

EcoCode: Una herramienta para el calculo de la huella de carbono del software

Daniel Fernández Jiménez

15 de julio de 2025

Índice general

Índice general	1
1. Introducción	3
1.1. Contexto	3
1.1.1. Cambio climático y gases de efecto invernadero	3
1.1.2. Desafíos específicos del cálculo de la huella de carbono del software	5
1.2. Objetivo General	8
1.3. Objetivos Específicos	8
1.4. Estructura de la Memoria	9
2. Estado del Arte	11
2.1. Criterios de Evaluación	11
2.2. Análisis de herramientas existentes	13
2.3. Conclusiones de la comparativa de herramientas	25
3. Propuesta de implementación de EcoCode	26
3.1. Propuesta de valor	26
3.2. Diseño de la interfaz de usuario	26
4. Diseño Técnico	27
4.1. Historia de desarrollo	27
4.2. Diseño de pruebas	27

5. Documentación	28
5.1. Publicacion	28
6. Conclusiones y trabajos futuros	29
Bibliografía	30
Bibliografía	31
A. Anexos	32
A.1. Configuracion y uso de herramientas analizadas	32
A.1.1. AWS customer carbon footprint tool	32
A.1.2. Impact Framework	33
A.1.3. Carbon Aware SDK	34
A.1.4. Cloud Carbon Footprint	37
A.1.5. Carbonalyser	39
A.1.6. Greenframe	40
A.1.7. Website Carbon Calculator	44
A.1.8. Ecograder	47
A.1.9. CodeCarbon	53

Capítulo 1

Introducción

El objetivo de este trabajo es desarrollar una herramienta que permita calcular la huella de carbono generada por un sistema software. Este cálculo se realizará mediante la medición y análisis de los distintos factores que influyen en el consumo energético del software.

1.1. Contexto

1.1.1. Cambio climático y gases de efecto invernadero

En la actualidad, está en boca de todos y cada día es más notable el debate sobre el cambio climático y la necesidad de reducir nuestra huella de carbono. Aun así, la gran mayoría, bien por exceso de información, inexactitud en las fuentes o por desinformación interesada, no es consciente de lo que realmente significan estos conceptos. Antes de continuar explicando su importancia, es necesario que conozcamos estos conceptos y su significado.

El calentamiento global es el aumento de la temperatura media de la Tierra, que se ha incrementado en aproximadamente 1.2 grados Celsius desde finales del siglo XIX. Como consecuencia de este aumento, se han producido cambios en los patrones climáticos, lo que ha llevado a fenómenos extremos como sequías, inundaciones y huracanes. A esta serie de cambios que de manera natural no se producirían en un periodo de tiempo tan corto se le denomina cambio climático.

El cambio climático es un fenómeno natural que ha ocurrido a lo largo de la historia de la Tierra, pero en la actualidad se ha visto acelerado por la actividad humana. Estos procesos siempre han sido mucho más lentos, hablamos de millones de años.

La Tierra es capaz de retener el calor del sol gracias al efecto invernadero, un fenómeno natural que permite que la temperatura de la Tierra sea adecuada para la vida. Sin esto, la temperatura media sería de -18 grados Celsius, lo que haría imposible la vida. Este efecto se produce gracias a la presencia de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera,

que en la proporción adecuada actúan como una especie de manta que atrapa el calor.

La quema de combustibles fósiles, la deforestación y la agricultura intensiva son algunas de las actividades que han contribuido a la liberación excesiva de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera, lo que provoca un aumento de la temperatura global y hace que se produzca el calentamiento global. Los principales GEI son el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O). [1]

Este calentamiento excesivo pone en peligro la supervivencia de muchas especies y ecosistemas, incluido el ser humano. Las consecuencias se pueden organizar en tres grupos distintos: [2]

- **Sistemas físicos:** se ve representado por el derretimiento de la masa de hielo terrestre en los polos. Cuando se derrite, el agua fluye hasta el océano, añadiendo volumen al agua del mar. Este aumento del nivel del mar provoca inundaciones en zonas costeras, desplazando a millones de personas y causando daños en infraestructuras. Además, también se ven afectadas las zonas de ríos y lagos, ya que el aumento de la temperatura provoca sequías en zonas que antes eran húmedas.
- **Sistemas biológicos:** en estos sistemas se ve afectada la biodiversidad, ya que el aumento de la temperatura provoca cambios en los ecosistemas, que pueden llevar a la extinción de especies. Destacan los incendios forestales y el cambio en los patrones migratorios de especies que buscan una mayor garantía de supervivencia en otros lugares.
- **Sistemas humanos:** en este sistema destacan las muertes y enfermedades provocadas por fenómenos meteorológicos extremos cada vez más frecuentes, como las olas de calor, las tormentas y las inundaciones; la alteración de los sistemas alimentarios; el aumento de las zoonosis y las enfermedades transmitidas por los alimentos, el agua y los vectores; y los problemas de salud mental.[3] Además, el cambio climático también afecta a la economía, ya que puede provocar pérdidas en la agricultura, la pesca y el turismo, así como aumentar los costos de la atención médica y la infraestructura.

Estas consecuencias negativas se retroalimentan entre sí y aumentan sus magnitudes. Las sequías provocan incendios que destruyen las cosechas, lo que provoca hambruna y desplazamiento de personas. Las inundaciones provocan la muerte de personas y animales, así como la destrucción de muchos medios económicos de subsistencia, lo que genera un aumento de la pobreza y la desigualdad.

El cambio climático es un problema global que requiere una solución global. La comunidad internacional ha tomado conciencia de la gravedad del problema y ha adoptado una serie de acuerdos y compromisos para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mitigar los efectos del cambio climático. Uno de los más importantes es el Acuerdo de París, que establece un marco para limitar el aumento de la temperatura global a menos de 2 grados Celsius por encima de los niveles preindustriales y fomentar esfuerzos para limitar el aumento a 1.5 grados Celsius. Este acuerdo fue adoptado en 2015 por 196 países y ha sido ratificado por la mayoría de ellos. **El Acuerdo de París**¹ establece un marco

¹<https://unfccc.int/es/acerca-de-las-ndc/el-acuerdo-de-paris>

para que los países presenten sus contribuciones determinadas a nivel nacional (NDC) y revisen sus compromisos cada cinco años. Además, el acuerdo promueve la cooperación internacional y el apoyo financiero a los países en desarrollo para ayudarles a mitigar y adaptarse al cambio climático. [4]

Siempre emitiremos carbono mediante nuestras actividades diarias, pero es importante que seamos conscientes de ello y que tomemos medidas para reducir nuestra huella de carbono. Nuestro objetivo es asegurarnos de que por cada gramo de carbono que emitimos a la atmósfera obtengamos el mayor valor posible.

1.1.2. Desafíos específicos del cálculo de la huella de carbono del software

Software Carbon Intensity (SCI) Specification

Calculating software carbon intensity

Software Carbon Intensity (SCI) & CO₂ Reduction in IT

Calcular la huella de carbono del software es más complicado de lo que puede parecer inicialmente. A diferencia de otros sectores industriales donde podemos medir directamente las emisiones (como el humo de una fábrica), en el software tenemos que usar métodos indirectos para relacionar el consumo de recursos informáticos con el impacto ambiental. Esto se vuelve especialmente difícil cuando trabajamos con servicios en la nube, donde no tenemos acceso directo a los datos detallados del hardware.

Metodologías emergentes: Software Carbon Intensity (SCI)

Para intentar estandarizar estas mediciones, la Green Software Foundation ha desarrollado la especificación Software Carbon Intensity (SCI), que nos permite calcular cuánto CO₂ genera un sistema de software [5]. La fórmula es bastante directa:

$$SCI = \frac{(E \times I) + M}{R} \quad (1.1)$$

Pero vamos por partes para entender qué significa cada cosa:

Las entradas que necesitas:

- **E (Energy consumption – Consumo de energía):** El consumo energético del hardware donde se ejecuta tu software, medido en kilovatios-hora (kWh)

Representa la energía total que necesita el software para ejecutarse.

Por ejemplo: si un software realiza muchas operaciones, utiliza más CPU y RAM, lo que se traduce en mayor consumo energético.

Esta energía puede medirse directamente si se tiene acceso al hardware, o estimarse utilizando métricas proporcionadas por los proveedores de nube o fabricantes.

Cuanto más eficiente sea el software (menos procesos innecesarios, mejor gestión de memoria), menor será E.

- **I (Carbon Intensity – Intensidad de carbono):** Cuánto CO₂ genera la red eléctrica de tu región por cada kWh consumido (se mide en gramos de CO₂ equivalente por kilovatio-hora (gCO₂e/kWh))

No toda la electricidad contamina por igual. El valor **I** depende del **origen de la energía** en el lugar donde se ejecuta el software.

- Si se genera con carbón o gas, I es alto (más contaminante)
- Si proviene de energía solar, eólica o hidroeléctrica, I es bajo

Por eso, ejecutar el mismo software en un país con energía limpia puede reducir significativamente su impacto ambiental.

- **M (Carbono incorporado):** Las emisiones asociadas a la fabricación y eliminación del hardware donde se ejecuta el software (servidores, ordenadores, etc.) Se expresa generalmente en kgCO₂e (kilogramos de CO₂ equivalente)

Ejemplo: construir un portátil o un servidor ya emite CO₂ (por los materiales, el transporte, el ensamblaje...).

Cuando un software se ejecuta, una parte proporcional de ese carbono incorporado se le asigna, en función del tiempo de uso y cuánta parte del equipo utiliza.

Aunque no utilices mucha energía al ejecutar tu software, si lo haces en dispositivos fabricados con alto coste ambiental, M puede ser significativo.

- **R (Unidad funcional):** Cómo mides el “trabajo” de tu aplicación. Puede ser por usuario, por petición a la API, por transacción, etc.

Se utiliza para normalizar el cálculo: no importa si el software se usa una vez o mil, lo que queremos saber es cuánto contamina una sola unidad de trabajo.

Así podemos comparar diferentes versiones o soluciones: ¿cuánto CO₂eq se emite por una operación?

Lo que obtienes: El resultado es una estimación que te dice cuánto CO₂eq genera tu software por cada unidad de trabajo (por ejemplo, gramos de CO₂eq por usuario o por petición). Cuanto más detallados, específicos y fiables sean los datos de entrada, mas se parecerá esta estimación a la realidad. Cuanto más bajo sea el número, mejor para el medio ambiente. Aunque es imposible llegar a 0 (siempre vas a consumir algo de energía), te ayuda a comparar diferentes soluciones y ver si vas mejorando [6].

Las variables que lo complican todo

El problema es que hay muchos factores que hacen que estos cálculos sean realmente complicados:

Los lenguajes de programación no son todos iguales: Los estudios muestran que no todos los lenguajes consumen la misma energía. Por ejemplo, C puede usar hasta 75 veces menos energía que Python para hacer la misma tarea. Java y C# están en un punto intermedio, consumiendo entre 2 y 3 veces más que C [7]. Esto significa que la elección del lenguaje puede tener un impacto enorme en tu huella de carbono.

La ubicación y el momento importan muchísimo: Aquí viene una de las partes más sorprendentes: el mismo programa puede generar 10 veces más CO₂ dependiendo de dónde y cuándo se ejecute [8]. En Francia, donde usan mucha energía nuclear, la intensidad de carbono es de unos 23g CO₂/kWh. En Polonia, que usa mucho carbón, ronda los 503g CO₂/kWh. Además, durante un mismo día, estas cifras pueden variar dependiendo de las fuentes de energía que se estén usando en cada momento.

El hardware también cuenta: No podemos olvidarnos de que fabricar los servidores también genera CO₂. El carbono incorporado de un servidor típico ronda el 20 % de todas las emisiones en su ciclo de vida [9], y tenemos que repartir esas emisiones entre todas las aplicaciones que va a ejecutar durante su vida útil.

Los sistemas se adaptan automáticamente: Los sistemas modernos pueden aumentar o disminuir automáticamente sus recursos según la demanda. Durante los picos de uso, pueden consumir muchísimo más, así que no basta con medir una vez: necesitas entender los patrones de uso completos.

El problema de la precisión

La fórmula del Software Carbon Intensity (SCI) se ha convertido en el estándar más utilizado para medir y comparar las emisiones de carbono de nuestros productos software. Sin embargo, como venimos diciendo anteriormente, presenta una serie de necesidades que afectan la fiabilidad de los resultados obtenidos. El principal inconveniente es que esta fórmula depende en gran medida de datos reales y detallados que, en la mayoría de casos, son muy complicados de conseguir. Obtener mediciones precisas y actualizadas del consumo energético, de la infraestructura utilizada o de los factores de emisión específicos puede resultar tedioso e incluso imposible en muchos entornos de desarrollo. Esta dificultad para acceder a datos fiables obliga a los equipos a utilizar estimaciones y aproximaciones en lugar de mediciones reales, lo que inevitablemente introduce errores en los cálculos finales.

Por otro lado, es importante tener claro que el SCI únicamente calcula las emisiones directas del funcionamiento del producto software. Esto significa que quedan fuera del cálculo muchas otras fuentes de emisiones relacionadas con el desarrollo del producto, como los desplazamientos de los empleados o el consumo energético de las oficinas. Estas emisiones adicionales suelen clasificarse dentro de los diferentes scopes del GHG Protocol y pueden representar una parte significativa de la huella de carbono total del proyecto software.

Por qué necesitamos herramientas especializadas

Después de revisar todos estos desafíos, queda claro que medir la huella de carbono del software no es nada sencillo. El problema principal es que, en la práctica, hacer estos cálculos manualmente es muy complicado. Tienes que recopilar información del código, del hardware donde se ejecuta, de la red eléctrica de la región, de cómo usan la aplicación los usuarios... y luego intentar combinar todo eso de manera que tenga sentido.

Esto no solo lleva mucho tiempo, sino que es muy fácil cometer errores o pasar algo por alto. Además, muchos proveedores de servicios en la nube no ofrecen datos detallados sobre el consumo energético o las emisiones de carbono de sus infraestructuras, lo que hace que tengamos que trabajar con estimaciones y aproximaciones que pueden no reflejar la realidad completamente.

Por todo esto, creemos que hace falta desarrollar herramientas especializadas que automaticen este proceso y hagan que sea más accesible para los desarrolladores. Una herramienta que simplifique toda esta complejidad y permita obtener mediciones fiables sin tener que ser un experto en sostenibilidad ambiental.

Esta necesidad es lo que justifica nuestro trabajo: queremos crear una solución que aborde estos problemas y haga que medir la sostenibilidad del software sea algo práctico y factible para cualquier equipo de desarrollo.

1.2. Objetivo General

La principal motivación que ha impulsado este proyecto es la urgencia de reducir el impacto ambiental derivado del creciente consumo energético en el desarrollo y uso del software. Por lo tanto, el objetivo principal de este TFG consiste en desarrollar una herramienta que permita calcular de forma integral la huella de carbono generada por un sistema software. Este cálculo tendrá en cuenta el consumo energético, la conversión a emisiones de CO₂ equivalente según la fuente de energía utilizada y el impacto ambiental asociado a la infraestructura y mantenimiento del software.

De esta forma, los desarrolladores pueden obtener una visión clara del impacto ambiental de sus aplicaciones, facilitando la identificación de áreas de mejora y optimización. La herramienta no solo proporcionará un cálculo preciso de la huella de carbono, sino que también ofrecerá recomendaciones prácticas para reducir dicho impacto, promoviendo así un desarrollo más sostenible y responsable.

1.3. Objetivos Específicos

Para alcanzar el objetivo general se han definido los siguientes objetivos específicos:

- Investigar los principales factores que influyen en el consumo energético de los siste-

mas software, incluyendo el uso de CPU, memoria, almacenamiento y red.

- Diseñar un modelo de cálculo de la huella de carbono basado en el consumo energético y en las fuentes de energía utilizadas por el sistema.
- Desarrollar una herramienta capaz de monitorizar la actividad de un software durante su ejecución y recoger datos relevantes para el cálculo energético.
- Implementar la conversión del consumo energético en emisiones de CO₂ equivalente, considerando el mix energético del entorno donde se ejecuta el software.
- Validar la herramienta mediante pruebas con diferentes tipos de aplicaciones software y entornos de ejecución.
- Proporcionar un informe detallado con los resultados del análisis y recomendaciones para reducir la huella de carbono del software evaluado.
- Fomentar la concienciación sobre el impacto ambiental del desarrollo software y promover prácticas sostenibles en la industria tecnológica.

1.4. Estructura de la Memoria

Para facilitar la comprensión del proceso seguido y la coherencia en la exposición de los temas, la memoria se estructura de la siguiente manera:

- **Capítulo 1: Introducción.** Se ha explicado brevemente la motivación a la hora de la realización de este proyecto además de poner en contexto al lector sobre el contexto y la importancia de la huella de carbono en el software.
- **Capítulo 2: Estado del arte.** Se recopilan las herramientas y métodos existentes para la medición de la huella de carbono en software. Se detectan los puntos fuertes y débiles de estas herramientas, y se incluye una tabla resumen de las mismas. Este capítulo también identifica oportunidades para implementar una herramienta de evaluación más realista y coherente con los sistemas software actuales.
- **Capítulo 3: Propuesta de implementación de EcoCode.** En este capítulo se presenta **EcoCode**, la herramienta propuesta en este trabajo, detallando su propuesta de valor frente a otras herramientas existentes. Se especifican los requisitos funcionales y no funcionales, así como el diseño de la interfaz, incluyendo el sitemap, el labeling, el moodboard y los wireframes.
- **Capítulo 4: Diseño técnico.** Se explica el diseño técnico de EcoCode, incluyendo la selección de librerías, el diseño de la base de datos, y la metodología de desarrollo utilizada. Además, se describen las etapas de implementación y se presentan los puntos críticos de la implementación, con comentarios y pseudocódigo explicativo.
- **Capítulo 5: Documentación.** Este capítulo incluye el manual de usuario y el manual de instalación de la herramienta. Además, se proporcionan recomendaciones para la publicación del sistema y su accesibilidad en GitHub Pages, donde los usuarios podrán descargar EcoCode.

- **Capítulo 6: Conclusiones y trabajos futuros.** En este capítulo se recogen las conclusiones obtenidas a lo largo del proyecto, así como las lecciones aprendidas. Se proponen ideas para trabajos futuros relacionados con la mejora de la herramienta y su expansión a otros ámbitos del desarrollo de software sostenible.
- **Bibliografía.** Se presenta la lista de fuentes consultadas a lo largo de la realización del proyecto.
- **Anexos.** Incluye materiales adicionales relevantes para el desarrollo del trabajo, como diagramas, tablas y códigos utilizados en la implementación.

Capítulo 2

Estado del Arte

Se revisan las herramientas existentes para la evaluación de la huella de carbono del software, con un análisis de sus puntos fuertes y débiles. También se presentará una tabla resumen con las principales herramientas y sus características, lo que permitirá identificar las oportunidades para una nueva herramienta más realista y adaptada a los sistemas software actuales.

2.1. Criterios de Evaluación

En esta sección se definen los criterios fundamentales para la evaluación de herramientas destinadas a la medición de la huella de carbono del software. Estos criterios están orientados a garantizar que la herramienta sea precisa, de fácil uso, accesible para distintos perfiles de usuario y técnicamente robusta.

1. Precisión y Fiabilidad del Cálculo

- Utilizar estándares reconocidos y aceptados internacionalmente, como **GHG Protocol**, **ISO 14064** u otros modelos científicamente validados.
- Basarse en modelos de estimación documentados y contrastados (por ejemplo, *OneByte* o *Sustainable Web Design*).
- Posibilidad de contextualizar los cálculos en función de la **intensidad de carbono regional**.
- Transparencia metodológica, detallando claramente los pasos de conversión de datos a emisiones y sus limitaciones.

2. Cobertura y Alcance

- Calcular las emisiones generadas por la ejecución local del software y, de forma opcional, permitir estimar las emisiones en entornos cloud.
- Capacidad de incluir los tres alcances definidos por GHG Protocol: **Scope 1**, **Scope 2** y **Scope 3**.
- Desglose granular de las emisiones por región, proceso o recurso utilizado.
- Opción de proyectar emisiones futuras o simular escenarios hipotéticos de reducción.

3. Facilidad de Integración y Uso

- Disponibilidad de diferentes interfaces: interfaz web intuitiva, línea de comandos (CLI), API REST, etc.
- Flexibilidad en la instalación, pudiendo ejecutarse de forma local o en contenedores.
- Integración con procesos de desarrollo, de forma que se pueda automatizar su ejecución cuando se produzcan cambios en el software.
- Visualización interactiva de los resultados, con paneles comprensibles, tablas y gráficos.
- Interfaz de usuario intuitiva que permita a los usuarios introducir los datos de forma sencilla y clara.
- Minimizar dependencias de terceros proveedores sin alternativas de respaldo para asegurar la continuidad y estabilidad del sistema.

4. Accesibilidad y Usabilidad

- Baja curva de aprendizaje, de forma que pueda ser utilizada por usuarios no técnicos a un nivel simple.
- Configuración simplificada mediante asistentes o procedimientos guiados.
- Resultados comprensibles y adaptados a distintos perfiles de usuario (usuarios no técnicos, responsables de sostenibilidad, perfiles técnicos).
- Inclusión de comparativas y equivalencias contextualizadas (por ejemplo, emisiones expresadas en kilómetros recorridos en coche o consumo energético doméstico).
- Sistema de puntuación y ranking de los resultados, de forma que se pueda saber claramente si el resultado obtenido es bueno o malo.
- Consejos prácticos y personalizados para la mejora de la huella de carbono del software analizado, orientados a distintos perfiles de usuario.

5. Capacidad de Exportación y Reporte

- Permite guardar los datos en formatos sencillos y compatibles, como hojas de cálculo (CSV) o archivos de texto estructurados (JSON).
- Genera informes que se pueden personalizar según las necesidades, por ejemplo, para auditorías o presentaciones dentro de la empresa.
- Mantiene un historial de los datos, facilitando ver cómo cambian las emisiones a lo largo del tiempo.

2.2. Análisis de herramientas existentes

Se ha realizado un análisis exhaustivo de algunas herramientas ya existentes que se encargan de medir el impacto de la huella de carbono de un producto software. Dado que hay gran variedad respecto a los datos que se obtienen, su fiabilidad y sus casos de uso, vamos a desglosar en los siguientes párrafos qué es capaz de realizar cada herramienta y para qué sirve. Esto nos servirá para dilucidar una propuesta propia con lo aprendido.

AWS Customer Carbon Footprint Tool

<https://aws.amazon.com/es/>

<https://docs.aws.amazon.com/awsaccountbilling/latest/aboutv2/what-is-ccft.html>

<https://aws.amazon.com/es/blogs/aws/new-customer-carbon-footprint-tool/>

AWS Customer Carbon Footprint Tool es una herramienta integrada en la consola de facturación de Amazon Web Services (**AWS**)¹ que permite a los clientes conocer y analizar las emisiones de carbono asociadas al uso de sus servicios en la nube. Ofrece una visualización clara de datos históricos desde enero de 2020, con actualizaciones mensuales (publicadas entre los días 15 y 25 de cada mes), aunque con un retraso de tres meses respecto al mes evaluado. La herramienta muestra un desglose de emisiones de carbono conforme al estándar internacional **GHG Protocol**², diferenciando entre emisiones directas (**Scope 1**)³ y aquellas derivadas del consumo de electricidad (**Scope 2**)⁴. También detalla las emisiones por servicio utilizado (como EC2, S3, Lambda, etc.) y por región geográfica de AWS. Un aspecto destacable es su capacidad para calcular el ahorro en carbono gracias a los proyectos de energía renovable de AWS, comparando métodos

¹Conjunto de servicios en la nube cuya huella de carbono mide esta herramienta.

²Marco internacional que establece cómo medir y reportar las emisiones de gases de efecto invernadero, incluido el CO₂.

³Emisiones directas de carbono que genera tu empresa u organización—por ejemplo, las fugas de refrigerantes o calderas de gas.

⁴Emisiones de carbono asociadas a la electricidad, calor o frío que compras: las produce otra compañía pero tú las consumes.

*location-based*⁵ y *market-based*⁶. Su aplicación es útil para medir la huella de carbono de cargas de trabajo alojadas en AWS, haciendo seguimiento de tendencias mensuales o analizando el efecto de migraciones y optimizaciones. También permite identificar qué servicios y regiones contribuyen más a las emisiones para priorizar mejoras, y genera datos exportables para reportes corporativos de sostenibilidad. Gracias a su integración con **AWS Organizations**⁷, es posible consolidar las métricas de distintas cuentas en un solo panel. Los datos pueden exportarse mediante **Data Exports**⁸ para ser analizados en herramientas como **Amazon QuickSight**⁹ o mediante consultas SQL.

Puntos fuertes:

- **Cobertura histórica:** muestra datos desde enero de 2020, con hasta 36 meses de historial disponible.
- **Estándares reconocidos:** se basa en el **GHG Protocol** y cuenta con verificación independiente según **ISO 14064**¹⁰.
- **Detalle granular:** permite analizar emisiones por servicio y región, facilitando la toma de decisiones.
- **Cálculo de ahorros:** estima reducciones de emisiones gracias al uso de energía renovable, comparando métodos *location-based* vs. *market-based*.
- **Exportación de datos:** facilita la integración con otras herramientas de análisis y generación de informes mediante **Data Exports**.
- **Consolidación de cuentas:** permite visualizar métricas de múltiples cuentas dentro de una organización usando **AWS Organizations**.

Puntos débiles:

- **No incluye Scope 3:** no abarca emisiones indirectas de la cadena de valor, como la fabricación del hardware; se espera en futuras versiones.
- **Retraso en los datos:** las métricas tienen un desfase de tres meses, lo que impide análisis en tiempo real.

⁵Cálculo de emisiones eléctricas usando la intensidad media de carbono de la red eléctrica local donde opera tu infraestructura.

⁶Cálculo de emisiones eléctricas usando contratos o certificados de energía renovable (RECs) que has comprado.

⁷Servicio que agrupa varias cuentas AWS para sumar todas sus emisiones de carbono en un único informe.

⁸Función de AWS que envía datos de emisiones y costes a un bucket S3 para que puedas procesarlos en otras herramientas.

⁹Servicio de BI en AWS que permite crear paneles y análisis visuales con los datos de emisiones exportados.

¹⁰Norma internacional para cuantificar y reportar emisiones de gases de efecto invernadero; asegura buen uso de metodologías.

- **Acceso restringido:** requiere permisos **IAM**¹¹ específicos para consultar la herramienta.
- **Ecosistema cerrado:** está limitado al entorno AWS, sin integración multicloud ni comparativa con infraestructura local (*on-premises*)¹².
- **Sin visión futura:** no proyecta emisiones futuras del cliente ni las compara con la hoja de ruta renovable de AWS.

Impact Framework

<https://greensoftware.foundation/>

<https://if.greensoftware.foundation/>

<https://if.greensoftware.foundation/intro>

Impact Framework es un conjunto de herramientas diseñado para medir las emisiones de carbono generadas por el uso del software. Se basa en una arquitectura modular, es decir, está compuesto por partes independientes llamadas **plugins**¹³ que se pueden combinar según las necesidades del análisis. Su objetivo es transformar métricas observables como el uso de CPU, los **bytes transferidos**¹⁴ o el número de visitas a páginas en estimaciones del impacto ambiental, es decir, cuántas emisiones de CO₂ se producen.

Existen dos tipos principales de plugins:

- **Plugins de observación:** recogen datos del sistema. Por ejemplo, el plugin **webpage-impact** mide cuántos **bytes transferidos** al cargar una página web.
- **Plugins de cálculo:** transforman esos datos en estimaciones de emisiones. Un ejemplo es el plugin **co2js**, que utiliza modelos como **Sustainable Web Design**¹⁵ u **OneByte**¹⁶ para calcular el carbono emitido a partir de los **bytes transferidos**. Estos modelos asumen valores promedio de consumo energético por cada byte enviado o recurso digital utilizado.

Se puede aplicar a varios escenarios relacionados con el desarrollo de software. Por ejemplo, permite evaluar el impacto ambiental de sitios web midiendo las emisiones por carga de página según los **bytes transferidos**. También se puede usar para analizar

¹¹Sistema de control de acceso de AWS: defines quién puede ver o exportar datos de emisiones de carbono en tu cuenta.

¹²Infraestructura propia (servidores físicos) cuya huella de carbono mides por tu cuenta, fuera de la nube de AWS.

¹³es un componente de software que añade una funcionalidad específica a un programa principal. Se utiliza para extender las capacidades de una aplicación sin modificar su núcleo

¹⁴Cantidad de datos enviados o recibidos; base para estimar la energía consumida por la red y emisiones.

¹⁵Modelo que asigna emisiones de CO₂ según el tamaño y transferencia de recursos de una página web.

¹⁶Modelo que calcula emisiones de carbono por byte transferido, basado en estadísticas de consumo energético.

el consumo de red y CPU en **APIs**¹⁷ o **microservicios**¹⁸, e integrarse en procesos de desarrollo automatizados (**pipelines CI/CD**¹⁹) para comprobar que nuevas versiones del software no incrementen su huella de carbono. Además, sirve para comparar alternativas tecnológicas desde un enfoque de sostenibilidad.

Puntos fuertes:

- **Arquitectura modular:** al estar basado en plugins, se puede personalizar y extender fácilmente según el software que se quiera analizar.
- **Flexibilidad:** sirve para diferentes tipos de software, como páginas web, apps móviles o sistemas en la **nube**.
- **Modelos validados:** usa modelos conocidos como **Sustainable Web Design** y **OneByte** para realizar las estimaciones de carbono, lo que le da credibilidad.
- **Código abierto:** cualquier persona puede usarlo y mejorarlo, ya que es libre y está apoyado por la Green Software Foundation.
- **Enfoque automatizable:** permite integrarse en procesos automáticos de desarrollo, usando un archivo de configuración en formato **YAML**²⁰.

Puntos débiles:

- **Precisión limitada:** como se basa en estimaciones, los resultados dependen de suposiciones generales que no siempre se ajustan a cada caso concreto. <https://www.npmjs.com/package/carbon-aware-sdk>
- **Curva de aprendizaje:** es necesario tener conocimientos técnicos para configurarlo correctamente, especialmente el archivo **IMP** y la selección de plugins.
- **Cobertura parcial:** es una herramienta relativamente nueva y todavía tiene pocos plugins disponibles, lo que limita su alcance actual.

Carbon Aware SDK

<https://greensoftware.foundation/>

<https://carbon-aware-sdk.greensoftware.foundation/>

<https://carbon-aware-sdk.greensoftware.foundation/docs/overview>

¹⁷Conjunto de reglas que permite la comunicación entre aplicaciones; su uso implica transferencia de datos.

¹⁸Componente de software independiente que realiza una función específica; su rendimiento afecta emisiones.

¹⁹Secuencia automatizada de integración, pruebas y despliegue de software; ideal para medir emisiones por versión.

²⁰Formato de texto legible para definir configuraciones, como parámetros de cálculo de emisiones.

Carbon Aware SDK es un conjunto de herramientas diseñado para ayudar a las aplicaciones a adaptar su comportamiento en función de la **intensidad de carbono**²¹ de la red eléctrica, considerando el momento y la ubicación geográfica. Su objetivo es permitir decisiones sostenibles en tiempo real, optimizando tareas para ejecutarse cuando hay mayor disponibilidad de energía limpia.

La herramienta incluye tanto una **API web** como una **interfaz de línea de comandos (CLI)**²², ofreciendo flexibilidad para distintos **entornos de despliegue**²³. La **API web** está orientada a **implementaciones centralizadas y auditables**²⁴, mientras que la **CLI** resulta útil en **sistemas heredados**²⁵ o **pipelines CI/CD**, garantizando una funcionalidad coherente en ambos casos.

Carbon Aware SDK se basa en una arquitectura de **plugins** que permite integrar múltiples fuentes de datos externas, como **WattTime**²⁶ o **Electricity Maps**²⁷, y estandariza automáticamente las unidades de medida a **gCO₂/kWh**²⁸. También es capaz de agregar datos por región, ofreciendo una visión más completa del impacto energético.

Está pensado para ser usado en aplicaciones que pueden modificar su comportamiento: por ejemplo, diferir tareas intensivas en momentos de menor huella de carbono o adaptarse en **entornos distribuidos y multinube**²⁹ que requieren ajustarse a diferentes niveles de intensidad energética según la localización.

Puntos fuertes:

- **Optimización dinámica:** ajusta la ejecución del software según la disponibilidad de energía limpia.
- **Versatilidad de uso:** ofrece tanto **API web** como **CLI**, adaptándose a distintos entornos de desarrollo.
- **Integración con proveedores diversos:** conecta con servicios como **WattTime** o **Electricity Maps** mediante **plugins**.
- **Estandarización automática:** convierte unidades dispares a **gCO₂/kWh** para facilitar el análisis.
- **Agregación regional:** combina datos de múltiples fuentes según la ubicación geográfica.

²¹Gramos de CO₂ emitidos por cada kWh producido; indica cuán limpia o sucia es la energía consumida.

²²Interfaz de línea de comandos; herramienta basada en texto para ejecutar funciones directamente.

²³Conjunto de infraestructuras y configuraciones donde corre el software (on-premises, nube, contenedores).

²⁴Despliegues controlados desde un único punto con trazabilidad completa de quién hizo qué y cuándo.

²⁵Aplicaciones o infraestructuras antiguas que aún están en producción y pueden no soportar nuevas integraciones.

²⁶Proveedor de datos en tiempo real y previsiones de intensidad de carbono de redes eléctricas.

²⁷Plataforma que ofrece datos históricos, en tiempo real y pronósticos de mezcla energética y emisiones.

²⁸Unidad de medida que expresa gramos de CO₂ emitidos por cada kilovatio-hora consumido.

²⁹Infraestructuras repartidas en varias regiones o proveedores de nube, cada una con distinta intensidad de carbono.

Puntos débiles:

- **Requiere implementación:** es necesario modificar el código de la aplicación para aprovechar sus funcionalidades.
- **Dependencia de terceros:** la precisión depende de la calidad de los datos de **WattTime** o **Electricity Maps**.
- **Curva de aprendizaje:** integrar la herramienta correctamente puede requerir esfuerzo técnico para configurar **.NET Core**, **Docker** y **pipelines CI/CD**.
- **Información limitada:** no ofrece desglose de la **mezcla energética**³⁰, solo la **intensidad agregada de carbono**³¹.
- **Conectividad constante:** necesita acceso continuo a las APIs, lo que lo hace inviable en entornos con mala conexión.

Cloud Carbon Footprint

<https://www.cloudcarbonfootprint.org/>

<https://www.cloudcarbonfootprint.org/docs/>

Cloud Carbon Footprint es una herramienta gratuita y de código abierto diseñada para visualizar el impacto ambiental de las infraestructuras cloud³² de proveedores como **AWS**, **Azure**³³ y **GCP**³⁴. Analiza los datos de facturación y uso para estimar el consumo energético y las emisiones asociadas. Su objetivo es proporcionar a las empresas una visión detallada de su huella de carbono en la nube, ayudándolas a tomar decisiones informadas para optimizar recursos y reducir emisiones.

La herramienta es **multicloud**³⁵, lo que significa que es compatible con AWS, Azure y GCP, y permite desglosar las métricas por cuenta, servicio y periodo. Cloud Carbon Footprint también ofrece recomendaciones específicas para la optimización de costos y la reducción de emisiones, tales como *rightsizing*³⁶ o eliminación de **instancias inactivas**³⁷. Además, cuenta con una buena variedad de opciones de visualización, como paneles interactivos y la capacidad de exportar datos en formatos **CSV** y **JSON**.

³⁰Composición porcentual de fuentes renovables y no renovables que alimentan una red eléctrica.

³¹Valor promedio de intensidad de carbono calculado a partir de múltiples fuentes o regiones.

³²Conjunto de recursos tecnológicos (como servidores, redes y almacenamiento) ofrecidos por proveedores en la nube para ejecutar servicios y aplicaciones.

³³Plataforma de servicios en la nube proporcionada por Microsoft, similar a AWS y GCP.

³⁴Google Cloud Platform, conjunto de servicios de computación en la nube desarrollados por Google.

³⁵Estrategia o herramienta que permite trabajar simultáneamente con múltiples proveedores de servicios cloud.

³⁶Técnica de optimización que consiste en ajustar los recursos cloud al tamaño y uso necesario, evitando sobredimensionamiento.

³⁷Máquina virtual u otro recurso en la nube que está encendido pero no está siendo utilizado, consumiendo energía y generando costes innecesarios.

Una de las funcionalidades destacadas es la estimación de ahorros de costo y carbono a futuro, proporcionando proyecciones basadas en las recomendaciones aplicadas. Esto permite a las organizaciones priorizar sus acciones de optimización y tomar medidas para reducir tanto los costos como el impacto ambiental de sus **infraestructuras cloud**.

Puntos fuertes:

- **Compatibilidad multicloud:** integración con los principales proveedores de nube (AWS, Azure y GCP).
- **Análisis detallado:** desglose de emisiones por cuenta, servicio y período, facilitando la identificación de áreas problemáticas.
- **Recomendaciones accionables:** sugiere optimizaciones específicas con estimaciones de ahorro en costos y emisiones.
- **Visualización interactiva:** paneles personalizables que facilitan la comprensión de datos complejos.
- **Código abierto:** permite personalización y contribuciones de la comunidad.

Puntos débiles:

- **Configuración inicial:** requiere conocimientos técnicos para la configuración de proveedores cloud.
- **Precisión variable:** las estimaciones pueden variar según la calidad y completitud de los datos de facturación disponibles.
- **Dependencia de datos externos:** requiere acceso a las APIs o datos de facturación de los proveedores cloud.

Carbonalyser

<https://theshiftproject.org/en/>

<https://addons.mozilla.org/es-ES/firefox/addon/carbonalyser/>

<https://github.com/carbonalyser/Carbonalyser>

Carbonalyser es una extensión de navegador gratuita que permite visualizar el impacto ambiental del uso de Internet. Estima las emisiones de carbono derivadas de la navegación web a partir de la cantidad de datos transmitidos, utilizando el modelo **”1byte”**³⁸ desarrollado por *The Shift Project*. A través de esta herramienta, los usuarios pue-

³⁸Modelo de estimación del consumo energético y emisiones de CO₂ basado en la cantidad de datos transmitidos por Internet, propuesto por *The Shift Project*.

den comprender mejor el impacto de su navegación en términos de consumo energético y emisiones de CO₂, ajustado a la intensidad de carbono de su región.

Está disponible para **Firefox**, y existen versiones *fork* para **Chrome** y **Edge**, lo que facilita su instalación y uso. La extensión procesa toda la información de manera **local**, sin enviar datos a servidores externos, lo que garantiza la privacidad del usuario. La visualización es intuitiva, mostrando un ranking de sitios web, datos transmitidos y comparaciones con actividades físicas cotidianas (como el uso de un móvil o la conducción).

Carbonalyser es además código abierto bajo licencia MIT, con el código alojado en **GitHub**³⁹. Permite configurar la ubicación eléctrica para ajustar las estimaciones a la **intensidad de carbono regional**⁴⁰, ayudando a que el análisis sea más contextual y educativo.

Puntos fuertes:

- **Muy fácil de usar:** instalación rápida en Firefox (y forks disponibles para Chrome y Edge).
- **Procesamiento 100 % local:** no transmite datos a terceros, garantizando privacidad.
- **Visualización clara y educativa:** rankings, comparativas y equivalencias comprensibles.
- **Código abierto y gratuito:** bajo licencia MIT, con comunidad en GitHub.
- **Cálculo adaptado por región:** permite configurar la localización eléctrica del usuario.
- **Herramienta útil para educación:** ideal para concienciar sobre sostenibilidad digital.

Puntos débiles:

- **Limitado al tráfico web:** no mide el impacto de componentes fuera del navegador.
- **Basado en modelos generalistas:** utiliza estimaciones teóricas ("1byte"), no mediciones de hardware reales.
- **No almacena datos históricos:** se reinicia al cerrar el navegador, sin seguimiento continuo.
- **No integrable en otros sistemas:** no puede incorporarse a software externo o pipelines.

³⁹Plataforma de desarrollo colaborativo basada en Git que permite almacenar, compartir y revisar código fuente.

⁴⁰Valor medio de emisiones por kWh en una región concreta, utilizado para estimar el impacto energético del centro de datos.

- **Desarrollo inactivo:** última versión publicada en 2020, con escasa evolución desde entonces.
- **Permisos elevados:** requiere acceso a pestañas y solicitudes web, lo que puede generar reticencias en entornos corporativos.
- **Cálculo adaptado por región limitado:** Solo permite elegir entre regiones muy amplias como Europa o Estados Unidos, lo que hace menos preciso el cálculo.

GreenFrame

<https://greenframe.io/>

<https://docs.greenframe.io/>

<https://marmelab.com/en/>

GreenFrame es una solución enfocada en medir el consumo energético y las emisiones de carbono generadas por aplicaciones web durante su ejecución. Permite realizar auditorías detalladas mediante una combinación de herramientas como una interfaz web, una línea de comandos (CLI) y escenarios personalizables a través de **Playwright**⁴¹, lo que permite simular interacciones reales con la aplicación.

Es especialmente útil en entornos de desarrollo, ya que permite comparar el impacto entre versiones de una misma aplicación o entre diferentes páginas. También se puede integrar con **GitHub** para bloquear automáticamente **pull requests**⁴² que superen un umbral de emisiones establecido, contribuyendo a una cultura **DevOps**⁴³ más sostenible.

GreenFrame realiza un análisis de **pila completa**, teniendo en cuenta el uso de CPU, red, memoria, disco y **PUE**⁴⁴ (Power Usage Effectiveness), con distinción entre tráfico **intranet** e **internet**. Está basado en un modelo científico desarrollado junto al **CNRS**⁴⁵ (Centro Nacional para la Investigación Científica de Francia), que ha sido **validado académicamente**.

Puntos fuertes:

- **Alta precisión y detalle:** mide múltiples métricas (CPU, memoria, red, disco, PUE), diferenciando tráfico local y externo.

⁴¹Herramienta de automatización de pruebas web que permite simular acciones del usuario (clics, escritura, navegación) en navegadores reales.

⁴²Solicitud para fusionar cambios de una rama a otra en un repositorio Git, sujeta a revisión antes de ser aceptada.

⁴³Práctica que integra desarrollo (Dev) y operaciones (Ops) para agilizar la entrega y mejorar la calidad del software.

⁴⁴(Power Usage Effectiveness) Métrica para evaluar la eficiencia energética de un centro de datos.

⁴⁵Centro Nacional de Investigación Científica de Francia. Participa en el modelo científico detrás de GreenFrame.

- **Pensado para desarrolladores:** comparativas entre versiones y páginas específicas.
- **Soporta distintos niveles de análisis:** desde páginas individuales hasta aplicaciones completas (*full-stack*).
- **Integración CI/CD:** integración con GitHub para evitar merges si se supera un umbral de emisiones.
- **Modelo validado científicamente:** desarrollado con el CNRS, transparente en metodología general.

Puntos débiles:

- **Modelo parcialmente cerrado:** la conversión a energía y CO₂ no es completamente transparente (algunos elementos son secretos comerciales).
- **Limitaciones en versión gratuita:** no incluye almacenamiento histórico ni visualización temporal; requiere conocimientos técnicos para usar la CLI.
- **No modela interacciones largas:** se centra en visitas individuales, sin simular sesiones prolongadas.
- **Web UI completa solo en plan Enterprise:** requiere suscripción de pago (12€/usuario/mes).
- **Curva de aprendizaje:** uso de CLI y Playwright implica mayor complejidad técnica.

Website Carbon Calculator

<https://www.websitecarbon.com/>

<https://www.websitecarbon.com/how-does-it-work/>

Website Carbon Calculator es una herramienta online gratuita que estima la huella de carbono de un sitio web analizando factores como el peso de la página, los recursos cargados, el tipo de contenido y la localización del servidor. Proporciona una puntuación energética (de la **A** a la **G**), una estimación de emisiones por visita y recomendaciones prácticas para mejorar la eficiencia.

Está pensada para facilitar una primera **auditoría**⁴⁶ accesible y sin conocimientos técnicos previos, siendo ideal para usuarios no técnicos, diseñadores web y campañas de sensibilización. También ofrece una **API REST**⁴⁷ para integraciones automatizadas.

Puntos fuertes:

⁴⁶Evaluación sistemática de una página web para determinar su eficiencia energética y huella digital.

⁴⁷Interfaz de programación que permite acceder a los servicios del sitio mediante solicitudes HTTP automatizadas.

- **Extremadamente accesible:** no requiere conocimientos técnicos.
- **Rápido y visual:** análisis en pocos segundos con resultados claros.
- **Comparación global:** útil para campañas de concienciación y benchmarking.
- **Gratuito y abierto:** interfaz sin coste y documentación disponible.
- **API disponible:** permite automatizar análisis desde scripts o plataformas externas.

Puntos débiles:

- **Modelo simplificado:** no mide interacciones complejas ni escenarios completos.
- **Menor precisión técnica:** basado en estimaciones generales, no analiza procesos del lado servidor.
- **No incluye comportamiento dinámico:** ignora scripts posteriores a la carga inicial.
- **No distingue tráfico local/internacional:** aplica valores promedio que pueden no reflejar la realidad específica.
- **Sin personalización ni históricos:** cada análisis es aislado, sin seguimiento temporal.

Ecograder

<https://ecograder.com/>

Ecograder es una herramienta gratuita que analiza la sostenibilidad de sitios web desde una perspectiva técnica y ambiental. Proporciona una puntuación de 1 a 100 basada en criterios como eficiencia del frontend, peso de la página, experiencia de usuario (UX) y uso de hosting sostenible. Utiliza el script **CO2.js**⁴⁸ para calcular las emisiones estimadas de carbono.

Es ideal para consultoras, desarrolladores web y diseñadores que buscan evaluar y mejorar la eficiencia ambiental de sus sitios de forma rápida, sin necesidad de configuración ni conocimientos avanzados.

Puntos fuertes:

- **Interfaz visual e intuitiva:** muestra resultados desglosados por categoría (peso, UX, hosting), con gráficas y explicaciones claras.

⁴⁸Biblioteca de código abierto que estima las emisiones de carbono de una página web basándose en cuatro áreas: dispositivo, red, servidor y hardware.

- **Puntuación global (1–100):** facilita la interpretación rápida del rendimiento ecológico de un sitio web.
- **Recomendaciones técnicas útiles:** incluye sugerencias concretas como minificar recursos, reducir llamadas HTTP, o cambiar a un proveedor de hosting verde.
- **Basado en CO2.js:** ofrece transparencia y confianza al usar una metodología reconocida y de código abierto para estimar emisiones.
- **Acceso instantáneo:** sólo requiere introducir una URL para obtener el análisis, sin necesidad de registro ni instalación.
- **Evaluación multidimensional⁴⁹:** considera tanto eficiencia técnica como prácticas sostenibles (energía renovable, peso de recursos, etc.).

Puntos débiles:

- **Limitado al frontend:** no evalúa consumo energético de servidores, APIs, bases de datos u otros elementos backend, solo hace una estimación del consumo energético basada en el tráfico de red y la intensidad de carbono regional.
- **Resultados poco estables:** las puntuaciones pueden variar entre análisis consecutivos debido a cambios dinámicos en el sitio o actualizaciones de la propia herramienta.
- **Sin simulaciones de usuario:** no permite crear escenarios personalizados ni medir la huella en flujos de interacción reales.
- **No guarda históricos:** no permite comparar resultados a lo largo del tiempo ni registrar progresos entre versiones.
- **Un solo análisis por vez:** no se pueden evaluar varias páginas simultáneamente desde la interfaz actual ya que aún no cuentan con una API.

CodeCarbon

<https://codecarbon.io/>

<https://mlco2.github.io/codecarbon/>

CodeCarbon es una biblioteca ligera de Python diseñada para estimar las emisiones de CO₂ asociadas a la ejecución de scripts y procesos computacionales. Calcula el consumo energético de CPU, GPU y RAM, y convierte estos datos en emisiones aproximadas según la **intensidad de carbono regional** de la región geográfica donde se ejecuta el código. Se integra fácilmente mediante **decoradores⁵⁰** o **gestores de contexto⁵¹**.

⁴⁹Análisis que contempla varios factores técnicos y ambientales, como eficiencia del código, UX, tamaño de archivos y uso de energía sostenible.

⁵⁰Función en Python que modifica el comportamiento de otra función o método.

⁵¹Estructura que gestiona recursos con ‘with’ en Python.

Es una solución ideal para proyectos de ciencia de datos, **machine learning** o cualquier **pipeline**⁵² Python que quiera monitorizar su huella de carbono.

Puntos fuertes:

- **Integración sencilla en Python:** basta con añadir un **decorador**² o usar un bloque **with**, sin alterar significativamente el código.
- **Contextualización clara de resultados:** incluye equivalencias (km en coche, horas de televisión) para entender el impacto.
- **Modos online y offline:** online obtiene intensidad de carbono actualizada vía APIs como **ElectricityMap**⁵³; offline permite especificar región manualmente (códigos ISO).
- **Ligero y eficiente:** pensado para no ralentizar significativamente los procesos.
- *Útil en notebooks, scripts y pipelines de **CI/CD**:* encaja en **Jupyter Notebooks**⁵⁴, **scripts** y cualquier pipeline mediante **CLI** o decoradores.
- **Comunidad activa y bien documentado:** disponible en **PyPI**¹², con ejemplos y documentación clara.

Puntos débiles:

- **Dependencia de datos externos:** precisión limitada si la API de intensidad de carbono no está actualizada.
- **Sin simulaciones de usuario:** no mide flujos de interacción reales, solo bloques de código.
- **Requiere configuración previa:** es necesario generar y gestionar el archivo de configuración.
- **Almacenamiento local:** offline solo guarda en ‘.csv’, sin historiales automáticos.
- **Sin API propia para análisis masivo:** no permite evaluar múltiples proyectos simultáneamente desde la web.

2.3. Conclusiones de la comparativa de herramientas

⁵²Secuencia automatizada de procesos o tareas en datos o código.

⁵³Servicio que ofrece datos sobre intensidad de carbono del consumo eléctrico en tiempo real.

⁵⁴Entorno interactivo para escribir y ejecutar código en Python.

Capítulo 3

Propuesta de implementación de EcoCode

3.1. Propuesta de valor

3.2. Diseño de la interfaz de usuario

Capítulo 4

Diseño Técnico

4.1. Historia de desarrollo

4.2. Diseño de pruebas

Capítulo 5

Documentación

5.1. Publicacion

Capítulo 6

Conclusiones y trabajos futuros

Bibliografía

Bibliografía

- [1] ACCIONA - Cambio Climático.
- [2] Sostenibilidad - Impactos del Cambio Climático.
- [3] Organización Mundial de la Salud - Cambio climático y salud.
- [4] UNFCCC - El Acuerdo de París.
- [5] Green Software Foundation - Software Carbon Intensity (SCI) Specification
- [6] Michael Zajer - How Green is your Software? Unravelling the SCI
- [7] Pereira et al. - Energy efficiency across programming languages
- [8] Electricity Maps - Live CO2 emissions of electricity consumption
- [9] Data Centre and Server Hardware Example Emissions

Apéndice A

Anexos

A.1. Configuración y uso de herramientas analizadas

A.1.1. AWS customer carbon footprint tool

1. Iniciar sesión con tu cuenta en la consola de AWS y abrir Billing and Cost Management.
2. En el menú lateral, seleccionar **Customer Carbon Footprint Tool**.
3. Elegir el **mes de inicio** y el **mes de fin**.

Esto mostrará una vista con la **información** de nuestras emisiones, permitiéndonos revisar el periodo de tiempo que deseemos.

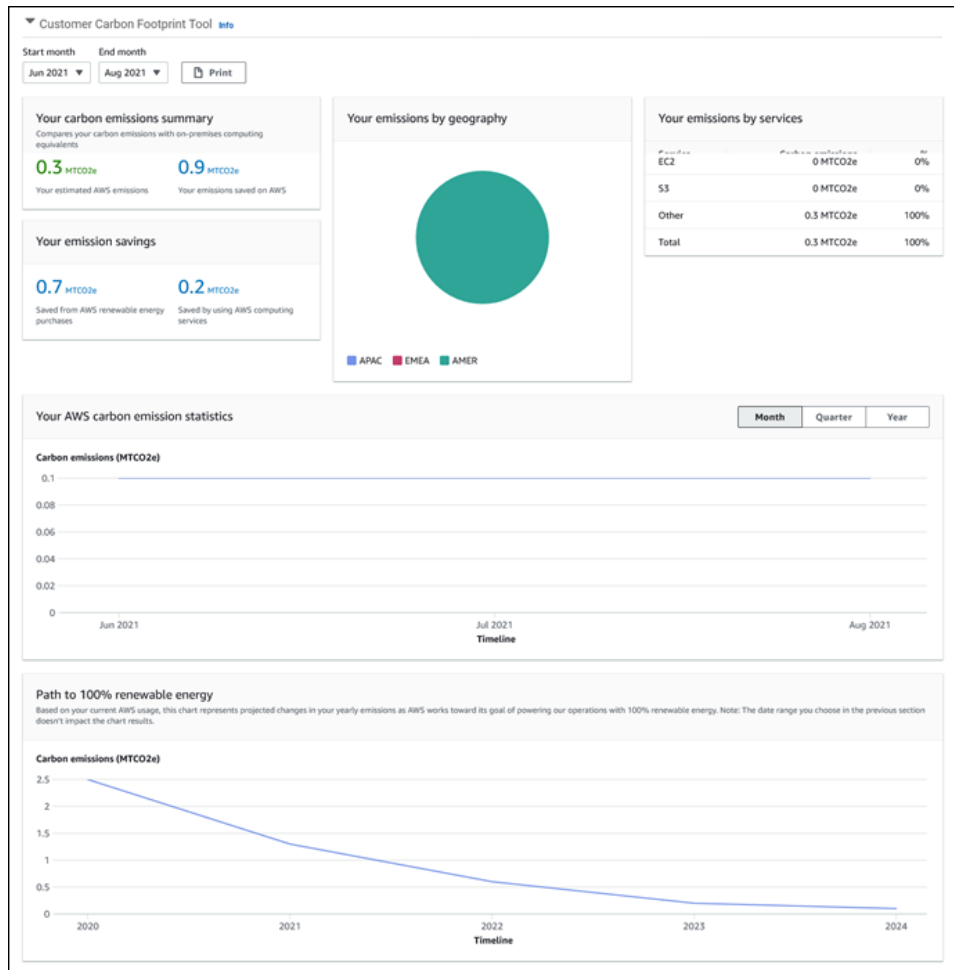


Figura A.1: Vista de la herramienta AWS Customer Carbon Footprint Tool.

A.1.2. Impact Framework

Se puede probar instalándolo en nuestro equipo mediante el **gestor de paquetes** npm¹:

```
1 npm install -g @grnsft/if
```

Creamos un fichero **IMP**² con la extensión **.yaml**³, el cual contendrá las configuraciones y los datos necesarios para medir el impacto energético y ambiental de nuestra aplicación:

¹Herramienta que instala y gestiona librerías o herramientas, como npm para proyectos JavaScript.

²Archivo de configuración de Impact Framework en formato YAML; define qué métricas y plugins usar.

³Archivo de configuración de Impact Framework en formato YAML; define qué métricas y plugins usar.

```

name: basic-demo
description:
tags:
initialize:
  plugins:
    double-a-value:
      path: 'builtin'
      method: Coefficient
      config:
        input-parameter: "cpu/utilization"
        coefficient: 2
        output-parameter: "cpu-utilization-doubled"

tree:
  children:
    child-0:
      defaults:
        cpu/thermal-design-power: 100
      pipeline:
        observe:
        regroup:
        compute:
          - double-a-value
      inputs:
        - timestamp: 2023-07-06T00:00
          duration: 1
          cpu/utilization: 20
        - timestamp: 2023-07-06T00:01
          duration: 1
          cpu/utilization: 80

```

Figura A.2: Archivo IMP de ejemplo

Tras esto, lo podemos ejecutar con:

```

1  if -run --IMP <path-to-your-IMP>

```

A.1.3. Carbon Aware SDK

Para usarlo por **CLI** necesitamos tener **.NET Core**⁴ (o usar **Docker**⁵ con VSCode y Remote Containers). Clonamos el repositorio con:

⁴Plataforma de ejecución multiplataforma de Microsoft para construir y ejecutar aplicaciones.

⁵Motor de contenedores que empaqueta aplicaciones con sus dependencias para ejecución aislada.

```
1 git clone https://github.com/Green-Software-Foundation/carbon-aware-sdk.git
```

y accedemos a la carpeta:

```
1 cd carbon-aware-sdk/src/CarbonAware.CLI/src
```

Podemos usar datos simulados por defecto o configurar variables de entorno si tenemos cuenta en **WattTime** o **Electricity Maps**. Ejecutamos comandos con:

```
1 dotnet run
```

Por ejemplo, para obtener emisiones de dos regiones en un período de tiempo:

```
1 dotnet run emissions -l eastus,uksouth -s 2022-08-23T11:15 -e 2022-08-23T11:20
```

```
[
  {
    "Location": "PJM_ROANOKE",
    "Time": "2022-08-23T11:20:00+00:00",
    "Rating": 567.44405487,
    "Duration": "00:05:00"
  },
  {
    "Location": "PJM_ROANOKE",
    "Time": "2022-08-23T11:15:00+00:00",
    "Rating": 564.72250065,
    "Duration": "00:05:00"
  },
  {
    "Location": "PJM_ROANOKE",
    "Time": "2022-08-23T11:10:00+00:00",
    "Rating": 564.72250065,
    "Duration": "00:05:00"
  },
  {
    "Location": "UK",
    "Time": "2022-08-23T11:20:00+00:00",
    "Rating": 422.74808884000004,
    "Duration": "00:05:00"
  },
  {
    "Location": "UK",
    "Time": "2022-08-23T11:15:00+00:00",
    "Rating": 422.74808884000004,
    "Duration": "00:05:00"
  },
  {
    "Location": "UK",
    "Time": "2022-08-23T11:10:00+00:00",
    "Rating": 422.74808884000004,
    "Duration": "00:05:00"
  }
]
```

Figura A.3: Salida del comando de emisiones para dos regiones.

Y para obtener el mejor momento y la región con menos emisiones en una ventana temporal específica:

```
1 dotnet run emissions -l eastus,uksouth -s 2022-08-23T00:00 -e  
2022-08-23T23:59 --best
```

```
[  
  {  
    "Location": "UK",  
    "Time": "2022-08-23T08:50:00+00:00",  
    "Rating": 384.64632976,  
    "Duration": "00:05:00"  
  }  
]
```

Figura A.4: Salida del comando para encontrar el mejor momento y región para minimizar emisiones.

Si preferimos la **API web** en lugar de la **CLI**, podemos ejecutarla y acceder a <http://localhost:5073/> y hacer llamadas desde la consola:

```
1 curl http://localhost:5073/locations
```

Esto devolverá un **JSON**⁶ con todas las ubicaciones disponibles. También es posible generar clientes en más de 50 lenguajes distintos usando **OpenAPI Generator**⁷, lo que facilita la integración en cualquier **stack**⁸.

A.1.4. Cloud Carbon Footprint

Para comenzar con Cloud Carbon Footprint, la forma más recomendada es crear una aplicación independiente usando la línea de comandos. Esto se hace con el paquete ejecutando el comando del gestor de paquetes npx:

```
1 npx @cloud-carbon-footprint/create-app
```

⁶Formato de intercambio de datos basado en texto, común en respuestas de APIs.

⁷Herramienta que genera clientes y servidores en varios lenguajes a partir de especificaciones OpenAPI.

⁸Conjunto de tecnologías (lenguajes, frameworks, bases de datos) utilizadas conjuntamente en un proyecto.

lo que te permite configurar rápidamente una instancia funcional de la aplicación con mínima personalización.

Terminamos de configurarlo con nuestras cuentas de los distintos servicios que queremos analizar con:

```
1 cd my-ccf-app
2 yarn guided-install
```

Inicializamos la aplicación que hemos creado con:

```
1 yarn start
```

Lo cual nos sirve el frontend en <http://localhost:3000>, en el cual se nos muestra toda la información y podemos decidir los filtros y opciones que queramos para una mejor visualización:

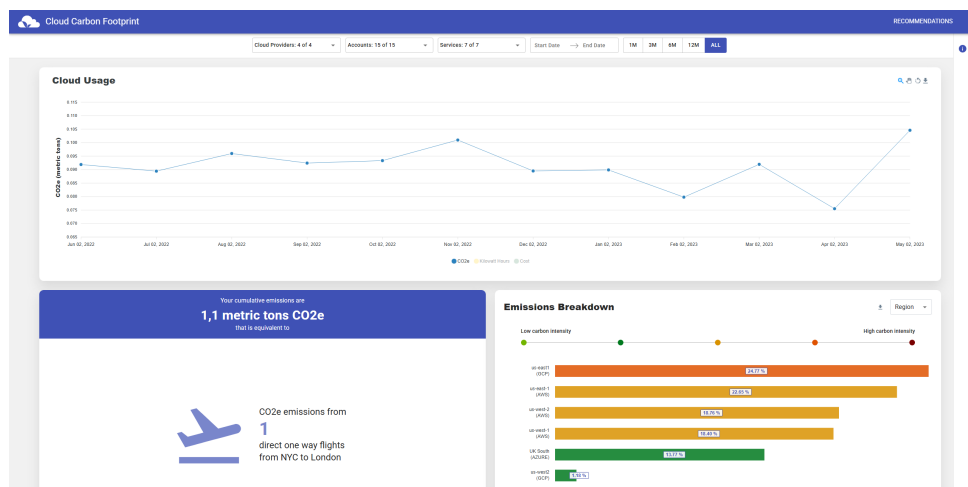


Figura A.5: Panel principal de Cloud Carbon Footprint



Figura A.6: Visualización de métricas en Cloud Carbon Footprint

También puedes clonar el repositorio y configurar la aplicación localmente para realizar los cambios que necesites. Otra opción es ejecutar la aplicación en un **entorno efímero**⁹ usando **Gitpod**¹⁰, lo que te permite probar la aplicación sin configuraciones locales, aunque es menos flexible para personalización a largo plazo.

A.1.5. Carbonalyser

Al ser una extensión del navegador, es tan fácil como obtenerla como cualquier otra mediante el buscador de extensiones del navegador.

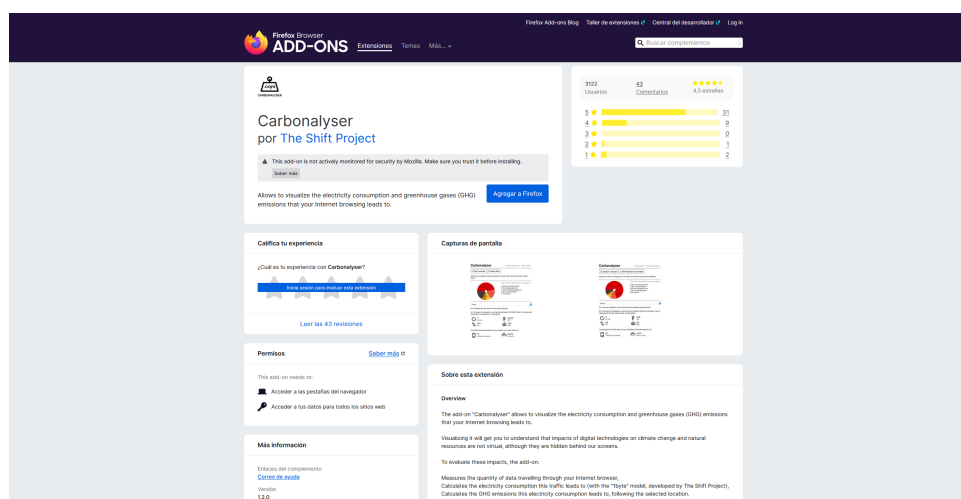


Figura A.7: Instalación de Carbonalyser en Firefox

Una vez instalada podremos iniciar un análisis que analizará nuestra actividad en el navegador a partir de ese punto.

⁹Entorno temporal de desarrollo o ejecución que se puede eliminar fácilmente tras su uso, sin dejar persistencia local.

¹⁰Plataforma basada en la nube que permite lanzar entornos de desarrollo preconfigurados directamente desde un navegador.

⏻ Run analysis

Figura A.8: Interfaz de monitorización de Carbonalyser

Una vez hemos terminado, volvemos e indicamos nuestra región y con esto nos dirá toda la información relevante en relación al análisis.

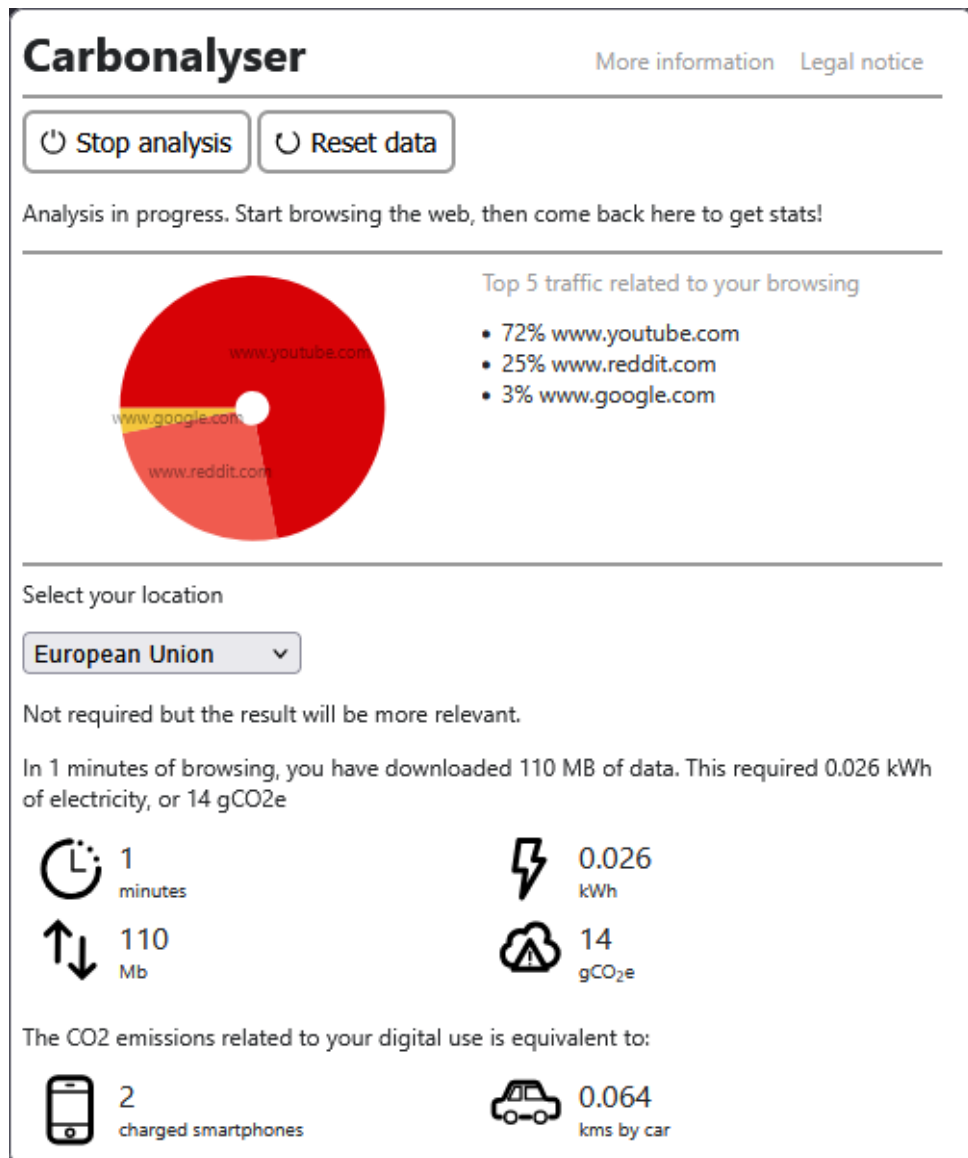
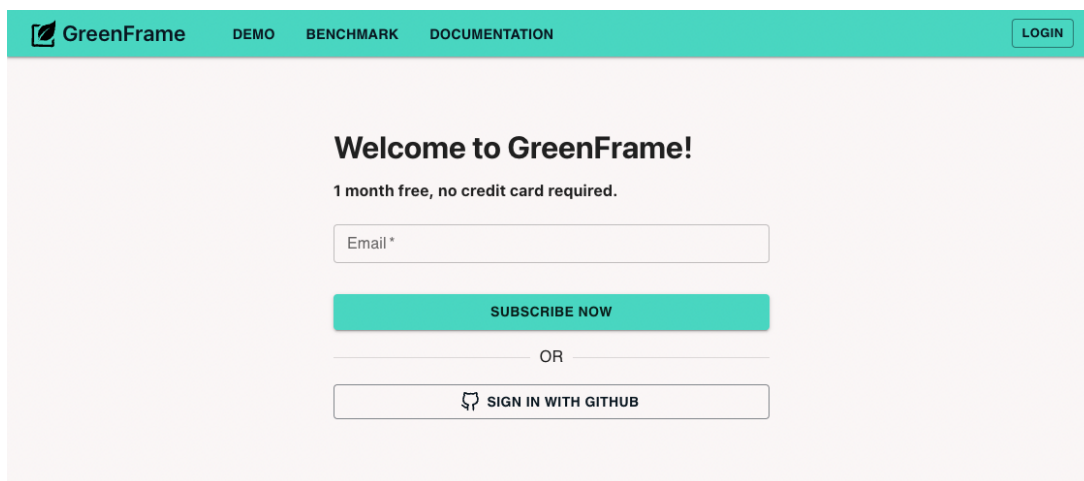


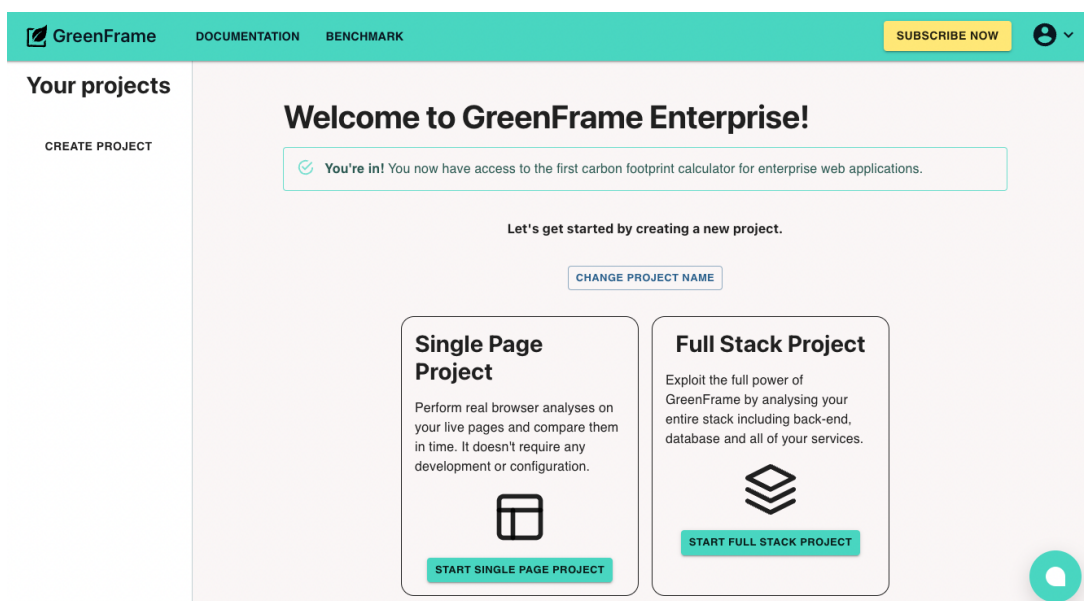
Figura A.9: Resultados del análisis de emisiones

A.1.6. Greenframe

La forma más accesible y recomendada para comenzar con **GreenFrame** es a través de su interfaz web.



Tras crear una cuenta gratuita (1 mes), puedes iniciar un proyecto y elegir entre dos tipos de análisis: **"Single page"** y **"Full stack"**. El tipo *Single page* está pensado para medir el impacto ambiental de una visita a una página web concreta, como por ejemplo una **landing**¹¹ o una página de inicio. Es ideal para casos sencillos y rápidos de analizar. Por otro lado, la opción *Full stack* permite definir escenarios más complejos, simulando acciones del usuario en varias páginas e incluyendo la medición del comportamiento del servidor (como contenedores Docker), ofreciendo una visión más completa de la huella digital de toda la aplicación.



Una vez que defines el tipo de proyecto e introduces la URL a analizar, **GreenFrame simula tres visitas reales al sitio** usando un navegador en la nube. Durante estas visitas registra múltiples métricas: uso de CPU, tráfico de red, consumo de memoria y tiempo de carga. Esto le permite calcular de forma más precisa las **emisiones estimadas de CO₂ equivalente (gCO₂e)** que produce la interacción simulada.

¹¹Página de aterrizaje web diseñada para recibir visitas y provocar una acción específica, como registrarse o comprar.

[DOCUMENTATION](#)
[BENCHMARK](#)
[SUBSCRIBE NOW](#)

Your projects

marmelab

CREATE NEW PROJECT

Project marmelab

Single Page project

Create your first analysis

Perform an analysis by entering the URL of your page.

Your page URL

Latest analyses

COMPARE 0 / 2

UNSELECT

Analysis for https://marmelab.com

running

marmelab
 less than a minute ago

Cuando el análisis finaliza (puede tardar unos minutos), se muestran los resultados en una vista gráfica e interactiva. Se incluye un resumen con la cantidad total de emisiones generadas y un **desglose por componentes y etapas del escenario**. Puedes examinar el comportamiento temporal de cada componente (por ejemplo, el navegador), accediendo a una línea de tiempo que detalla cómo y cuándo se generaron las emisiones durante la visita.

[DOCUMENTATION](#)
[BENCHMARK](#)
[SUBSCRIBE NOW](#)

Your projects

marmelab

CREATE NEW PROJECT

Back to marmelab
#1 Analysis for https://marmelab.com

finished

Marmelab - Digital Innovation Studio

Global estimated consumption:
93 mg eq. CO₂ (229 mg/min)
 211 mWh

marmelab
 5 minutes ago
 Samples: 3
 Duration: 2 minutes

Single page analysis

finished

Per minute	Per execution	1000 executions	Unit
229 mg/min	93 mg	93 g	Co2 eq. <input checked="" type="radio"/> Energy

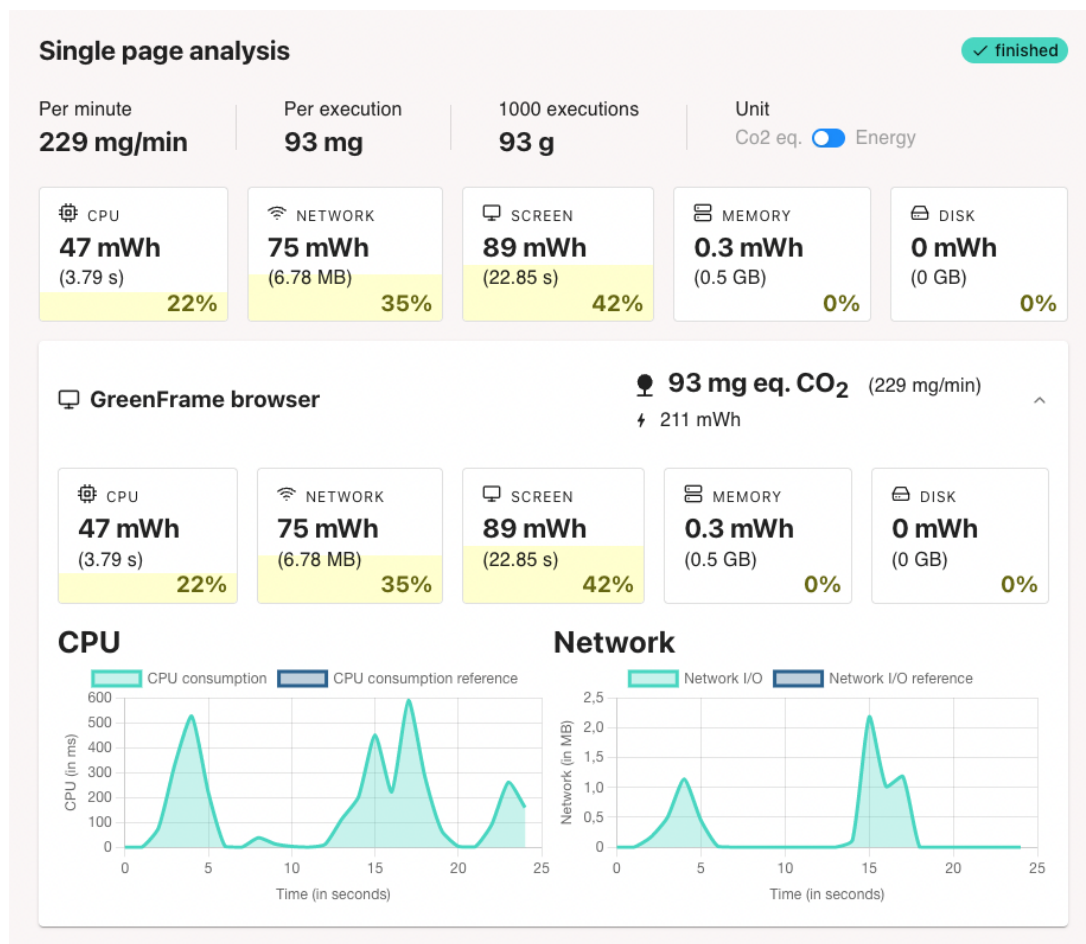
47 mWh
(3.79 s) **22%**

75 mWh
(6.78 MB) **35%**

89 mWh
(22.85 s) **42%**

0.3 mWh
(0.5 GB) **0%**

0 mWh
(0 GB) **0%**



Además, GreenFrame permite comparar diferentes análisis realizados sobre la misma página o en distintas versiones del sitio. Esto es útil para evaluar si los cambios en el código o contenido han reducido (o aumentado) el impacto ambiental. El sistema te avisa si las diferencias entre análisis son mínimas y podrían no ser significativas.

Project marmelab

⚙️

Single Page project

Perform an analysis by entering the URL of your page.

Your page URL

https://marmelab.com

ANALYZE

Latest analyses

COMPARE 2 / 2

UNSELECT

✓ Analysis for https://marmelab.com

✓ finished

🌱 93 mg eq. CO₂ (232 mg/min)

⚡ 211 mWh

📁 marmelab

🕒 4 minutes ago

✓ Analysis for https://marmelab.com

✓ finished

🌱 93 mg eq. CO₂ (229 mg/min)

⚡ 211 mWh

📁 marmelab

🕒 about 19 hours ago

Single page analysis

✓ finished

Per minute

229 mg/min

Per execution

93 mg

1000 executions

93 g

Unit

Co2 eq. ☒ Energy

🖨️ CPU

47 mWh (3.79 s)

22%

🌐 NETWORK

75 mWh (6.78 MB)

↓ 1%

35%

🖥️ SCREEN

89 mWh (22.85 s)

↑ 2%

42%

💾 MEMORY

0.3 mWh (0.5 GB)

0%

💾 DISK

0 mWh (0 GB)

0%

🖥️ GreenFrame browser

🌱 93 mg eq. CO₂ (229 mg/min)

⚡ 211 mWh

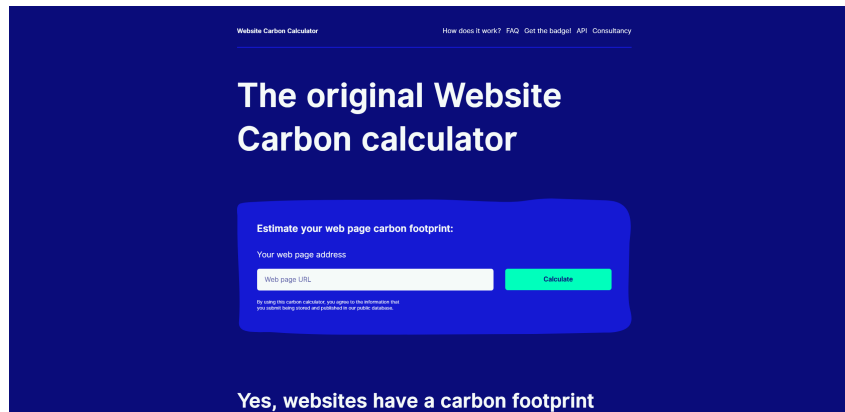
Además, puedes usar **GreenFrame** desde la terminal con su CLI, o integrarlo en un **pipeline de integración continua** (CI¹²) para análisis automatizados. Estas opciones son más potentes para desarrolladores que buscan incorporar la sostenibilidad en sus flujos de trabajo.

A.1.7. Website Carbon Calculator

La forma más sencilla y recomendada de utilizar Website Carbon Calculator es a través de su interfaz web.

¹²(Continuous Integration) Técnica de desarrollo que automatiza la integración de código mediante pruebas continuas.

44



Al introducir la URL del sitio web a analizar, la herramienta realiza las siguientes acciones:

- Mide el volumen de datos transferidos al cargar la página.
- Aplica un **factor de energía promedio por byte**¹³, considerando el consumo en el dispositivo del usuario, la red y el centro de datos.
- Consulta la base de datos de la **Green Web Foundation**¹⁴ para saber si el proveedor de alojamiento usa energía renovable.
- Convierte el consumo energético estimado (en kWh) en emisiones de CO₂e utilizando factores de conversión basados en la fuente de energía.

El resultado del análisis incluye:

- **Emisiones estimadas por visita** (en gCO₂e).
- Comparación con el **promedio global** (~0.8 gCO₂e/vista).
- **Porcentaje "cleanerThan"**¹⁵: indica qué proporción de sitios analizados son más contaminantes que el tuyo.
- Estimación anual de emisiones basada en el número de visitas.

¹³Estimación de energía consumida al transferir datos en internet, considerando red, servidores y dispositivos.

¹⁴Organización que mantiene una base de datos sobre si los proveedores usan energía renovable.

¹⁵Métrica que indica el porcentaje de sitios web más contaminantes que el analizado.

Website carbon results for: [ugr.es](#)

Oh no! This web page achieves a carbon rating of D

This is dirtier than **60%** of all web pages globally[Learn about our rating system](#)This page was last tested on 4 Jun, 2024. [Test again](#)[Copy URL](#)

Oh my, **0.63g of CO2** is produced every time someone visits this web page.

[How do we calculate this?](#)

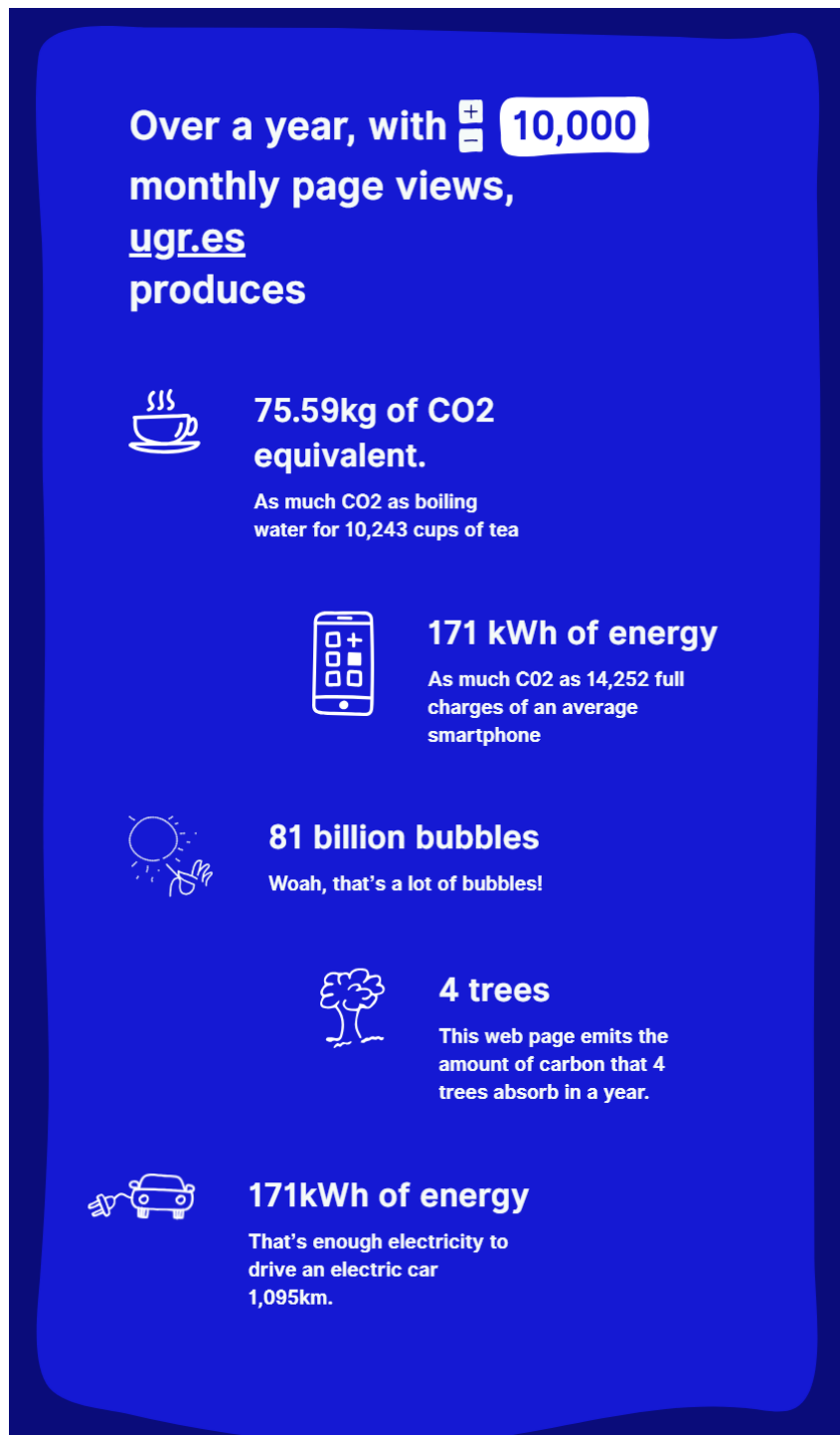
Oh no, it looks like this web page uses **bog standard energy**

↪ If this site used green hosting, then it would emit 9% less CO2

[How do we find this out?](#)

This result is an approximation

You can get a comprehensive view of a website's emissions and potential improvements by carrying out a [Website Carbon Audit](#).



A.1.8. Ecograder

Para usarlo solo necesitaremos entrar en su web <https://ecograder.com/> y introducir la URL de la web que queremos analizar.

Your report is loading... one moment please.

14%



DID YOU KNOW?

"Digital activity is emerging as the next frontier in the sustainability movement... Expect data sustainability to be a major keystone in companies' climate-change goals over the next decade."

— [Wunderman Thompson Intelligence](#), Digital Sustainability

ECOGrader lanzará un análisis que combina **Lighthouse**¹⁶ y **CO2.js** para estimar las emisiones de CO₂ equivalente (gCO₂e). **CO2.js** calcula emisiones según cuatro segmentos: dispositivo de usuario, red, centro de datos (usando datos de la red eléctrica regional, según la **intensidad de carbono regional**) y producción de hardware. Además, integra datos de intensidad de carbono por región y detecta si el sitio está alojado en un proveedor "**hosting verde**"¹⁷. Por su parte, **Lighthouse** aporta métricas de rendimiento como "**First Contentful Paint (FCP)**"¹⁸ o "**Time to Interactive (TTI)**"¹⁹, que ECOGrader adapta para generar recomendaciones de optimización.

¹⁶Herramienta automatizada de Google que audita el rendimiento, accesibilidad y buenas prácticas de páginas web.

¹⁷Servicio de alojamiento web alimentado total o parcialmente por fuentes de energía renovables.

¹⁸Métrica de Lighthouse que mide el tiempo hasta que el primer contenido se renderiza en pantalla.

¹⁹Métrica de Lighthouse que indica cuándo una página se vuelve completamente interactiva para el usuario.

Your Impact Report

Report for:
https://www.ugr.es/

Performance Impact

Ecograder Score

57

Out of 100 ⓘ

Emissions per Pageload

3.37

grams of carbon dioxide ⓘ

Ecograder scores pages based on a variety of performance, efficiency, and user experience factors as well as emissions estimates and green hosting powered by renewable energy.

Page Weight



65

UX Design



56

Green Hosting



100

This page scores worse than 77% of all URLs crawled by Ecograder



Climate Impact

Digital Carbon Rating ⓘ

E

A+ A B C D E ⓘ

Ecograder's digital carbon rating system gives this URL an "E" on a scale of A to E.

Page Emissions ⓘ

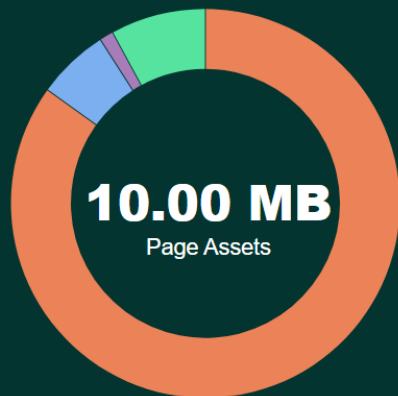
3.37 g

Assuming your page gets 1000 ✓ pageviews, you're emitting **3370.00 grams** of carbon dioxide.

Page Weight ⓘ

10.00 MB

This page is 127.88% larger than the average web page.



Scripts and media assets contribute to your page's emissions estimate but they aren't the only factor. The chart below breaks down estimated emissions impact per page view of individual asset types at this URL.

Images: 8.51 MB, 2.8700 g of CO₂e

Scripts: 595.48 KB, 0.2007 g of CO₂e

HTML/CSS: 110.15 KB, 0.0371 g of CO₂e

Other: 787.19 KB, 0.2655 g of CO₂e



How to Improve Your Site

[HOW IT WORKS](#)[SHARE REPORT](#)

Use the list below to improve your website and reduce emissions in three key areas: performance, user experience, and green hosting.

1

Page Weight

By compressing image file size and removing unused items from a page you'll not only reduce emissions but faster-downloading pages make users happier as well. Below are some things you can do to reduce the size of this page.



Optimize Media

78 OUT OF 100



Reduce Overall Page Weight

25 OUT OF 100



Remove Unused Code

50 OUT OF 100



Properly size images

87 OUT OF 100



Remove duplicate modules in JavaScript bundles

100 OUT OF 100



Reduce the impact of third party code

100 OUT OF 100



2

UX Design

Creating an accessible user experience that is free from barriers or intrusions helps people find what they need and accomplish tasks quickly. This is important because end consumer device use can potentially account for up to 52% of a digital product or service's overall emissions. Here are a few recommendations for providing your users with a better experience.



Improve Page Rendering

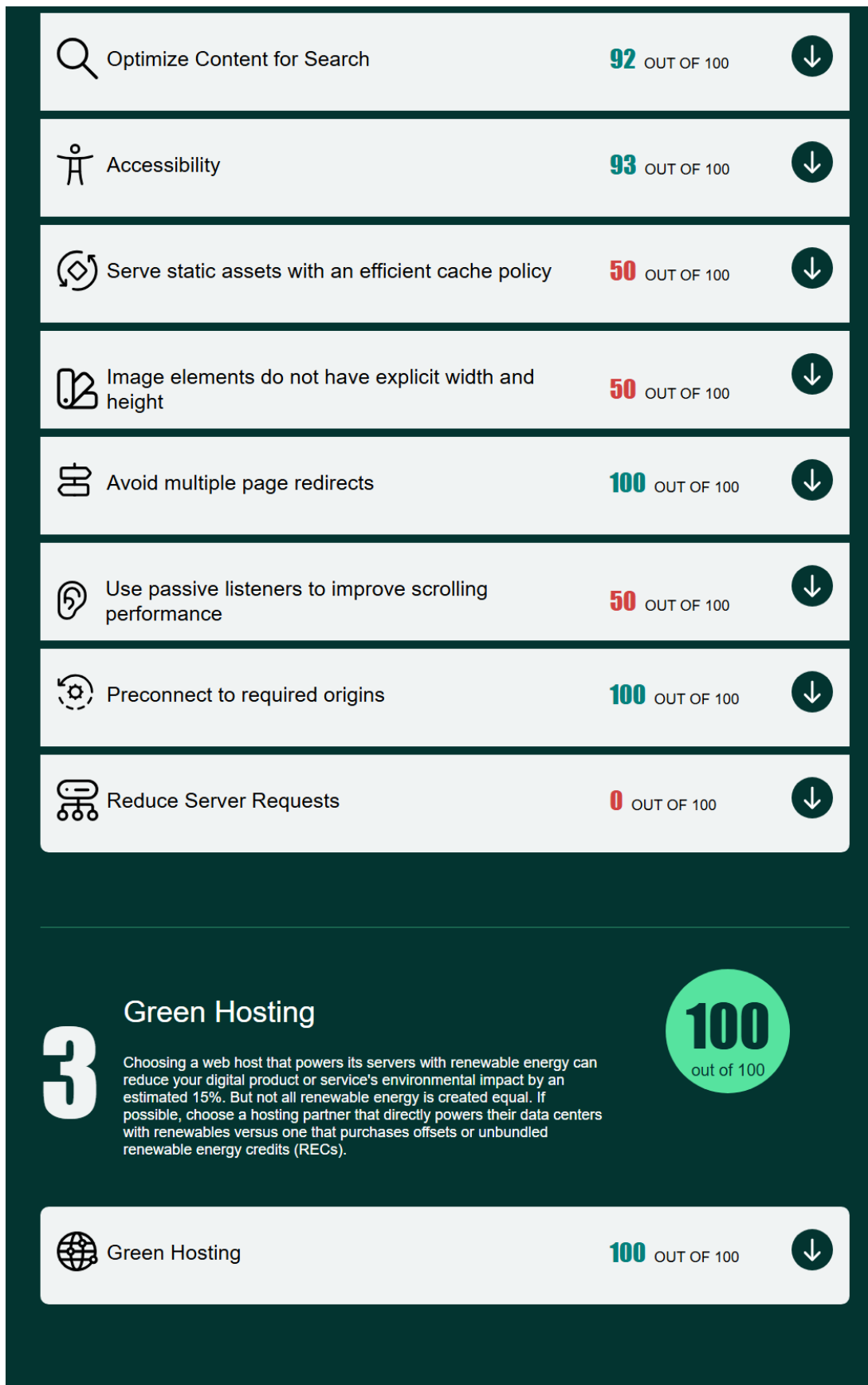
46 OUT OF 100



Page Interactions

56 OUT OF 100





A.1.9. CodeCarbon

Para poder usarlo en nuestros proyectos instalaremos el paquete de Python usando los gestores de paquete **pip**²⁰ o **conda**²¹:

```
1 pip install codecarbon
```

Tras esto, usando el comando

```
1 codecarbon config
```

se nos guiará a la hora de crear el archivo de configuración de nuestro proyecto, en el que indicaremos datos como la región o si este se está ejecutando en la nube.

A continuación ya podemos monitorear las emisiones de nuestro equipo sin cambiar el código con:

```
1 codecarbon monitor
```

El cual enviará la información a una **API** alojada en "localhost:8008".

CodeCarbon también permite medir emisiones usando un objeto **EmissionsTracker** con **start()** y **stop()**, ideal para bloques amplios de código:

```
1 from codecarbon import EmissionsTracker
2 tracker = EmissionsTracker()
3 tracker.start()
4 try:
5     #Codigo intensivo en computo aqui
6     _ = 1 + 1
7 finally:
8     tracker.stop()
```

Y para secciones específicas puedes usar tareas con **start_task()** / **stop_task()**:

²⁰Herramienta para instalar y gestionar paquetes de Python.

²¹Gestor de entornos y paquetes, popular en ciencia de datos.

```

1     try:
2         tracker = EmissionsTracker(project_name="bert_inference
3                                     ", measure_power_secs=10)
4         tracker.start_task("load dataset")
5         dataset = load_dataset("imdb", split="test")
6         imdb_emissions = tracker.stop_task()
7         tracker.start_task("build model")
8         model = build_model()
9         model_emissions = tracker.stop_task()
10    finally:
11        _ = tracker.stop()

```

Otra opción es el uso como **gestor de contexto**³:

```

1     from codecarbon import EmissionsTracker
2
3     with EmissionsTracker() as tracker:
4         # Código intensivo aquí

```

Y finalmente, si tu código está en una función, puedes decorarla con `@track_emissions`:

```

1     from codecarbon import track_emissions
2
3     @track_emissions
4     def training_loop():
5         # Código de entrenamiento intensivo aquí

```

Además, dispones de dos formas de visualizar los datos recopilados:

Offline, con la herramienta `carbonboard`:

```

1     carbonboard --filepath="examples/emissions.csv" --port=3333

```

Across All Projects

Net Power Consumption : **496 kWh**

Net Carbon Equivalent : **527 kg**

Select a Project

project_alpha

Infrastructure Hosted at **Ontario, Canada**

Power Consumption Across All Experiments : **113 kWh**

Last Run Power Consumption : **6 kWh**

Carbon Equivalent Across All Experiments : **120 kg**

Last Run Carbon Equivalent : **4 kg**

Exemplary Equivalents



74.73 %
of weekly
American
household
emissions

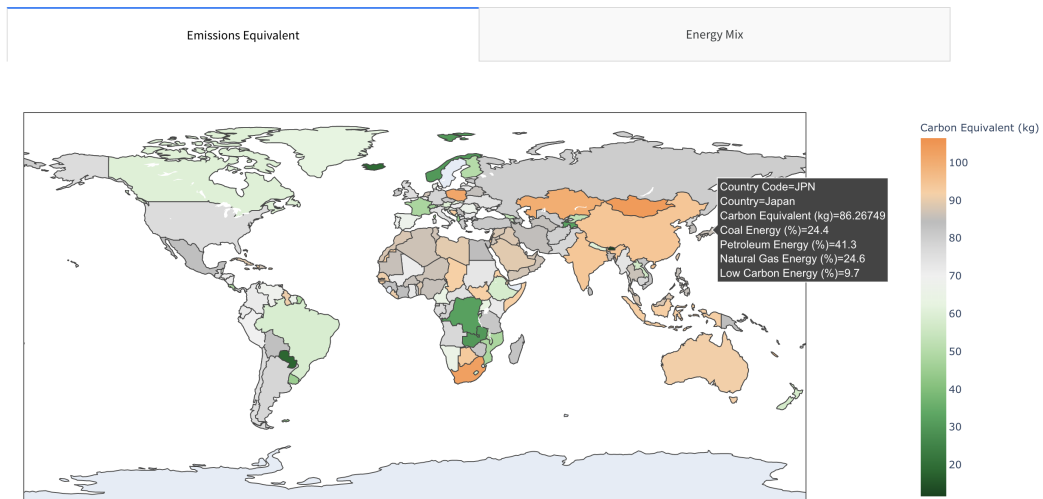


293 miles
driven



52 days
of 32-inch
LCD TV
watched

Global Benchmarks



Online, si permites subir datos a la API pública de CodeCarbon, accediendo a un dashboard web:

