



# Informática sostenible

Christian Aarón Campos Lucas e  
Ignacio Trejos Zelaya  
Universidad CENFOTEC

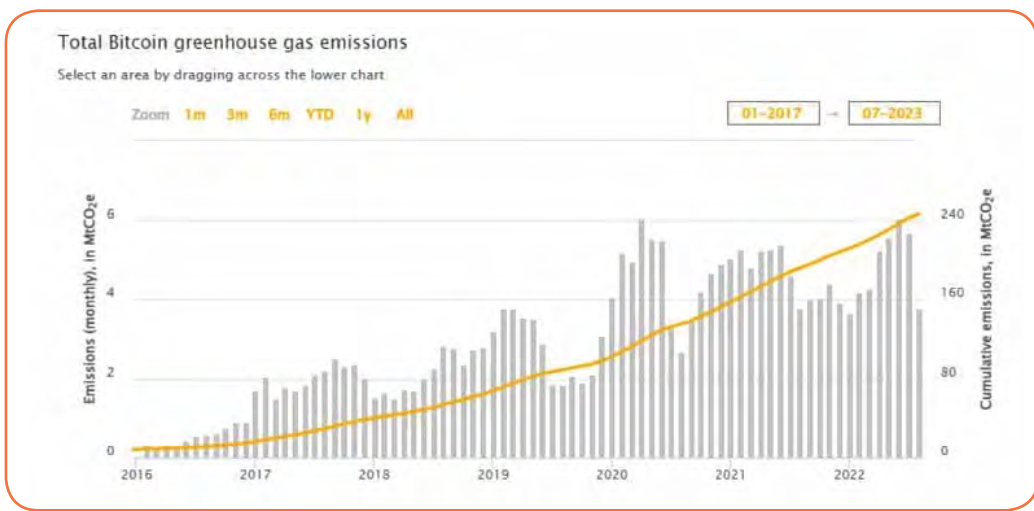
Algo es **sostenible** si posee la capacidad de mantenerse o perdurar en el tiempo sin agotar los recursos necesarios para su existencia. La sostenibilidad implica satisfacer las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. Este concepto se basa en el equilibrio entre los aspectos económicos, sociales y ambientales de las actividades humanas.

Existen tres dimensiones clave de la sostenibilidad:

- 1. Ambiental:** Se refiere a la capacidad de mantener y preservar los recursos naturales y el equilibrio ecológico. Incluye la conservación de la biodiversidad, la gestión sostenible de los recursos naturales, el reciclaje y la reutilización de productos, la reducción de la contaminación y la mitigación del cambio climático.
- 2. Social:** Implica el fomento de comunidades saludables, equitativas y justas. Esto abarca aspectos como el respeto de los derechos humanos, la igualdad de oportunidades, la justicia social, la participación ciudadana y la promoción de condiciones de vida dignas para todas las personas.
- 3. Económica:** Se relaciona con la creación de sistemas económicos que sean viables a largo plazo. Esto comprende el desarrollo de prácticas comerciales éticas, la promoción de la eficiencia en el uso de recursos, la equidad en la distribución de la riqueza y la promoción de modelos económicos que no agoten los recursos de manera no sostenible.

Este enfoque integrado aborda la interdependencia de los sistemas ambientales, sociales y económicos, así como el equilibrio entre ellos. Reconoce que estos aspectos están intrínsecamente vinculados y deben abordarse de manera conjunta para lograr un desarrollo sostenible. El desarrollo sostenible es un objetivo global que busca mejorar la calidad de vida de las personas sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para hacer lo mismo.

**ESG** (por sus siglas en inglés, **Environmental, Social, and Governance**) se refiere



Total de emisiones de gas de efecto invernadero por Bitcoin

a factores **Ambientales, Sociales y de Gobernanza**. ESG es un conjunto de criterios utilizados para evaluar las prácticas éticas y sostenibles de una empresa, negocio o institución pública. Estos criterios son cada vez más importantes para inversionistas, accionistas, consumidores y otras partes interesadas en entender cuán bien se alinea una empresa con objetivos sociales y ambientales - más allá de su desempeño financiero.

- Estos son los componentes de ESG:
- 1. Ambiental (E):** Este aspecto evalúa el impacto de una empresa sobre el ambiente. Incluye consideraciones como la huella de carbono de la empresa, eficiencia energética, gestión de residuos, uso del agua y otras prácticas ambientales. Es favorable para empresas que priorizan la sostenibilidad y demuestran esfuerzos para reducir su impacto ambiental.
  - 2. Social (S):** El componente social evalúa cómo una empresa gestiona las relaciones con sus empleados, clientes, proveedores y las comunidades en las que opera. Los factores sociales incluyen prácticas laborales, relaciones con empleados, diversidad e inclusión, satisfacción del cliente y contribuciones a las comunidades locales. Desde la perspectiva social, son más fuertes las empresas que priorizan prácticas laborales justas, promueven la diversidad y estimulan la participación comunitaria.
  - 3. Gobernanza (G):** La gobernanza se refiere a la forma en que se dirige, controla y gestiona una empresa. Involucra

evaluar la estructura de liderazgo de la empresa, la compensación de ejecutivos, los derechos de los accionistas y las prácticas de gobierno corporativo. Se considera mejores a las empresas cuyo gobierno se guía por principios y prácticas éticas y transparentes.

El interés empresarial e institucional por **ESG** ha evolucionado a lo largo de varias décadas hasta ganar prominencia en la década pasada.

El origen del concepto **ESG** se puede rastrear a movimientos y desarrollos que iniciaron en la década de 1960. Enumeramos algunos hitos clave:

- 1. Décadas de 1960 y 1970: Conciencia ambiental.** El movimiento ambiental ganó impulso en las décadas de 1960 y 1970, debido a la atención de asuntos como la contaminación, la deforestación y otros problemas ambientales originados en la industrialización comenzada en el Siglo XIX y acelerada en el XX. Estas preocupaciones comenzaron a influir en la opinión pública. En Europa comenzaron a aparecer partidos políticos "Verdes", que influyeron en las políticas públicas de algunos países. En esas décadas también ganaron fuerza movimientos feministas y de oposición a la segregación racial o étnica.
- 2. Décadas de 1980 y 1990: Inversión socialmente responsable (ISR).** Surgió el concepto de inversión socialmente responsable, en busca de inversiones alineadas con valores éticos y

sociales. En este período se crearon fondos de inversión que evaluaban empresas según algunos criterios sociales y ambientales. En las universidades y otras organizaciones comienzan a aparecer *acciones afirmativas* encaminadas a reducir brechas de género y segregación en materia laboral o estudiantil.

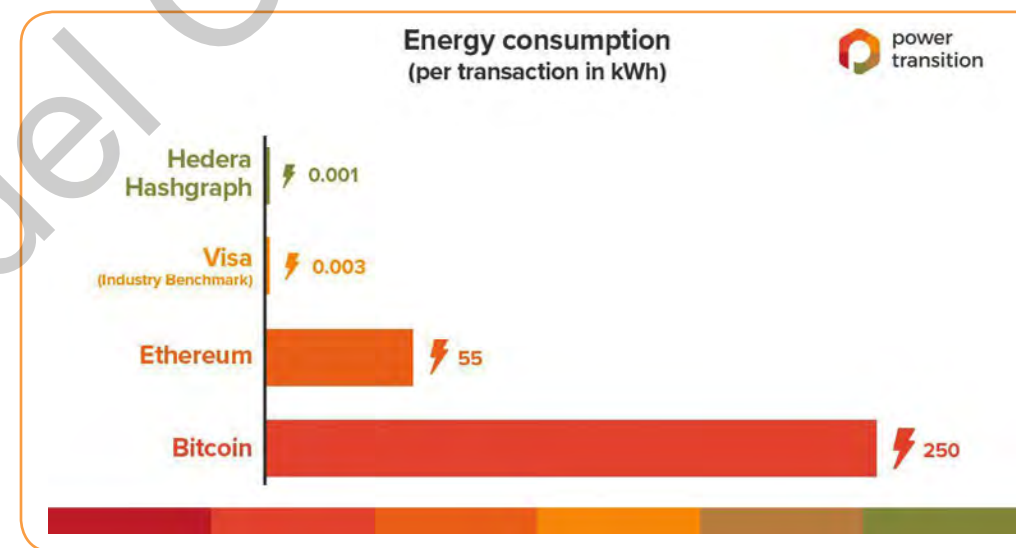
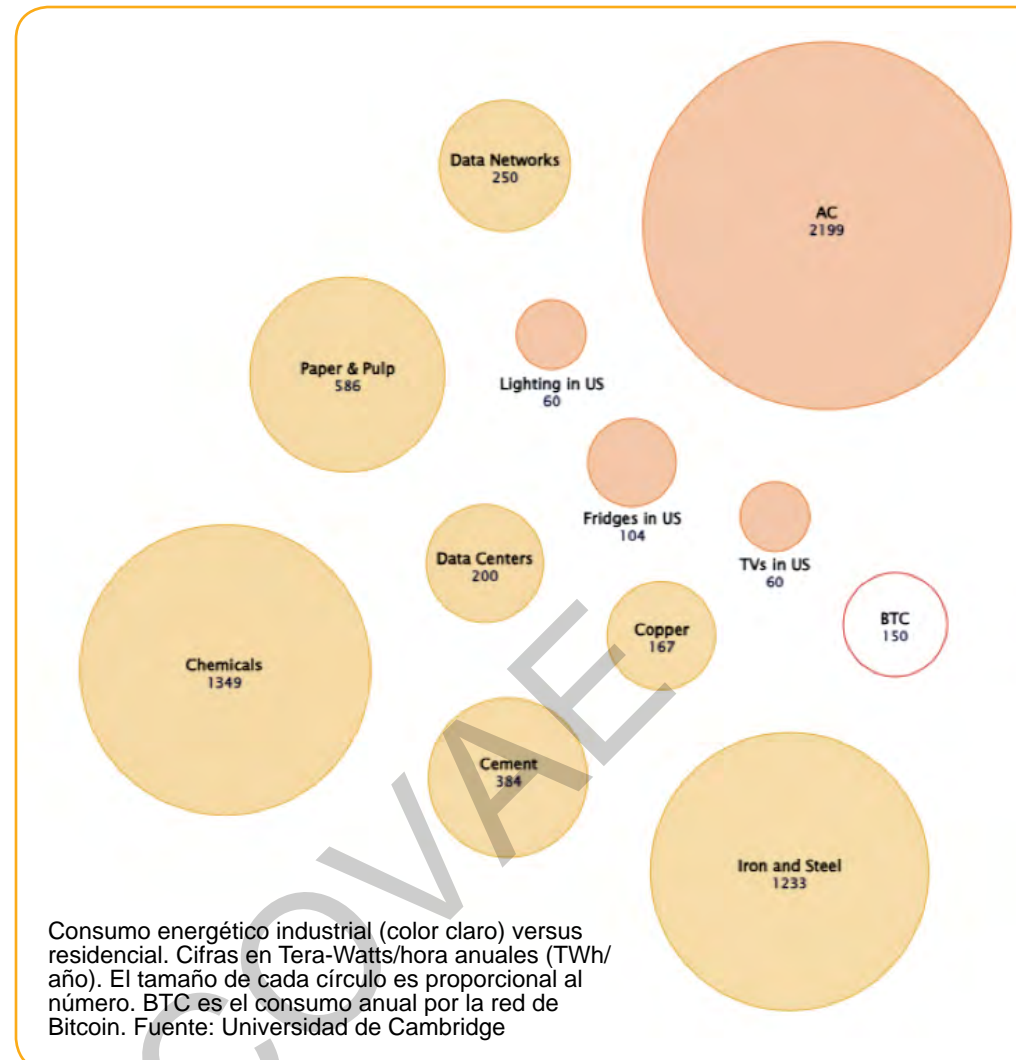
- 3. Década del 2000: Responsabilidad Social Empresarial (RSE).** Las empresas comenzaron a dar mayor importancia a la responsabilidad social empresarial, considerando la importancia de impactos sociales y ambientales - además del desempeño financiero. Las empresas comenzaron a publicar informes de sostenibilidad.
- 4. Década del 2010: Mayor enfoque en ESG.** El término 'ESG' ganó popularidad, ampliando e integrando los factores ambientales, sociales y de gobernanza. Las empresas - privadas y públicas - reconocieron que estos factores podrían afectar su desempeño financiero a largo plazo, así como la gestión de riesgos.
- 5. Años recientes: Integración generalizada.** En la década actual, las consideraciones ESG son más comunes. Inversionistas, gestores de activos y analistas financieros incorporan cada vez más criterios ESG en sus procesos de toma de decisiones. Diversas bolsas de valores requieren que las empresas divulguen información relacionada con ESG.
- 6. Eventos y regulaciones globales:** Eventos globales, como el Acuerdo de París sobre el cambio climático y los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, han contribuido al creciente énfasis en la sostenibilidad. Organismos reguladores han comenzado a desarrollar medidas relacionadas con la divulgación de información ESG.

Las tecnologías digitales son parte de nuestro diario vivir. De ellas dependen la gestión y el trabajo en organizaciones y servicios públicos, educación, redes sociales y entretenimiento. Usamos crecientemente los medios digitales en nuestra vida personal, familiar, comunitaria, estudiantil, profesional y empresarial. Producimos grandes volúmenes de datos que son fácilmente transmitidos, almacenados, compartidos, buscados y procesados por medios digitales. La mayoría de las profesiones y actividades humanas se sirven de tecnologías informáticas.

Los estudiantes deben desarrollar la conciencia y el criterio propio respecto de lo que es "bueno", "correcto", "aceptable" o "responsable" como acto profesional. Los futuros profesionales en tecnología deben comprender cuáles son los impactos sociales y ambientales de sus productos, procesos, sistemas y servicios.

La informática sostenible, también conocida como "tecnología verde", "informática verde" o "computación sostenible", se refiere a la práctica de diseñar, fabricar, utilizar y gestionar sistemas informáticos de manera que minimicen su impacto ambiental. Un objetivo principal es reducir la huella ecológica de las tecnologías digitales. La informática sostenible comprende algunas áreas clave:

- 1. Eficiencia energética:** Los dispositivos electrónicos y los centros de datos consumen grandes cantidades de energía. La informática sostenible se centra en mejorar la eficiencia energética de hardware y software para reducir el consumo de energía. También tiene que ver con usar medios informáticos para *producir* energía de manera más eficiente y sostenible. Otro ejemplo concreto es el uso de sistemas de hardware y software para administrar el consumo de energía en vehículos



- 2. Reciclaje de componentes electrónicos:** La disposición adecuada de residuos electrónicos es esencial. La informática sostenible promueve la reutilización y el reciclaje de componentes para reducir la cantidad de desechos electrónicos que terminan en vertederos.
- 3. Diseño sostenible:** Se busca desarrollar productos electrónicos que sean duraderos, actualizables y reparables. Esto ayuda a prolongar la vida útil de los dispositivos y reduce la necesidad de fabricar nuevos productos con frecuencia.
- 4. Centros de datos eficientes:** Los centros de datos son grandes consumidores de energía. La informática sostenible aborda este problema mediante la implementación de tecnologías y prácticas que reducen el consumo de energía en estos centros.
- 5. Computación en la nube 'verde':** La adopción de servicios en la nube puede ser más sostenible que mantener infraestructuras locales. Los proveedores de servicios en la nube están trabajando para mejorar la eficiencia energética y utilizar fuentes de energía renovable.
- 6. Desarrollo de software sostenible:**

El software también es clave para la informática sostenible. Es importante desarrollar aplicaciones eficientes que minimicen el uso de recursos, como la energía, las comunicaciones y el espacio de almacenamiento.

**7. Educación y conciencia:** La informática sostenible también implica hacer conciencia entre estudiantes y profesionales de informática, así como empresas y consumidores, sobre la importancia de adoptar prácticas sostenibles en el ámbito de las tecnologías digitales.

La informática sostenible busca equilibrar el avance tecnológico con la responsabilidad ambiental, asegurando que la tecnología se desarrolle y utilice de manera que minimice su impacto negativo sobre el ambiente y promueva un futuro más sostenible.

En procura de contribuir con las metas globales de sostenibilidad, los profesionales de las distintas áreas de la informática deben familiarizarse con los principios de la "informática verde" mencionados anteriormente. Asimismo, deben comprometerse a incorporar en sus labores profesionales estrategias y prácticas que permitan producir una "huella de carbono digital" de forma responsable.

La motivación para ello puede venir de una comprensión de la problemática actual y de las amenazas a las que se ven expuestas las distintas formas de vida - como las conocemos actualmente - si no logramos incorporar prácticas sostenibles en nuestro diario vivir y actuar. Por ello, debemos entender las problemáticas generales, pero al mismo tiempo aquellas que competen a nuestras áreas de conocimiento y de experiencia profesional. Esta es una manifestación personal y profesional del lema "*Piensa globalmente, actúa localmente*" acuñado hace más de medio siglo.

La problemática general puede ser ilustrada por el **efecto invernadero**: el proceso que mantiene la temperatura global de la Tierra en los niveles adecuados para permitir la vida, pues evita que el calor del planeta se vaya al espacio. Lo anterior se logra con una combinación de gases que incluyen el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Sin embargo, producto de la actividad humana, se han acumulado niveles más altos de los gases de efecto invernadero en la atmósfera, lo cual provoca un sobrecalentamiento en la temperatura global de la Tierra. Este sobrecalentamiento ya ha alcanzado 1° C desde la época pre-industrial y, de acuerdo con recientes investigaciones, si el nivel de la temperatura asciende a 1.5° C en el futuro cercano, inevitablemente materializarán graves peligros sobre muchos ecosistemas y la humanidad en general.

Esta problemática es ocasionada por distintos sectores económicos. Con base en datos expuestos en el Acuerdo de París, se observa que el total de la producción de gases del efecto invernadero son generados principalmente por sectores económicos como el de la producción de energía (29%) y el de transporte (27%).

El sector de las Tecnologías de Información (TI) también contribuye con esta situación debido a que es altamente dependiente del consumo energético en áreas como las telecomunicaciones, la informática de Nube (*Cloud Computing*) y los Centros de datos. Si no se toman acciones para evitarlo, se estima que el sector de TI podría incrementar la emisión de los gases del efecto invernadero de un 1.6% en el año 2007 a un 14% en el año 2040.

Consideremos algunos ejemplos relacionados con TI:

- 1. Bitcoin:** Bitcoin es la red de cadenas de bloques (*blockchain*) más grande del mundo Su proceso de *minado* consume mucha energía debido al uso masivo de poder computacional. Según los datos más recientes del Bitcoin Electricity Consumption Index de la Universidad de Cambridge, la cantidad de energía total que genera el *minado* de Bitcoin en un año es de 148.49 TWh, lo cual representa más de lo que consumen países como Finlandia, Colombia, Venezuela, Suiza o Bélgica.
- 2. Modelos de procesamiento de lenguaje natural:** entrenar un modelo de procesamiento de lenguaje natural podría emitir casi 286 toneladas de CO<sub>2</sub> al ambiente, equivalentes a las emisiones de CO<sub>2</sub> que producen 5 carros en toda su vida útil (incluido el proceso de manufactura).
- 3. AlphaGo:** el campeón mundial de Go, el surcoreano Lee Sedol, fue derrotado en el 2016 por el sistema informático AlphaGo. En las cinco partidas jugadas, el cerebro de Sedol consumió 20 Wh de energía. En contraste, AlphaGo requirió de 1500 procesadores, 30 GPU (Unidades de Procesamiento de Gráficos) y 30 TPU (Unidades de Procesamiento de Tensores). Para lograr que un sistema informático fuera capaz de vencer a una persona experta en el juego de Go, se requirió un consumo de 440 kWh - además de diseñar un sistema de inteligencia artificial muy especializado.

¿Qué pasa cuando se piensa sosteniblemente en informática? Contrastemos las dos principales redes de cadenas de bloques del mundo: Bitcoin y Ethereum. En septiembre del 2022 **Ethereum** pasó de usar el minado basado en prueba de trabajo (*proof of work*, PoW) al basado en prueba de participación (*proof of stake*). Gracias a ello, la nueva red PoS de Ethereum alimenta una cadena de bloques más eficiente en energía, reduce las tarifas de transacción y mejora la escalabilidad. ¡La red PoS de Ethereum consume solo el 5% de la energía que requería la red PoW original! En la 'arena' donde compiten Bitcoin y Ethereum, han aparecido jugadores como **Hedera**, que les supera en desempeño, energía y costo - incluida la red de pagos VISA.

Es posible mencionar más ejemplos. Nuestro mensaje es que los profesionales de la informática deben conocer cuál es el verdadero impacto de la tecnología sobre la sociedad y el ambiente, a fin de construir una conciencia colectiva que provoque cambios positivos en la lucha por lograr un mayor nivel de sostenibilidad.

En Latinoamérica, investigadores como el Prof. Luis Corral (México) iniciaron hace más de una década su trabajo sobre el desarrollo de software eficiente energéticamente. Uno de los autores de este artículo, Christian Campos Lucas, motivado por la sostenibilidad, investiga sobre prácticas de Ingeniería del Software de bajo impacto ambiental y energético en el campo de las arquitecturas de software basadas en microsistemas.

Dada la importancia de la tecnología sobre la sostenibilidad, la Universidad CENFOTEC ha evolucionado el curso 'Ética y Profesionalismo' hacia uno que profundiza en aspectos sociales y ambientales. Todas sus carreras de grado ahora incluyen el curso 'Ética y Sostenibilidad Tecnológica', donde se adquieren conocimientos y desarrollan competencias enfocadas en la importancia de usar los recursos tecnológicos, la información y los procesos empresariales de manera responsable, sostenible y consciente - en las dimensiones social y ambiental.

Partes de este artículo se basan en textos anteriores de cada autor.

## Agradecimientos

**Christian Aarón Campos Lucas** es Ingeniero de Software con más de seis años de experiencia desarrollando y manteniendo aplicaciones para diferentes empresas, sumado a más de una década de trabajo en diferentes áreas de la informática como software, redes, infraestructura y soporte técnico. Christian es graduado de Maestría en Ingeniería del Software con énfasis en Arquitectura y Diseño de la Universidad CENFOTEC y posee un Bachillerato en Ingeniería en Sistemas Computacionales de la Universidad Latina.

**Ignacio Trejos Zelaya** es Profesor & Investigador en la Universidad CENFOTEC y Profesor Catedrático de Ingeniería en Computación en el Instituto Tecnológico de Costa Rica. Investiga sobre Educación en Informática, Lenguajes de programación e Ingeniería del software. Ignacio estudió Maestría y Doctorado en la Universidad de Oxford y es Ingeniero en Computación del TEC. Es Director de Investigación del Club de Investigación Tecnológica y Representante de Costa Rica en el Consejo Hispanoamericano de Pruebas de Software (HASTQB). Ignacio posee certificaciones profesionales en Ingeniería de Calidad del Software (ASQ) y Pruebas de Software (ISTQB).