

## **Estrategias para Reducir la Huella de Carbono Informática**

Gustavo Aldegani. Facultad de Ingeniería y Tecnología Informática, Universidad de Belgrano. gustavo.aldegani@comunidad.ub.edu.ar

### **Abstract**

Continuar las investigaciones sobre el tema de la Huella de Carbono Informática es esencial para minimizar el Impacto Ambiental, lograr la sustentabilidad, usar de manera eficiente los recursos naturales, promover una nueva viabilidad económica e impulsar la colaboración global para resolver el problema.

En este artículo se desarrolla un resumen de las estrategias actuales de mitigación como la Eficiencia Energética, el uso de Energías Renovables, la aplicación del concepto de Economía Circular y las iniciativas de Compensación y Tecnologías de Captura de Carbono.

Por último, se plantean cinco líneas de investigación futuras: Mejora de los Análisis del Ciclo de Vida (Life Cycle Assessment LCA), Impacto de las Tecnologías Emergentes, Comportamiento del Usuario y su Consumo de Energía, Economía Circular en la Informática y Análisis de Impacto de Políticas y Regulaciones.

La mitigación de la Huella de Carbono Informática es un paso esencial hacia un futuro sustentable.

Palabras Clave:

- Huella de Carbono Informática
- Sustentabilidad
- Eficiencia energética
- Economía Circular
- Tecnologías de Captura de Carbono

### **Abstract**

Continuing research on the topic of Computer Carbon Footprint is essential in order to minimize environmental impact, achieve sustainability, use natural resources efficiently, promote new economic viability, and drive global collaboration to address the issue.

This article includes a summary of the current mitigation strategies such as energy Efficiency, the use of renewable Energies, the application of the Circular Economy concept, and the initiatives involving Compensation and Carbon Capture technologies.

Finally, five lines of future research are outlined: Improvement of Life Cycle Assessment (LCA) Analyses, Impact of Emerging Technologies, User Behavior and Energy Consumption, Circular Economy in Computing, and Analysis of Policy and Regulation Impact.

Mitigating the Computer Carbon Footprint is an essential step towards a sustainable future.

Keywords:

- IT Carbon Footprint
- Sustainability

- Energy Efficiency
- Circular Economy
- Carbon Capture Technologies

## Introducción

Abordar el problema de la Huella de Carbono Informática es de suma importancia debido a sus significativas y poderosas implicaciones ambientales. La urgencia de continuar las investigaciones sobre este tema se deriva de los siguientes factores críticos:

27

- **Mitigación del Impacto Ambiental:** La Informática contribuye actualmente en gran medida a las emisiones globales de carbono. La evolución de sus tecnologías como la adopción masiva de los servicios de Inteligencia Artificial Generativa, generarán un aumento significativo de requerimientos de infraestructuras que, si no son diseñadas tomando en cuenta su Impacto Ambiental, contribuirán de manera negativa a la sustentabilidad.
- **Sustentabilidad y Responsabilidad:** Estamos en la era del desarrollo sustentable, por lo que las organizaciones y los individuos tienen una responsabilidad ética y moral para reducir su Huella de Carbono. El Impacto Ambiental Informático no puede ser pasado por alto y se requieren medidas proactivas.
- **Conservación de Recursos:** La Informática requiere vastas cantidades de energía y materias primas para su existencia, lo que se traduce en consumo de recursos. Abordar su Huella de Carbono implica optimizar el uso de recursos y transitar un camino hacia prácticas más sustentables y con visión de largo plazo.
- **Viabilidad Económica:** Las Prácticas Informáticas Sustentables pueden conducir a ahorros de costos a través de la implementación de eficiencia energética y la adopción de fuentes de Energía Renovable. Las empresas que priorizan la reducción de su Huella de Carbono pueden mejorar su sustentabilidad económica y su resiliencia.
- **Conciencia Pública y Educación:** Al abordar el tema de la Huella de Carbono Informática, aumentamos la conciencia entre el público y los protagonistas de la industria sobre el Impacto Ambiental de la tecnología en general. Este conocimiento fomenta una cultura de Consumo Responsable y promueve opciones sustentables.
- **Colaboración y Liderazgo Global:** El problema de la Huella de Carbono Informática requiere de la colaboración internacional para su solución. A través de esfuerzos coordinados, países, organizaciones e individuos pueden trabajar juntos para desarrollar nuevas políticas, tecnologías e iniciativas efectivas con el objetivo de reducir el Impacto Ambiental.

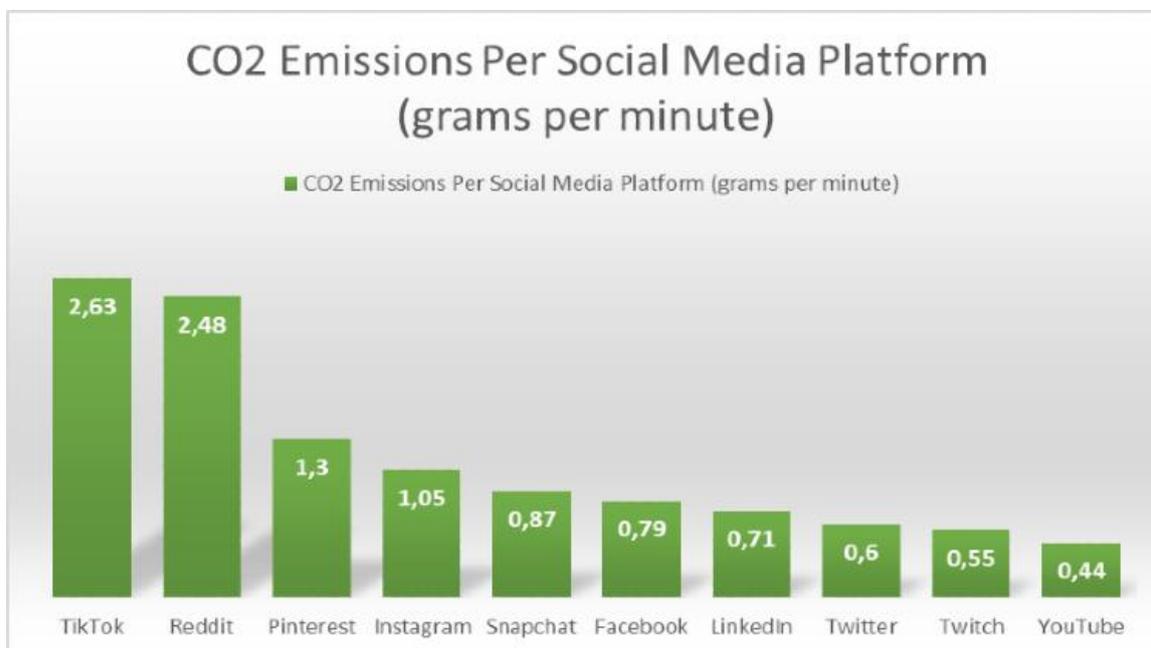
## Algunos datos para dimensionar la Huella de Carbono Informática

El Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) es un gas que contribuye al Efecto Invernadero. Para cuantificar su impacto, se utiliza el concepto de Potencial de Calentamiento Global (Global Warming Potential - GWP).

El GWP se refiere a la capacidad de calentamiento de un gas en particular en comparación con el dióxido de carbono durante un período de tiempo específico, generalmente 100 años. El GWP del CO<sub>2</sub> se establece como 1 por definición en un período de 100 años. Esto significa que un kilogramo de CO<sub>2</sub> tiene un GWP de 1 durante 100 años.

Para evaluar el Impacto Ambiental total de un kilogramo de CO<sub>2</sub>, es importante considerar su efecto acumulativo a lo largo del tiempo y cómo contribuye al calentamiento global, aumento del nivel del mar, eventos climáticos extremos, afectación de ecosistemas, riesgos para la salud humana y anomalías en la agricultura.

Sólo las redes sociales son responsables de lo siguiente:



Fuente: Dixon, S. (2022). Carbon emissions of leading social media apps 2021. Statista. Recuperado de <https://www.statista.com/statistics/1177323/social-media-apps-energy-consumption-milliampere-hour-france/>

## Cuatro estrategias para disminuir la Huella de Carbono Informática

### 1. Eficiencia Energética

Mejorar la Eficiencia Energética en dispositivos y sistemas es uno de los puntos fundamentales para reducir la Huella de Carbono y, en general, el Impacto Ambiental de la industria de la Tecnología Informática. A continuación, se describen algunos enfoques.

#### Optimización de hardware:

- **Procesadores energéticamente eficientes:** Diseñar y utilizar procesadores con características como puertas lógicas y escalado dinámico de voltaje y frecuencia (Power Gating and Dynamic Voltage and Frequency Scaling - DVFS) para ajustar el consumo de energía según la carga de trabajo.
- **Componentes de baja potencia:** Emplear componentes como discos rígidos de estado sólido (Solid State Drive – SSD) en lugar de los mecánicos y módulos de memoria RAM de bajo consumo, para reducir el consumo de energía y la generación de calor.
- **Fuentes de alimentación eficientes:** Utilizar, para la provisión de energía eléctrica al hardware, unidades de suministro de energía altamente eficientes que desperdicien menos energía en el proceso de conversión de corriente alterna a corriente continua.
- **Mejores sistemas de enfriamiento:** Emplear tecnologías avanzadas, como el enfriamiento por líquido o ventiladores más eficientes.

#### Optimización de software:

- **Algoritmos optimizados:** Desarrollar y utilizar algoritmos que requieran menos recursos computacionales, reduciendo la carga de trabajo y el consumo de energía de los dispositivos.
- **Optimización del código:** Optimizar el código del software para reducir la redundancia y las operaciones ineficientes, asegurando una ejecución más rápida y un menor consumo de energía.
- **Procesamiento Paralelo:** Aprovechar técnicas de Procesamiento Paralelo para distribuir cargas de trabajo entre múltiples núcleos de procesamiento o sistemas, maximizando la eficiencia y reduciendo los tiempos de trabajo.
- **Gestión Dinámica de Energía (Dynamic Power Management - DPM):** Implementar estrategias DPM para adaptar de manera dinámica el consumo de energía de cada componente individual según su carga de trabajo en cada momento, ahorrando energía durante períodos de inactividad o de menor requerimiento de uso.

#### Centros de cómputo energéticamente eficientes:

- **Virtualización y consolidación:** Utilizar la virtualización para consolidar servidores y reducir el número de equipos físicos, optimizando la utilización de recursos y reduciendo el consumo de energía.
- **Infraestructura energéticamente eficiente:** Emplear racks de servidores, sistemas de refrigeración y diseños de centros de cómputo energéticamente eficientes.

#### Conciencia y comportamiento del usuario:

- **Educación y formación:** Fomentar hábitos de uso responsable de los dispositivos informáticos entre los usuarios, como la configuración de la gestión de energía y el apagado o puesta en hibernación cuando no se los utiliza.
- **Trabajo remoto y computación en la nube:** Una estrategia organizacional de racionalización del trabajo remoto y el uso de la computación basada en nube

(Cloud Computing), puede optimizar el consumo de recursos y reducir el tiempo de inactividad de los dispositivos.

### **Consideraciones sobre el ciclo de vida de los dispositivos:**

- **Productos de vida útil prolongada:** Diseñar dispositivos para que sean duraderos y actualizables en sí mismos, reduciendo la frecuencia de reemplazo y el consumo de energía asociado.
- **Reciclaje y eliminación adecuada:** Fomentar la eliminación responsable de los residuos electrónicos y promover el reciclaje para recuperar materiales, reduciendo la necesidad de producción adicional.

### **Incentivos y regulaciones:**

- **Incentivos gubernamentales:** Proporcionar incentivos fiscales y otros beneficios a organizaciones e individuos que implementen Tecnologías Informáticas energéticamente eficientes.
- **Reglamentos y normas:** Fomentar el cumplimiento de normas y regulaciones para dispositivos y sistemas informáticos, que garanticen un nivel mínimo de rendimiento energético.

### **Ejemplos de casos de Eficiencia Energética en Informática**

- **Centros de cómputo de Google:**
  - Implementación de algoritmos avanzados de aprendizaje automático para optimizar los sistemas de enfriamiento, reduciendo el uso de energía para la refrigeración hasta en un 30%.
  - Utilización de tecnología de enfriamiento por intercambio con aire exterior, para reducir la dependencia de los métodos tradicionales.
  - Logro de un Índice de Efectividad del Uso de la Energía (Power Usage Effectiveness - PUE) de 1,11 en la mayoría de sus centros de cómputo.
- **Centro de cómputo de Facebook en Prineville (Oregon – Estados Unidos):**
  - Utilización de un sistema de enfriamiento evaporativo que reduce la necesidad de refrigeración mecánica convencional.
  - Implementación de un diseño de racks de servidores que optimiza el flujo de aire y reduce la demanda de refrigeración.
  - Logro de un PUE de 1,06.
- **Centro de cómputo de IBM en Suiza:**
  - Utilización de agua fría de un lago cercano para la refrigeración.
  - Implementación de monitoreo y análisis avanzados para optimizar el uso de servidores y ajustar dinámicamente las necesidades de refrigeración.
  - Logro de un PUE de 1,25.
- **Centros de cómputo de Microsoft:**

- Investigación e implementación de sistemas de refrigeración por inmersión en líquido.
- Utilización de inteligencia artificial (IA) para optimizar las operaciones.
- **Intel:**
  - Implementación de diseños de microprocesadores energéticamente eficientes.
  - Desarrollo de procesos de fabricación con racionalización energética.
  - Aumento del uso de materiales reciclados en el embalaje de sus productos.

### Fuentes de artículos académicos e informes de la industria sobre Eficiencia Energética en Informática

#### Revistas:

- **Journal of Energy Efficiency** - Sitio web: [Journal of Energy Efficiency](#)
- **IEEE Transactions on Sustainable Computing** - Sitio web: [IEEE Transactions on Sustainable Computing](#)
- **ACM Transactions on Internet of Things (TIOT)** - Sitio web: [ACM Transactions on Internet of Things \(TIOT\)](#)

#### Fuentes de Conferencias

- **International Conference on Energy-Efficient Large-Scale Distributed Systems (EE-LSDS)** - Sitio web: [EE-LSDS Conference](#)
- **International Conference on Internet and Sustainable ICTs for Sustainability (SustainIT)** - Sitio web: [SustainIT Conference](#)
- **International Green Computing Conference (IGCC)** - Sitio web: [International Green Computing Conference \(IGCC\)](#)

#### Fuentes de Informes de Organizaciones:

- **U.S. Department of Energy - Advanced Manufacturing Office** - Sitio web: [DOE Advanced Manufacturing Office](#). Publica informes sobre Eficiencia Energética en la fabricación, entre los que se incluyen los relativos a Tecnología Informática.
- **International Energy Agency (IEA)** - Sitio web: [International Energy Agency \(IEA\)](#). Publica informes sobre Eficiencia Energética, incluidos los de Tecnología Informática y de Comunicaciones.
- **Green500** - Sitio web: [Green500](#). Proporciona una lista actualizada regularmente de las supercomputadoras energéticamente más eficientes en el mundo, además de informes e información relacionada.

## 2. Adopción de Energías Renovables

Integrar fuentes de energía renovable en las operaciones es un paso crítico para lograr la sustentabilidad de la industria de la Tecnología Informática. A continuación, se presentan algunas estrategias para implementarlas.

### **Auditorías y Evaluación de las Necesidades Energéticas:**

- Realizar auditorías exhaustivas de energía, para comprender los patrones de uso y las necesidades específicamente Informáticas. Analizar los picos de consumo y los requisitos de potencia, para decidir qué soluciones de energías renovables son las más adecuadas en cada caso.

### **Integración de Energía Solar:**

- **Instalaciones solares en el lugar:** Instalar paneles solares en el lugar, especialmente en los techos para optimizar el uso de los espacios.
- **Acuerdos de Compra de Energía (Power Purchase Agreements - PPA):** Establecer PPAs con granjas solares.

### **Integración de Energía Eólica:**

- **Generadores eólicos en el lugar:** Considerar que, a diferencia de la solar, la energía eólica tiene mayores requerimientos en cuando características geográficas y espacio para su instalación.
- **Adquisición de Energía Eólica Externa:** Asociarse con granjas eólicas comprar energía.

### **Integración de Energía Hidroeléctrica:**

- **Microsistemas hidroeléctricos:** Implementar sistemas de energía hidroeléctrica a pequeña escala cuando la instalación informática está cerca de una fuente de agua.

### **Sistemas de Energía Híbrida:**

- **Combinación de múltiples fuentes de energía renovable:** Analizar en cada caso si es posible combinar múltiples fuentes de energías renovables, para crear un sistema híbrido confiable y resistente, equilibrando la oferta y la demanda de manera efectiva.

### **Soluciones de Almacenamiento de Energía:**

- **Baterías:** Integrar soluciones de almacenamiento de energía para almacenar el exceso de energía renovable y utilizarla durante los picos de demanda o cuando las fuentes renovables no estén disponibles. Si bien actualmente las más eficientes resultan ser las de iones de Litio, se deben tomar en cuenta los desarrollos de baterías de estado sólido, de flujo, de zinc-aire, de litio-azufre, de sodio y de aluminio-grafeno.

### **Ejemplos de compañías y regiones que adoptaron fuentes de energía renovable para sus operaciones Informáticas**

- **Apple Inc. (Estados Unidos):**
  - Sus operaciones globales son neutras en carbono debido a que utilizan un 100% de energía renovable para todos sus centros de cómputo y oficinas corporativas.
  - Sus centros de cómputo en Estados Unidos, Dinamarca e Irlanda utilizan sistemas híbridos que combinan energía solar y eólica.

- Colabora con sus proveedores para ayudarlos a hacer la transición a energías renovables, con el objetivo de crear una cadena de suministro neutra en carbono.
- **Google (Estados Unidos):**
  - Es neutra en carbono desde el año 2007 por medio de una estrategia de compra de energía renovable que tiene como objetivo igualar el 100% de su consumo global de electricidad. Actualmente, es el mayor consumidor corporativo de energía renovable a nivel mundial.
  - Googleplex (la sede central de Google) es alimentada por una instalación de paneles solares de 1,6 MW en sus techos, generando una parte significativa de la electricidad necesaria para las instalaciones.
- **Islandia:**
  - La generación de electricidad en Islandia proviene casi en su totalidad de fuentes de energía renovable, principalmente energía geotérmica e hidroeléctrica, lo que la convierte en una locación atractiva para las empresas que buscan suministrar electricidad a sus centros de cómputo de manera sustentable.

### **Fuentes de artículos académicos e informes sobre la integración de fuentes de Energía Renovable en operaciones informáticas**

#### **Revistas:**

- **Renewable and Sustainable Energy Reviews** - Sitio web: [Renewable and Sustainable Energy Reviews](#): Publica regularmente artículos de investigación relacionados con la integración de fuentes de Energía Renovable en varios sectores, incluido el de Tecnología Informática.
- **Journal of Renewable and Sustainable Energy** - Sitio web: [Journal of Renewable and Sustainable Energy](#): Cubre investigaciones sobre tecnologías de Energía Renovable y sus aplicaciones, incluidas las relacionadas con la Tecnología Informática.

#### **Fuentes de Conferencias:**

- **IEEE International Conference on Sustainable Computing and Communications (SustainCom)** – Sitio web: [SustainCom](#): Presenta investigaciones sobre Informática Sustentable, incluida la integración de fuentes de Energías Renovables.
- **ACM e-Energy** - Sitio web: [ACM e-Energy](#): Incluye discusiones e investigaciones relacionadas con la informática energéticamente eficiente y la integración de fuentes de Energías Renovables.

#### **Fuentes de Informes de organizaciones:**

- **International Renewable Energy Agency (IRENA)** - Sitio web: [IRENA](#): Publica informes y estudios de casos relacionados con la integración de fuentes de Energías Renovables en diferentes sectores, incluido el de la Tecnología Informática.

- **National Renewable Energy Laboratory (NREL)** - Sitio web: [NREL](https://www.nrel.gov/): Publica regularmente investigaciones y estudios de casos relacionados con la integración de Energía Renovable y sus aplicaciones, incluida la Informática.

### 3. Economía circular aplicada a la Informática

La economía circular es un modelo que tiene como objetivo minimizar el desperdicio y maximizar la eficiencia en el uso de los recursos, particularmente materiales y productos, durante el mayor tiempo posible. Esto se logra a través de la reutilización, reacondicionamiento, reciclaje y regeneración de materiales y productos.

La idea básica de este modelo es cambiar el enfoque lineal tradicional de "tomar-hacer-eliminar", por uno circular en el que los materiales y productos se reutilizan y reciclan, racionalizando el consumo de recursos naturales. A continuación, se presentan algunas estrategias para implementarlo.

#### Circularidad por diseño

- Diseñar todo tipo de dispositivos informáticos con componentes modulares para facilitar la reparación y actualización, prolongando su vida útil.
- Crear dispositivos con interfaces estandarizados para permitir el reemplazo de componentes y reducir los desechos electrónicos.

#### Eficiencia en el Uso de Recursos:

- Minimizar el consumo de recursos durante la fabricación utilizando procesos de producción eficientes y reciclando materiales.

#### Reutilización y Renovación:

- Desarrollar programas por medio de cuales los usuarios puedan devolver sus dispositivos antiguos para su reventa, donación o reutilización de componentes.

#### Reciclaje y Recuperación de Materiales:

- Establecer programas de reciclaje de residuos electrónicos para recuperar materiales valiosos como metales, plásticos y elementos de tierras raras.
- Fomentar el reciclaje de baterías y otros componentes peligrosos de manera ambientalmente responsable.

#### Expansión de la Digitalización:

- Utilizar dispositivos de Internet de las cosas (Internet of Things) y sensores para monitorear y optimizar el consumo de energía en centros de cómputo y todo tipo de infraestructuras Informáticas.
- Desarrollar herramientas de software para registrar el ciclo de vida de productos, permitiendo una reutilización, reciclaje y recuperación de materiales eficientes.

#### Colaboración y Compromiso:

- Fomentar la colaboración entre fabricantes, recicladores, reguladores y consumidores para establecer estándares de la industria sobre prácticas informáticas circulares y sustentables.

- Comprometer a los consumidores en las acciones de eliminación responsable y reciclaje de residuos electrónicos.

#### **Fuentes de artículos académicos e informes sobre prácticas de Economía Circular en Informática**

- **IEEE Xplore** - Sitio web: [IEEE Xplore Digital Library](https://ieeexplore.ieee.org/)
- **ACM Digital Library** - Sitio web: [ACM Digital Library](https://dl.acm.org/)
- **ScienceDirect** - Sitio web: [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com/)
- **SpringerLink** - Sitio web: [SpringerLink](https://www.springerlink.com/)
- **Taylor & Francis Online** - Sitio web: [Taylor & Francis Online](https://www.tandfonline.com/)
- **Wiley Online Library** - Sitio web: [Wiley Online Library](https://onlinelibrary.wiley.com/)

#### **4. Compensación de Carbono y Captura de carbono:**

Las iniciativas de Compensación de Carbono y tecnologías de Captura de Carbono, ayudan a las industrias a avanzar hacia la sustentabilidad (si bien contribuyen a reducir las emisiones en lo inmediato, no reemplazan a la necesidad de invertir a largo plazo en Energías Renovables y Eficiencia Energética). A continuación, se presentan algunas estrategias para implementarlas.

##### **Iniciativas de Compensación de Carbono:**

Estas iniciativas implican compensar las emisiones dióxido de carbono, invirtiendo en proyectos que reducen o capturan una cantidad equivalente del gas en otros lugares. Estos proyectos pueden incluir generación de Energías Renovables, forestación o reforestación. Los principales beneficios de su implementación son:

- Fomentar la inversión en proyectos de sustentabilidad que reducen las emisiones de carbono.
- Ayudar a las empresas de Informática a lograr metas de neutralidad de carbono.

##### **Tecnologías de Captura y Almacenamiento de Carbono (Carbon Capture and Storage - CAC):**

Estas iniciativas implican capturar emisiones de dióxido de carbono de diversas fuentes, como plantas de energía o procesos industriales, y almacenar o reutilizar el gas capturado, evitando que se libere en la atmósfera.

Las infraestructuras informáticas de centros de cómputo pueden capturar las emisiones de dióxido de carbono provenientes de la generación de energía en el lugar (un ejemplo de esto son los equipos generadores de energía a partir de combustible líquido que se ponen en marcha cuando falla la red de alimentación eléctrica externa). Los principales beneficios de su implementación son:

- Proporcionar una solución provisional para abordar las emisiones hasta la implementación de fuentes de Energía Renovable.
- Posibilitar un uso más responsable de combustibles fósiles.

#### **Fuentes de ejemplos de casos de Compensación y Captura de carbono**

- **Salesforce y sus Iniciativas de Energía Renovable (Compensación de carbono):**
  - Desarrollaron un proyecto de infraestructura de nube (Cloud Computing) neutral en carbono para todos sus clientes, utilizando créditos para la implementación de energías renovables y proyectos de compensación de carbono.
- **Compromiso de Carbono Negativo de Microsoft (Captura y Compensación de Carbono):**
  - Invirtieron mil millones de dólares en un Fondo de Innovación Climática para acelerar el desarrollo de tecnologías de reducción y eliminación de carbono.
- **Compromiso Climático de Amazon (Compensación de carbono):**
  - Crearon el "Right Now Climate Fund" para invertir en reforestación, energía renovable y otros proyectos para compensar las emisiones de carbono.
  - Utilizan, para sus operaciones de logística cien mil vehículos eléctricos Rivian.
- **Estación de Energía Drax (Reino Unido) (Captura de Carbono):**
  - Utilizan tecnología de Captura y Almacenamiento de Carbono de bioenergía para lograr emisiones de carbono negativas.
  - Capturan una tonelada de dióxido de carbono por día como parte de un proyecto piloto que los puede llevar a lograr emisiones negativas.
- **Proyecto Vesta (San Francisco – Estados Unidos) (Captura de Carbono):**
  - Utilizan ciertos tipos de rocas en áreas costeras para capturar dióxido de carbono de la atmósfera a través de un proceso de mineralización natural.

#### **Fuentes de documentos de la industria sobre Compensación y Captura de Carbono.**

- **Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)** - Sitio web: [IPCC](#): Publica informes exhaustivos sobre el impacto ambiental, incluyendo temas relacionados con la Captura y Almacenamiento de Carbono.
- **Global Carbon Project** - Sitio web: [Global Carbon Project](#): Publica investigaciones y datos sobre las emisiones globales de carbono y proyectos de Captura de Carbono.
- **Carbon Trust** - Sitio web: [Carbon Trust](#): Publica informes sobre estrategias de reducción de carbono, incluyendo la Captura y Compensación de carbono.
- **IEA Greenhouse Gas R&D Programme** - Sitio web: [IEA Greenhouse Gas R&D Programme](#): Publica informes y estudios sobre tecnologías de Captura y Almacenamiento de Carbono.

#### **Ideas para la continuación de líneas de investigación futuras**

- **Mejora de los Análisis del Ciclo de Vida (Life Cycle Assessment - LCA):** Realizar LCAs más precisos para hardware y software, considerando parámetros como el uso de energía basado en locación geográfica (privilegiando las zonas en las que se pueden implementar Energías Renovables), los procesos de fabricación y los métodos de eliminación. Esto facilitará una evaluación más precisa y completa de la Huella de Carbono.
- **Impacto de las Tecnologías Emergentes:** Investigar la Huella de Carbono de tecnologías emergentes como la Computación Cuántica, la Informática de Borde (Edge Computing) y el consumo de los Servicios de Inteligencia Artificial. Comprender su Impacto Ambiental es necesario para la toma de decisiones para el desarrollo y la implementación de estrategias sustentables.
- **Comportamiento del Usuario y su Consumo de Energía:** Estudiar el comportamiento de las personas que utilizan sistemas informáticos en cualquiera de sus formas y su influencia en el consumo de energía, incluyendo factores como patrones de uso, conciencia y respuesta a incentivos. Esta información puede llevar a generar intervenciones dirigidas a reducir el consumo de energía.
- **Economía Circular en la Informática:** Desarrollar el potencial de un enfoque de economía circular para el hardware informático. Esto definirá los próximos desafíos para la industria Informática.
- **Análisis de Impacto de Políticas y Regulaciones:** Evaluar la efectividad e impacto de políticas y regulaciones existentes y potenciales dirigidas a reducir la Huella de Carbono Informática. Esto permitirá comprender cómo se pueden optimizar los marcos políticos para impulsar prácticas sustentables en todo el sector de la Informática.