurosidad con la que se ha calculado. Las empresas de calderería pesada fabrican habitualmente equipos destinados al sector energético, donde esta exigencia es más notable. La comunicación presenta una aplicación web que posibilita el cálculo y trazabilidad de la huella de carbono a nivel de producto de grandes equipos de calderería metálica desde su fabricación hasta la entrega al cliente final, y genera, en forma de credencial verificable, la declaración ambiental de cada equipo de forma individualizada. La declaración ambiental se convierte de esta forma en una especie de pasaporte digital del producto que podría ser utilizada para acreditar, ante cualquier organismo o entidad certificadora, las emisiones de gases de efecto invernadero generadas durante la fabricación y traslado del equipo. La metodología empleada ha sido el análisis de ciclo de vida de producto. El sistema se ha desarrollado como prueba de concepto dentro de IDESA, destacada empresa del sector a nivel internacional.

Palabras clave: Huella de carbono; credencial verificable; declaración ambiental de producto

Correspondencia: Vicente Rodríguez Montequín, montequi@uniovi.es

Agradecimientos: Este trabajo se ha realizado con la financiación proporcionada por SEKUENS (Agencia de Ciencia, Competitividad Empresarial e Innovación del Principado de Asturias) e IDESA TRC a través de las Primas Proof Of Concept edición 2022 (CV/2021/000003)



©2024 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

Hoy en día, las empresas conceden gran importancia a la sostenibilidad medioambiental. Esta se ha convertido en un factor fundamental de sus operaciones y estrategias empresariales, no sólo por la creciente concienciación pública sobre las cuestiones medioambientales, sino también por el reconocimiento de que la sostenibilidad no es sólo una responsabilidad ética, sino también una ventaja competitiva. Las empresas se han dado cuenta de que una gestión adecuada de los recursos naturales, la reducción de las emisiones de carbono, la minimización de los residuos y la adopción de prácticas de producción más limpias pueden generar eficiencia, ahorro de costes y acceso a nuevos mercados. Además, los consumidores y los inversores se inclinan cada vez más por apoyar y financiar a las empresas comprometidas con la sostenibilidad, lo que refuerza la motivación de las organizaciones para integrarla en su cultura empresarial.

El sector de fabricación de bienes de equipo de calderería pesada está especializado en la producción de equipos que requieren un tiempo considerable para su diseño, producción y entrega. Estos productos suelen implicar procesos complejos, materiales especializados o componentes a medida. En el caso de este trabajo, el sistema se ha desarrollado para IDESA, una empresa líder en la construcción de bienes de equipo como columnas de vacío, fraccionadores y reactores, así como todo tipo de recipientes y tanques de almacenamiento, la mayoría de las veces para el sector energético y el denominado *Oil&Gas*. En este contexto, los clientes de este sector demandan cada vez más que se informe de la huella medioambiental de los equipos suministrados.

La huella de carbono y el análisis del ciclo de vida (ACV) se han convertido en herramientas esenciales para evaluar y mitigar el impacto ambiental de productos, servicios y operaciones empresariales. La huella de carbono cuantifica las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a una actividad específica, ofreciendo a las empresas una imagen clara de su contribución al cambio climático. El ACV, por su parte, va más allá al considerar todas las etapas de un producto o servicio, desde la extracción de las materias primas hasta su eliminación, evaluando exhaustivamente su impacto en el medio ambiente. Ambas herramientas ayudan a identificar áreas de mejora, optimizar procesos, reducir costes y, al mismo tiempo, reforzar la reputación y la responsabilidad social de una empresa al tomar medidas para minimizar su impacto ambiental.

El ACV puede realizarse a nivel de organización o a nivel de producto. A nivel organizativo, se centra en evaluar el impacto ambiental de todas las actividades y operaciones de una organización en su conjunto. A nivel de producto, analiza el impacto ambiental de un producto específico, desde la extracción de las materias primas, la fabricación, la distribución, el uso y la posterior eliminación. Hasta el momento, la mayor parte de los informes de impacto ambiental se elaboran a nivel de organización, aunque cada vez se demandan más a nivel de producto. La complejidad a nivel de producto suele ser mayor que a nivel de organización, debido a la dificultad de asignar impactos a cada producto individualmente (Pedersen & Remmen, 2022). En este contexto surge el proyecto que aquí se describe.

Los resultados de un ACV a nivel de producto suelen presentarse en forma de Declaraciones Ambientales de Producto (DAP). Normalmente, las DAP se presentan como un informe con una estructura normalizada que proporciona información detallada sobre el impacto medioambiental del producto a lo largo de su ciclo de vida. Esta declaración se basa en un análisis exhaustivo del ciclo de vida y sirve para comunicar de forma transparente y verificable datos sobre factores como las emisiones de gases de efecto invernadero, el consumo de energía, el uso de agua, la generación de residuos y otros impactos ambientales relevantes. Sin embargo, la generación de este documento es compleja, ya que requiere aplicar el proceso de ACV a cada equipo de forma individual, teniendo en cuenta, entre otras cosas, las

materias primas que se han utilizado en su fabricación, los insumos empleados en el proceso (por ejemplo, electricidad, gas, gasóleo, propano), los residuos, el transporte de materias primas y del producto final, así como las emisiones derivadas de los desplazamientos de los trabajadores, tanto *in itinere* como *en misión*. Se trata, por tanto, de un proceso tedioso y propenso a errores. El proyecto que aquí se describe realiza todo este proceso de forma automática. En este trabajo, la DAP se ha limitado a la huella de emisiones de carbono, pero podría ampliarse para abarcar otros indicadores del ciclo de vida.

Las DAP suelen generarse en formato *pdf*. Aunque la integridad de un documento *pdf* puede protegerse mediante mecanismos como la firma digital, el uso de este formato tiene limitaciones cuando se trata de la interoperabilidad a lo largo de la cadena de suministro. Para facilitararlo, el proyecto ha utilizado la tecnología de credenciales verificables (CV), un estándar del W3C (*Verifiable Credentials Data Model v1.1*, s. f.) para la representación digital de información que puede ser verificada criptográficamente. Este tipo de tecnología está comenzando a despuntar principalmente en el campo de la identidad descentralizada. Las CV están pensadas para incluir atributos o afirmaciones sobre una persona, organización o entidad, como puede ser su identidad, cualificaciones o pertenencia. En el caso de este proyecto, la aplicación de la CV es muy novedosa, ya que se utiliza para contener toda la información relacionada con la huella de carbono de los equipos. La EPD se convierte de esta manera en una especie de pasaporte digital del producto que puede ser compartido ya que se emplea un estándar internacionalmente reconocido.

Este artículo describe el sistema desarrollado para automatizar el cálculo de la huella de carbono de equipos de calderería pesada, permitiendo la trazabilidad del resultado y emitiendo un CV que contenga la información de la DAP, limitada a la huella de carbono.

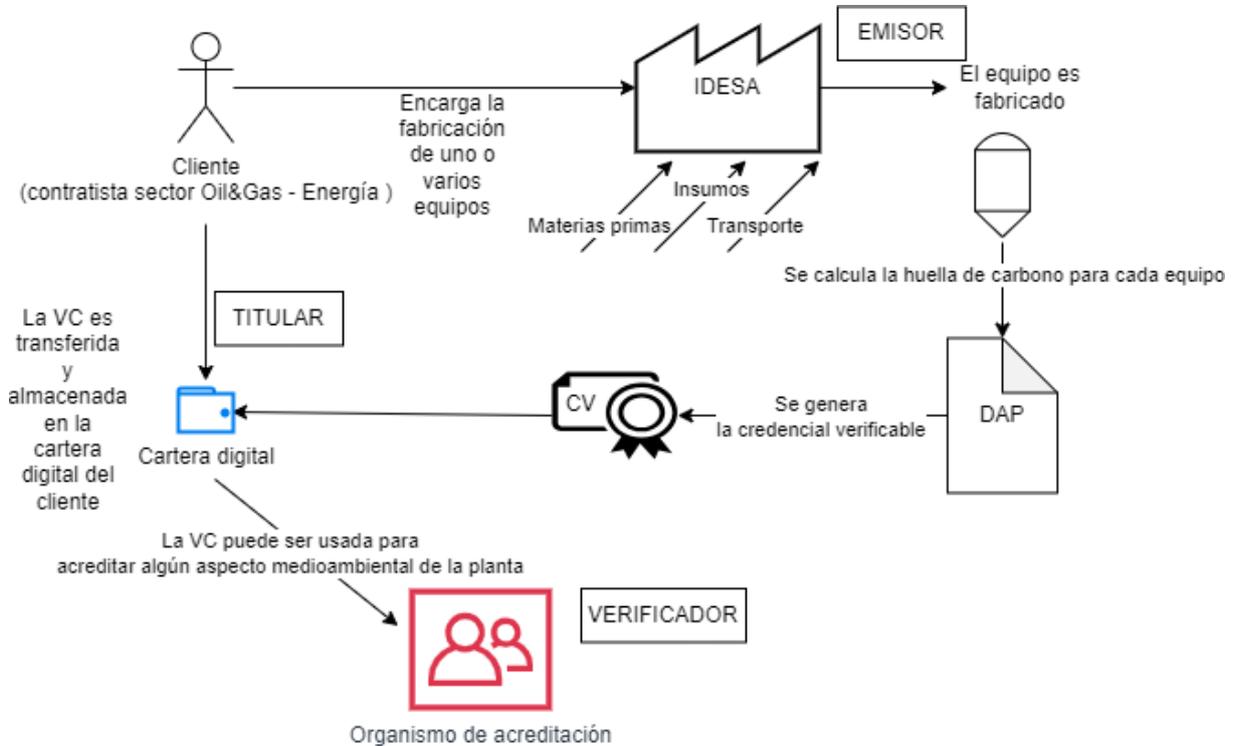
2. Antecedentes

La fabricación de los bienes de equipo denominados como “calderería pesada” implica un ecosistema dentro de la cadena de suministro que incluye no sólo al fabricante del equipo y al cliente inmediato del mismo, sino también a la cadena de proveedores/contratistas hasta la instalación final puesta en servicio por el propietario final, o incluso más allá, con posibles transferencias a lo largo de su vida útil. La acreditación de la huella de carbono de una instalación puede ser necesaria a lo largo del proceso de construcción o durante su vida útil para diversos fines administrativos o medioambientales. Para ello, es esencial disponer de una acreditación individual para los distintos componentes que conforman la instalación.

La Figura 1 ilustra el pedido realizado por un cliente para la fabricación *ex profeso* de un equipo. Los tres tipos de roles que existen en los procesos de CV aparecen identificados en rectángulos: Emisor de CV, Titular de CV y Verificador. IDESA, que asume el rol de emisor de la credencial como fabricante, dispone de la información sobre las materias primas que se han utilizado para la producción de cada equipo y mantiene los registros de los insumos (electricidad, gas natural, gasóleo y propano principalmente) utilizados en la fabricación, así como la información de transporte (del producto y de los desplazamientos). A excepción del gas natural utilizado en el tratamiento térmico y de la energía eléctrica utilizada en pintura, revestimientos y/o aislamientos en los casos en que éstos sean subcontratados, esta información es global a la planta, por lo que deberá ser imputada posteriormente a cada equipo fabricado. Esta imputación se realizará en base a la proporción de horas de taller utilizadas por cada equipo respecto al total de horas de taller. La CV emitida será transferida a la cartera digital del cliente. Una vez allí, el cliente podrá utilizar los datos del pasaporte para cualquier proceso en el que este sea requerido, por ejemplo, la presentación de la huella de carbono a un organismo público, de certificación o de acreditación bajo demanda. Para ello se utiliza la funcionalidad del CV denominada "presentación", en la que se selecciona el tipo de datos que se desea enviar a un destinatario (no es necesario enviar toda la información,

por ejemplo, puede limitarse a enviar la cantidad total de CO₂ equivalente que ha producido el equipo, pero no los detalles que también pueden ir almacenados en la credencial).

Figura 1 Modelo del proceso del sistema



Las credenciales verificables tienen varias características clave que las hacen útiles para los sistemas de identidad digital. Algunas de estas características son:

Tabla 1 Características de las credenciales verificables

Característica	Descripción
Descentralización	Las credenciales verificables pueden emitirse, compartirse y verificarse sin depender de una autoridad central. Esta descentralización fomenta la confianza y permite las interacciones entre iguales.
Interoperabilidad	Las credenciales verificables están diseñadas para ser interoperables entre distintos sistemas, plataformas y organizaciones. Normalmente se adhieren a normas como el modelo de datos de credenciales verificables (VC) del W3C y la especificación de identificadores descentralizados (DID).
Preservación de la privacidad	Las credenciales verificables suelen incorporar técnicas de preservación de la privacidad, como la divulgación selectiva y las pruebas de conocimiento cero. Esto permite a los individuos compartir sólo la información necesaria para una interacción concreta, minimizando la exposición de datos personales sensibles.
Resistencia a la manipulación	Las credenciales verificables están firmadas digitalmente por el emisor mediante técnicas criptográficas. Esto las

	hace resistentes a la manipulación, garantizando que su integridad no pueda verse comprometida sin ser detectadas.
Revocación	Las credenciales verificables pueden soportar mecanismos de revocación, permitiendo a los emisores revocar credenciales bajo ciertas condiciones (por ejemplo, caducidad, pérdida de confianza). Esto aumenta la fiabilidad del sistema de credenciales al permitir invalidar credenciales comprometidas u obsoletas.
Soberanía propia	Las credenciales verificables otorgan a los individuos un mayor control sobre sus identidades y credenciales digitales. Los usuarios pueden gestionar sus credenciales de forma autónoma, independientemente de cualquier autoridad centralizada.
Portabilidad	Las credenciales verificables pueden almacenarse y transferirse fácilmente entre distintos dispositivos y plataformas. Esta portabilidad facilita el acceso sin fisuras a servicios y recursos en diversos contextos.
Escalabilidad	Las credenciales verificables ofrecen una solución escalable para gestionar identidades y credenciales digitales, capaz de soportar despliegues a gran escala y diversos casos de uso.

Las credenciales verificables se están empezando a usar en diversas aplicaciones, como la verificación de la identidad (Sedlmeir et al., 2021), las credenciales académicas (Gottlieb & Bacharach, 2022) y la transferencia segura de información de identidad entre distintas partes, sin necesidad de depender de una única entidad centralizada (Lacity & Carmel, 2022). Hasta el momento, la mayoría de las aplicaciones están más orientadas a las personas que a los productos. La utilización en este caso como pasaporte digital para un producto es un uso innovador de la tecnología de las CVs.

Existen varias normas para el cálculo de la huella de carbono de los productos. Una de las más aceptadas es la ISO 14067:2018 (Organización Internacional de Normalización, 2018). Esta norma se publicó por primera vez en 2013. La norma proporciona un marco sistemático para cuantificar e informar sobre la huella de carbono de los productos, permitiendo a las organizaciones evaluar y comunicar los impactos ambientales asociados a sus productos de una manera estandarizada y creíble. A escala europea y centrada en el sector de la construcción, la norma EN 15804:2012 (European Standards, 2012) establece directrices para la elaboración de Declaraciones Ambientales de Producto para productos de construcción, centrándose en la evaluación de su impacto ambiental a lo largo de su ciclo de vida. La norma EN 15804 se ha ido actualizando con el tiempo, con la adición de las normas A2:2020/AC:2021 (European Standards, 2020), que reflejan los cambios y mejoras en la metodología para evaluar y comunicar el comportamiento medioambiental de los productos de construcción.

Estas normas son genéricas, aludiendo al hecho de que los procedimientos dependerán de la categoría de producto, y establecen lo que se denominan "reglas de categoría de producto" (RCP), que son un conjunto de orientaciones y directrices para la evaluación de la huella de carbono de esa categoría de producto. Las RCP establecen las mejores prácticas para la recogida de datos, la metodología de evaluación, la asignación de impactos ambientales y otros aspectos del proceso de evaluación. De este modo se garantiza la coherencia y precisión de las evaluaciones. Por tanto, las RCP son específicas de un tipo de producto y proporcionan instrucciones detalladas sobre cómo recopilar datos, calcular las emisiones de gases de

efecto invernadero y otros impactos ambientales, y comunicar los resultados de forma normalizada y comparable. Para productos de calderería pesada no existe una RCP específica. Dado que la más comparable es la UNE 36904-2:RCP Productos de acero para estructuras (UNE, 2018), aunque es importante aclarar que se refiere a estructuras de acero para la edificación, se ha utilizado su esquema para el caso de este trabajo. Básicamente, la norma establece que para la evaluación se deben considerar las etapas del producto (suministro de materia prima, transporte y fabricación) y el transporte durante la etapa de construcción. No se consideran las etapas de uso, y sí la etapa de fin de vida útil para su potencial reutilización (aunque no es obligatorio incluirla).

Tabla 2 Esquema típico de presentación de las etapas del ciclo de vida de un producto

Etapa	Nomenclatura	Descripción	Consideración
Producto	A1	Suministro de materias primas	X
	A2	Transporte	X
	A3	Fabricación	X
Construcción	A4	Transporte al sitio de instalación	X
	A5	Proceso de construcción e instalación	MNE
Uso	B1	Uso	MNE
	B2	Mantenimiento	MNE
	B3	Reparación	MNE
	B4	Sustitución	MNE
	B5	Rehabilitación	MNE
	B6	Uso de energía en operación	MNE
	B7	Uso de agua en operación	MNE
Fin de vida	C1	Desmontaje / demolición	MNE
	C2	Transporte	MNE
	C3	Tratamiento de residuos	MNE
	C4	Eliminación	MNE
	D	Beneficios y cargas más allá de los límites del sistema	X

X=Información del módulo incluido en el ACV/EPD MNE=Modulo no evaluado

En cuanto a la unidad declarada para este tipo de evaluación, la norma propone utilizar la tonelada. Aquí es necesario recordar que esta norma está pensada para productos de acero como vigas estructurales, alambre corrugado y perfiles, principalmente para el sector de la construcción civil. Por lo tanto, es habitual referir las emisiones de gases de efecto invernadero (normalmente kg CO₂ eq) al peso del acero. En el caso de este trabajo es diferente, ya que la DAP se genera para el equipo completo, por lo que la unidad declarada será el propio equipo.

La norma considera como criterios de exclusión de entradas y salidas aquellos que representen menos del 1% del total del proceso, considerando que la suma de etapas excluidas debe ser inferior al 5%.

En los límites del sistema, la norma considera las entradas de materiales y energía, considerando las materias primas (A1) y el transporte (A2). En cuanto a las materias primas, indica que se pueden utilizar datos genéricos para los procesos sobre los que el fabricante no tiene influencia. Esto es importante tenerlo en cuenta, ya que el proceso de IDESA trabaja con diferentes tipos de acero, pero es muy difícil tener datos precisos sobre su huella de carbono porque los fabricantes no los facilitan. La norma también establece los procesos habituales de transformación de los productos metálicos, como el corte, el taladrado, el conformado, el ensamblaje y el tratamiento superficial, así como el transporte desde la puerta de la fábrica hasta la obra.

AENOR mantiene una página web en la que se recopilan las DAP verificadas de productos en vigor, agrupadas por RCP (*AENOR - Declaraciones GlobalEPD en vigor*, s. f.). Dado que no existen casos válidos de bienes de equipo del tipo calderería pesada en el repositorio, se han utilizado algunas referencias de otros tipos de productos que, aunque son de otros sectores, podrían servir como modelo de emisión de este tipo de informes, como por ejemplo productos largos de acero laminado en caliente sin alear para la construcción procedentes de hornos eléctricos (Asociación Sostenibilidad Siderúrgica, 2020), ventanas de PVC (KÖMMERLING profine Iberia S.A, 2018), paneles solares (Fabrisolia S.L.U., 2019) o ascensores (ORONA, 2021).

3. Descripción del sistema

El sistema implementado permite registrar toda la información necesaria para calcular la huella de carbono mediante el método del ACV: materias primas que componen cada equipo, insumos -electricidad, gas natural, gasóleo y propano-, desplazamiento de los trabajadores y transporte de las materias primas y el producto final hasta su punto de entrega. Se trata de un proceso más complejo de lo que puede parecer a simple vista. En primer lugar, la lista de materiales es larga y debe estar sincronizada con la información de los planos de diseño. En segundo lugar, hay que mantener un catálogo con la huella de carbono de todas las materias primas que, aunque el metal sea el componente principal, pueden tener huellas diferentes. A este respecto, el sistema gestiona una relación jerárquica entre materiales, en la que a partir de un material genérico -como el acero al carbono- es posible definir una huella específica para un subtipo de material, un proveedor o incluso el medio de fabricación utilizado en su producción (es decir, el acero producido en un horno eléctrico no tiene el mismo impacto ambiental que el acero producido mediante un proceso siderúrgico integral, o el acero producido localmente no tiene la misma huella que el producido en otras partes remotas). En cuanto a los insumos, salvo el gas natural consumido en los hornos para el tratamiento térmico y la electricidad utilizada en el tratamiento superficial, no se dispone de información individualizada sobre el consumo de cada equipo, por lo que es necesario aplicar un proceso de asignación. El proceso aplicado ha consistido en asignar el consumo proporcionalmente en función de las horas de trabajo mensuales utilizadas en cada equipo respecto al total de horas de las instalaciones de IDESA. Además, a partir de los registros mensuales de trabajo, el sistema puede determinar el factor de emisión aplicable en la fecha correspondiente de acuerdo con las fuentes oficiales de datos.

Dado que la descripción de la aplicación completa escapa del ámbito de esta comunicación, se incluye a continuación unas capturas de pantalla que ilustran la función principal que se quiere describir correspondiente a la generación del DAP para un equipo y la emisión de la correspondiente CV.

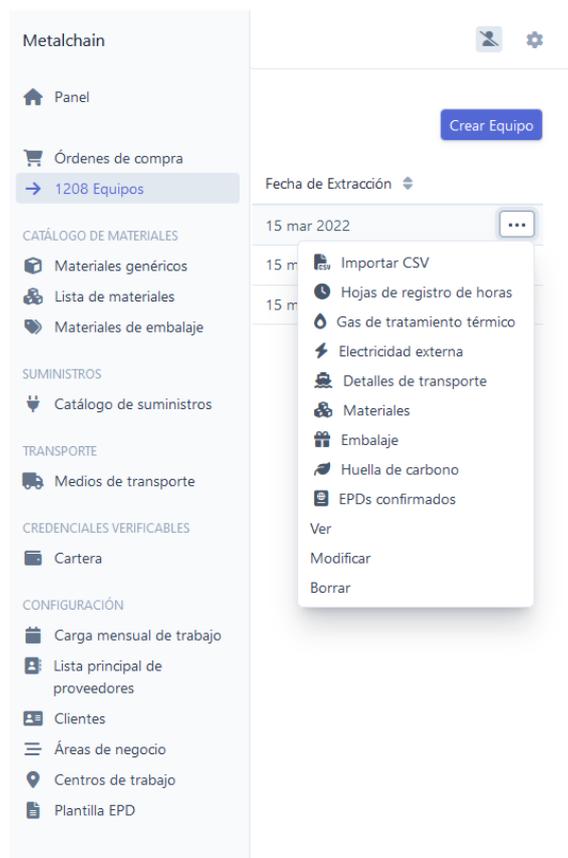
Figura 2 Pantalla de gestión de equipos

Referencia	Ref Cliente	Descripción Corta	Tratamiento Térmico	Peso fabricado (kg)	Peso de envío (kg)	Transporte Final	Fecha de Extracción
1208/100_001	05VX001	Tanque de almacenamiento 1	On	206.454	208.000	On	15 mar 2022
1208/100_002	05VX002	Tanque de almacenamiento 2	On	206.454	208.000	On	15 mar 2022
1208/100_003	05VX003	Tanque de almacenamiento 3	Off	206.454	208.000	Off	15 mar 2022

La Figura 2 muestra la pantalla que permite gestionar los equipos que un cliente ha pedido fabricar dentro de un pedido. En este caso cada equipo se corresponde con un tanque de almacenamiento (los datos mostrados son ficticios). Para facilitar la interpretación de la imagen y las funciones que incluye el sistema, se aporta en la Figura 3 un zoom del menú principal de la aplicación (menú situado en la parte izquierda) y el menú contextual de gestión de un equipo (menú desplegable que aparece al seleccionar un equipo concreto).

El menú principal incluye funciones para gestionar los pedidos de los clientes, de manera que los equipos se agrupan por pedido. Permite llevar también la gestión de los datos maestros de los materiales – tanto materiales empleados para la fabricación como para el embalaje –, el catálogo de insumos en el que se registran los factores de emisión y los consumos mensuales, el maestro de medios de transporte donde se definen las emisiones asociadas a cada tipo y la zona de configuración de la aplicación, que permite registrar las horas de trabajo mensuales, gestionar la lista de suministradores, clientes, líneas de negocio y centros de trabajo de la organización. La última de las opciones del menú permite configurar los textos genéricos que se incluirán en el informe de la DAP. Además de las anteriores funciones indicadas, existe una opción para acceder a la cartera digital donde se guardan las CVs que se generan asociadas a las DAP de los equipos. Por último, el menú incluye una opción para volver a la página principal del sistema, que es un cuadro de mando que muestra varias gráficas con información a nivel organizacional de las emisiones generadas a lo largo del año. Esta última parte realmente se corresponde con una huella de carbono a nivel organizacional que se calcula agrupando toda la información disponible en el sistema.

Figura 3 Zoom de detalle de las funciones principales y el menú de operaciones de un equipo



Ya a nivel de equipo, el sistema incorpora funciones específicas para proveer los datos concretos que se necesitan para calcular la huella de carbono a nivel de producto. Las funciones aparecen ordenadas en el menú por orden cronológico dentro de los pasos habituales necesarios para completar el proceso de generar una DAP. A continuación, se realiza una breve descripción de cada una.

1. En primer lugar, se encuentra la función para importar la lista de materiales del equipo. Como se mencionó previamente, cada equipo está compuesto por muchos componentes diferentes. El diseño de los equipos se lleva a cabo con programas de diseño especializados conocidos de forma genérica por sus siglas en inglés PDM (*Product Data Management*). Este tipo de programas permiten habitualmente exportar la lista de materiales del proyecto mediante ficheros csv. La función aquí incluida permite importar dicha lista y así poder gestionar los materiales, cantidades y pesos que conforman el equipo.
2. En segundo lugar, se incluye la función que permite registrar las horas de taller mensuales del equipo. Como se indicó previamente, la asignación de emisiones indirectas se realizará atendiendo al porcentaje de horas mensuales correspondientes al equipo respecto del total de horas.
3. Las dos opciones siguientes, etiquetadas como “Gas de tratamiento térmico” y “Electricidad externa” permiten registrar el gas consumido por el equipo en aquellos casos en que reciba un tratamiento térmico para mejorar las propiedades mecánicas o la electricidad empleada en tratamientos superficiales. La característica diferencial de estos factores es que estos consumos son registrados de manera individual para el equipo. En el caso del tratamiento térmico, este se produce en un horno de gas de grandes dimensiones que dispone de un medidor para registrar el gas natural consumido. En el caso de los tratamientos superficiales, cuando estos son

subcontratados la empresa que los realiza reporta el consumo eléctrico incurrido (tratamientos como el metalizado consumen gran cantidad de electricidad).

4. La opción correspondiente a detalles de transporte permite registrar las distancias recorridas, los pesos transportados y los medios utilizados para la entrega del equipo.
5. Las opciones de materiales y embalajes permiten gestionar los materiales que componen el equipo, así como el embalaje empleado.

La función clave que es objeto de descripción en esta comunicación es la relativa a la generación de la huella de carbono. Al seleccionar esta opción, el sistema realizará automáticamente el proceso de cálculo de los kilogramos de CO₂ equivalente y generará la DAP. Dado que la DAP para un equipo tiene una longitud aproximada de 10 páginas, en esta comunicación se incluye simplemente la estructura de secciones que contiene dicho documento.

Tabla 3 Secciones de la Declaración Ambiental de Producto

Sección	Descripción
Cabecera	La cabecera identifica el producto para el que se emite la DAP, el cliente, la fecha de expedición del informe y las normativas que se han empleado en el análisis del ciclo de vida.
Información de la compañía	Esta sección recoge información general del fabricante.
Información del equipo	La unidad declarada para el ACV es el equipo. En esta sección se describen las características del equipo y se desglosan los materiales que lo componen, con indicación del peso. Si se han empleado materiales para el embalaje, aparecen desglosados también. Se detalla también si el equipo ha sido sometido a algún tipo de tratamiento superficial, como puede ser el tratamiento térmico.
Información general del proceso de cálculo del ACV	Esta sección comienza definiendo los límites del sistema considerados para la evaluación del ACV (se incluye un esquema como el reflejado en la Tabla 2), se detallan los criterios seguidos para la asignación y el factor de corte, la representatividad, calidad y selección de los datos.
Detalle del cálculo del ACV para cada etapa	<p>Esta es la parte más extensa del informe. En primer lugar, detalla los aspectos relativos a las etapas “<i>upstream</i>” de la fabricación (etapas A1 y A2 de acuerdo con la nomenclatura de la Tabla 2). Esto implica reflejar los valores de huella de carbono de cada uno los materiales empleados en la producción del equipo.</p> <p>En segundo lugar, se describe el proceso de fabricación del equipo y se desglosan las emisiones derivadas del consumo de electricidad, gas natural, propano y gasoil (etapa A3).</p> <p>Seguidamente, se desglosan las emisiones derivadas del transporte, tanto del equipo en si en los casos en los que el envío es responsabilidad de IDESA, como las emisiones que se imputan derivadas de los desplazamientos <i>in itinere</i> y en misión.</p> <p>Por último, se reflejan las emisiones correspondientes a la potencial reutilización, recuperación o reciclaje del equipo al final de su vida (etapa D).</p>

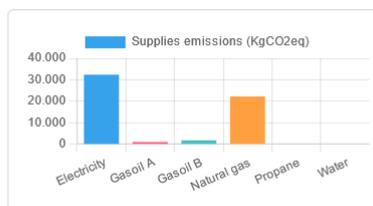
Comentarios	En esta sección se incluye cualquier comentario adicional del que se quiere dejar constancia en la emisión del informe.
Resumen de resultados	Siguiendo el esquema habitual de las DAP, la parte final presenta un sumario de las emisiones de cada etapa, y como valor agregado, las totales del equipo.

Un aspecto destacado de la aplicación desarrollada es que permite llevar la trazabilidad del origen de los distintos datos empleados en el cálculo de las emisiones. Cada vez que se registra un factor de emisión para un insumo o una huella de carbono para un material, el usuario puede indicar la fuente de referencia de dicho dato (típicamente la base de datos de donde está tomado o la referencia del suministrador). De esta manera, cuando se genera la DAP, se muestra esa referencia – un texto acompañado de una URL. Además, el sistema tiene en cuenta que los factores de emisión pueden variar a lo largo del tiempo (por ejemplo, el factor de emisión asignado a la electricidad). A la hora de realizar el cálculo, el sistema aplicará automáticamente el valor en vigor. Ya que la fabricación de un equipo dura habitualmente varios meses, se emplea el método de asignación previamente descrito para determinar el consumo a imputar cada mes, y se multiplica esa cantidad por el factor de emisión vigente para ese periodo. La Figura 4 muestra una captura con un ejemplo de un fragmento.

Figura 4 Fragmento de DAP en la que se detallan las emisiones de un equipo

Supplies allocation

Supplier	Units	Qty	Emission (kg CO2 eq)
Electricity	kWh	120,076	32,420.5
Gasoil A	L	432	1,174.7
Gasoil B	L	710	1,932.5
Natural gas	kWh	122,597	22,312.7
Propane	kg	95	280.3
Water	L	0	0.0



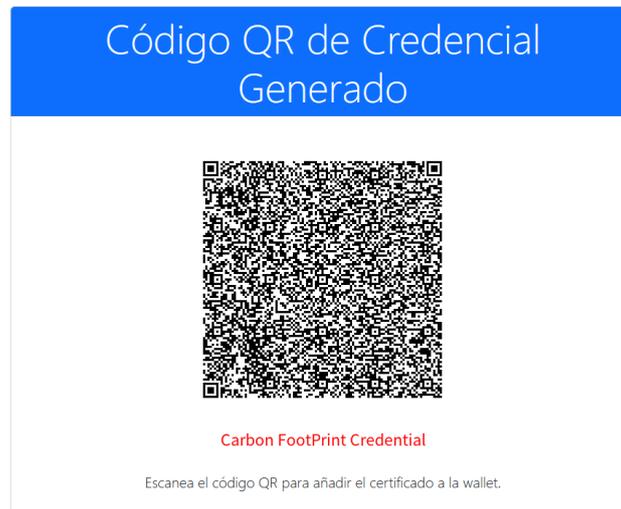
In the case of the electricity, the total quantity and emissions disclosed also includes 15,224.5 kg CO2 eq derived from works performed out of IDESA working centers as part of outsourced jobs (painting process) with a total consume of 56,387 kWh.

Insumes directly consumed in IDESA working centers has been assigned following the process described in the *Allocation and cut-off criteria* section. The details for the allocation performed each month are presented in the next table:

Electricity				
Date	Qty	Unit Emission Factor	Source	URL Reference
2021/11 - 2022/10	63,689.0 kWh	0.27 kg CO2 eq / kWh	MINECO	http://www.mineco.es
Gasoil A				
Date	Qty	Unit Emission Factor	Source	URL Reference
2021/11 - 2022/10	431.7 L	2.721 kg CO2 eq / L	Factores de Emisión. Registro Huella de Carbono, Compensación y Proyectos de Absorción de Dióxido de Carbono	https://www.miteco.gob.es/content/dam/mitesco/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/factoresemission_tcm30-479095.pdf

Una vez que se ha generado la DAP, el usuario puede confirmarla (el sistema permite generar borradores, que no tendrán carácter definitivo hasta que no son confirmados) y emitir la CV. La CV se guarda temporalmente en la opción “Cartera” del menú principal. Desde ahí, puede generarse un código QR que permitirá transferirla a la cartera del cliente (Figura 5).

Figura 5 Ejemplo de código QR generado para exportar la DAP a una cartera digital



Para el desarrollo del sistema se tomó la decisión de emplear un framework PHP, concretamente el seleccionado fue Symfony (Symfony, s. f.). Se trata de un framework de desarrollo web que facilita la creación de aplicaciones web robustas y escalables. Como gestor de base de datos se usa PostgreSQL, sistema de código abierto que es ampliamente utilizado para el desarrollo de aplicaciones. Para el desarrollo se ha empleado el IDE Visual Studio, empleando GitHub como repositorio y control de versiones. Respecto a la funcionalidad relativa a las credenciales verificables, tras evaluar diversas tecnologías se seleccionó el conjunto de librerías proporcionado por la empresa Walt.id (*Walt.id | Powerful Digital Identity and Wallet Infrastructure*, s. f.) como base para el desarrollo de esta parte. Concretamente, se ha utilizado el Kit SSI (Self-Sovereign Identity). Se trata de una librería escrita en Kotlin/Java y que puede ser accedida como un RESTful web-service. Entre las ventajas que incorpora está la de ser Open Source (Apache 2) y proporcionar una solución holística para implementar aplicaciones completas, sin necesidad de recurrir a integrar librerías adicionales. También que está preparada para funcionar con distintos ecosistemas de blockchain.

4. Conclusiones y futuras líneas de trabajo

El informe de huella de carbono generado presenta, de una manera completa pero sintetizada, las emisiones de gases de efecto invernadero del equipo y todos los condicionantes empleados en su cálculo. El informe, que ha sido diseñado siguiendo los estándares internacionales, refleja la identificación del equipo, sus materias primas (incluyendo los materiales empleados para el embalaje si fuese el caso), los insumos que se han empleado en su fabricación y las emisiones derivadas del transporte. El informe permite la trazabilidad del origen de todos los datos reflejados. La sistematización y automatización de este proceso es importante, ya que elaborar el informe de manera no automática para cada equipo conllevaría muchas horas de trabajo – con el consiguiente impacto económico –, y sería difícil evitar errores que pasarían inadvertidos.

A nivel tecnológico, uno de los aspectos más innovadores del trabajo presentado ha sido la utilización de credenciales verificables. Aunque en la actualidad existen algunas iniciativas en marcha, la mayoría son de carácter demostrativo y están orientadas hacia el sector de la identidad digital descentralizada. Por lo tanto, el sistema aquí presentado supone una aplicación a un campo novedoso. Sin embargo, la tecnología carece aún de madurez y el grado de interoperabilidad, a pesar de que es uno de los objetivos principales perseguidos por esta tecnología, es bajo. Existen distintos protocolos compitiendo entre sí, entre los que el estándar de W3C es uno de los más destacados, pero no el único. Incluso dentro del mismo estándar, la tecnología carece aún de la interoperabilidad deseable entre distintos proveedores de tecnología, como pueden ser las carteras digitales. Una de las mayores limitaciones del sistema aquí desarrollado es que, para que la credencial generada pueda ser usada, los receptores de dicha credencial (potencialmente administraciones públicas) deberían disponer de un sistema que compatible con su formato.

A modo de conclusión, se puede afirmar que el trabajo presentado permite validar que es factible calcular de manera individualizada la huella de carbono en la fabricación de grandes equipos de calderería pesada y emitir declaraciones ambientales de producto en formato digital apoyándose en tecnologías como CV. Dado que parece previsible que en un futuro cercano se generalice la exigencia de aportar este tipo de informes, la utilización del sistema desarrollado supondría una importante ventaja competitiva y un ahorro significativo en costes de personal derivados de su elaboración.

5. Referencias

- AENOR - Declaraciones GlobalEPD en vigor.* (s. f.). Recuperado 20 de febrero de 2024, de <https://www.aenor.com/certificacion/certificacion-de-producto/declaraciones-ambientales-de-producto/declaraciones-globalepd-en-vigor>
- Asociación Sostenibilidad Siderúrgica. (2020, julio 31). *Productos largos de acero no aleado para construcción laminados en caliente procedentes de horno eléctrico: Perfiles estructurales de uso general, barras y perfiles comerciales. Declaración ambiental de producto.* https://www.aenor.com/Producto_DAP_pdf/GlobalEPD_001_003_03_r2_ESP.pdf
- European Standards. (2012). *UNE-EN 15804:2012 Sostenibilidad en la construcción. Declaraci...*
- European Standards. (2020). *UNE EN 15804:2012+A2:2020 Sustainability of construction works—Environmental product declarations—Core rules for the product category of construction products.* <https://www.en-standard.eu/une-en-15804-2012-a2-2020-sustainability-of-construction-works-environmental-product-declarations-core-rules-for-the-product-category-of-construction-products/>
- Fabrisolia S.L.U. (2019, noviembre 26). *PANELES SOLARES TÉRMICOS Slim 200, Sol 250 y D230. Declaración ambiental de producto.* https://www.aenor.com/Producto_DAP_pdf/GlobalEPD_EN15804_008_ESP.pdf
- Gottlieb, M., & Bacharach, G. (2022). Cleaning Up: Interplay Between European Standards and Verifiable Credentials for Higher Education Institutions. *International Conference on Interactive Collaborative Learning*, 777-788.
- KÖMMERLING profine Iberia S.A. (2018, noviembre 7). *Ventana de PVC de 1,23 m x 1,48 m con perfil 70 mm con cajón de persiana. Declaración ambiental de producto.* https://www.aenor.com/Producto_DAP_pdf/GlobalEPD_EN15804_004_ESP.PDF
- Lacity, M. C., & Carmel, E. (2022). Verifiable Credentials in the Token Economy. En *Blockchains and the Token Economy: Theory and Practice* (pp. 113-138). Springer.
- Organización Internacional de Normalización. (2018). *ISO 14067:2018 Greenhouse gases—Carbon footprint of products—Requirements and guidelines for quantification.*

ORONA. (2021, septiembre 23). *Ascensor Orona Next Essentia. Declaración ambiental de producto.*

https://www.aenor.com/Producto_DAP_pdf/EPD%20ORONA%20NEXT%20ESSENTIA%20LIFT.pdf

Pedersen, E., & Remmen, A. (2022). Challenges with product environmental footprint: A systematic review. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 27(2), 342-352.

Sedlmeir, J., Smethurst, R., Rieger, A., & Fridgen, G. (2021). Digital identities and verifiable credentials. *Business & Information Systems Engineering*, 63(5), 603-613.

Symfony. (s. f.). *Symfony, High Performance PHP Framework for Web Development.* Recuperado 3 de abril de 2024, de <https://symfony.com/>

UNE. (2018). *UNE 36904-2:2018 Siderurgia. Declaraciones ambientales de prod...* <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0061108>

Verifiable Credentials Data Model v1.1. (s. f.). Recuperado 3 de abril de 2024, de <https://www.w3.org/TR/vc-data-model/>

Walt.id | Powerful digital identity and wallet infrastructure. (s. f.). Walt.Id. Recuperado 3 de abril de 2024, de <https://walt.id>

Comunicación alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

