



# **Green Software**

Sustentabilidad en cada línea de código

Realizado por: Franco Recalde, Ernesto Joaquín Petrich, Emilio Sadir y Lautaro Molina  
Contacto: [Francorecalde15@gmail.com](mailto:Francorecalde15@gmail.com), [epetrich9@gmail.com](mailto:epetrich9@gmail.com), [sadiremilio@gmail.com](mailto:sadiremilio@gmail.com),  
[lautaro.molina.7330@gmail.com](mailto:lautaro.molina.7330@gmail.com)

# Índice

<b>Introducción.....</b>	<b>3</b>
<b>Desarrollo.....</b>	<b>3</b>
1. ¿Qué es?.....	3
2. ¿Por qué?.....	4
3. ¿Para qué?.....	6
4. ¿Quién?.....	7
5. ¿Cuándo?.....	9
6. ¿Dónde?.....	10
7. ¿Cómo?.....	12
8. ¿Con qué?.....	15
9. ¿Cuánto?.....	18
<b>Conclusión.....</b>	<b>20</b>
¿Qué podemos hacer con este conocimiento?.....	21
<b>Bibliografía.....</b>	<b>22</b>
1. Organismos y fundaciones especializados.....	22
2. Literatura técnica y científica.....	22
3. Estadísticas y métricas.....	23
4. Libros recomendados.....	23

# Introducción

Desde nuestro rol como consultores especializados en tecnologías de la información y sostenibilidad digital, entendemos que el crecimiento del ecosistema digital, si bien ha traído avances sin precedentes, también conlleva un impacto ambiental significativo. En este contexto, el concepto de *Green Software* o software verde se posiciona como una herramienta clave para alinear el desarrollo tecnológico con los principios de sostenibilidad y eficiencia energética.

Por estas razones en el presente informe tenemos como objetivo explorar el concepto de Green Software de manera integral y operativa, aplicando un enfoque sistémico que permita su comprensión y aplicación en diversos sectores. Para ello, se estructura el contenido en torno a las preguntas fundamentales:

## ¿Qué es?

Se proporciona una definición clara del Green Software, explorando su naturaleza técnica, ética y ambiental, así como su carácter transversal en el desarrollo digital actual.

## ¿Por qué?

Se indagan las causas estructurales del impacto ambiental del software y se argumentan las razones estratégicas, regulatorias y morales que exigen su transformación hacia la sostenibilidad.

## ¿Para qué?

Se analizan los propósitos y objetivos concretos de implementar Green Software, enfatizando el ahorro energético, la reducción de emisiones y la responsabilidad empresarial.

## ¿Quién?

Se identifican los actores intervinientes en la aplicación del Green Software, desde líderes organizacionales hasta desarrolladores, usuarios y proveedores tecnológicos, considerando sus distintos niveles de responsabilidad.

## ¿Cuándo?

Se examina el eje temporal de la acción climática digital, remarcando la urgencia de aplicar Green Software de forma inmediata y continua a lo largo de todo el ciclo de vida del producto.

## ¿Dónde?

Se describen los entornos y espacios tecnológicos en los que se aplica Green Software, incluyendo infraestructuras físicas, entornos cloud, dispositivos de usuario y sistemas organizacionales globales.

## ¿Cómo?

Se presentan los distintos modos de implementación del Green Software, desde técnicas de programación eficiente hasta metodologías de diseño sostenible y herramientas de monitoreo ambiental.

## ¿Con qué?

Se detallan los recursos, herramientas, medios y tecnologías que hacen posible aplicar Green Software de manera concreta, considerando tanto el entorno técnico como el organizacional.

## **¿Cuánto?**

Se aborda la cuantificación del impacto del Green Software, proporcionando indicadores, métricas y datos clave sobre emisiones evitadas, energía ahorrada y beneficios económicos derivados.

# **Desarrollo**

## **1. ¿Qué es?**

### **1.1. Definición**

El Green Software (o software sostenible) se refiere al desarrollo y uso de aplicaciones digitales que minimizan su impacto ambiental durante todo su ciclo de vida: desde el diseño, codificación y pruebas, hasta su despliegue, uso y eliminación. Esta disciplina busca reducir el consumo de energía, la huella de carbono y el uso de recursos computacionales, manteniendo la funcionalidad y la eficiencia.

### **1.2. Naturaleza**

La naturaleza del Green Software es transversal y colaborativa. No se trata de una tecnología o producto específico, sino de un enfoque estratégico que involucra a desarrolladores, diseñadores, arquitectos de sistemas, ingenieros de datos y líderes de negocio. Integra prácticas como la optimización de código, el uso eficiente del hardware, la adopción de energías renovables en centros de datos y la medición continua del impacto ambiental del software.

### **1.3. Significado**

Implementar Green Software tiene un significado profundo tanto para la empresa como para la sociedad. En un contexto global de crisis climática, el sector tecnológico —responsable de aproximadamente el 3-4% de las emisiones globales de carbono— tiene una responsabilidad ética y estratégica de liderar el cambio. Para la empresa, representa una oportunidad de alinearse con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), responder a regulaciones ambientales emergentes y ganar ventaja competitiva al posicionarse como líder en sostenibilidad digital.

### **1.4. Descripción**

Adoptar Green Software implica aplicar principios y herramientas concretas que permitan reducir el impacto ambiental sin comprometer el rendimiento del software. Esto incluye el diseñar algoritmos más eficientes, reducir el consumo energético en el uso de servidores y dispositivos, implementar arquitecturas escalables y sostenibles (como serverless o edge

computing), elegir infraestructuras de nube que usen energía renovable, monitorear y reportar métricas de sostenibilidad (como gramos de CO<sub>2</sub> por transacción), fomentar la cultura de sostenibilidad digital en los equipos técnicos.

## **1.5. Resumen**

El Green Software es un enfoque consciente, integral y estratégico para diseñar, desarrollar y operar software con el menor impacto ambiental posible. Requiere cambiar paradigmas tradicionales, incorporar métricas ambientales en las decisiones técnicas y transformar la cultura organizacional hacia la sostenibilidad digital. No es una moda, sino una necesidad ineludible en el camino hacia un futuro tecnológico responsable.

## **1.6. Conclusión**

Adoptar Green Software es una decisión inteligente y necesaria. Desde una perspectiva corporativa, mejora la eficiencia operativa, reduce costos a largo plazo, fortalece la reputación de marca y anticipa el cumplimiento de futuras regulaciones ambientales. Desde una perspectiva humana y ética, es una forma concreta en la que la industria tecnológica puede contribuir activamente a la mitigación del cambio climático. La sostenibilidad no es una opción, es una ventaja estratégica, y el momento de actuar es ahora.

# **2. ¿Por qué?**

## **2.1. Causa**

La causa principal para aplicar Green Software radica en el creciente impacto ambiental del sector tecnológico. El uso global de tecnologías digitales (centros de datos, redes, dispositivos) ya genera más emisiones de carbono que la industria de la aviación. Este crecimiento exponencial exige una acción inmediata para reducir el consumo energético y la huella de carbono del software que desarrollamos y utilizamos a diario.

## **2.2. Motivo**

El principal motivo es que la sostenibilidad ya no es una opción, sino una exigencia del mercado, los usuarios y los reguladores. Clientes y empresas demandan cada vez más productos responsables con el ambiente. Adoptar prácticas de Green Software permite posicionarse a la vanguardia, responder a nuevos marcos regulatorios, y actuar proactivamente ante los desafíos climáticos.

## **2.3. Razón**

La razón empresarial es clara: reducir costos, aumentar eficiencia y construir una ventaja competitiva sostenible. El software optimizado no sólo consume menos energía, sino que también requiere menos infraestructura, lo

que reduce costos operativos. Además, habilita una narrativa corporativa alineada con la responsabilidad social y ambiental, mejorando la percepción de la marca.

## **2.4. Explicación**

El software tiene un rol silencioso pero decisivo en el impacto ambiental. Cada línea de código, cada transacción digital y cada servicio en la nube contribuyen al consumo energético global. Al aplicar Green Software, se diseñan soluciones que requieren menos recursos para operar, se minimiza el procesamiento innecesario y se promueve un ciclo de vida sostenible para los productos digitales.

## **2.5. Justificación**

La justificación se sostiene tanto en la responsabilidad corporativa como en el beneficio tangible. Ser parte de la solución ambiental no solo mejora la imagen pública, sino que también atrae talento joven, consciente y comprometido. Además, al anticipar regulaciones ecológicas, la empresa evita riesgos legales y se posiciona como referente en innovación sostenible.

## **2.6. Circunstancias**

Las circunstancias actuales —crisis climática global, creciente demanda energética, presión social y legislativa— conforman un entorno que exige respuestas urgentes desde todos los sectores, especialmente desde la tecnología. Estas condiciones hacen del Green Software una respuesta necesaria, alineada con los tiempos y con la dirección que marcan los organismos internacionales y los consumidores.

## **2.7. Resumen**

Aplicar Green Software es una respuesta coherente a un problema creciente. Las causas ambientales, los motivos estratégicos, las razones económicas y las circunstancias sociales confluyen en una urgencia compartida: reducir el impacto del software en el planeta. La explicación técnica y la justificación empresarial lo convierten en una decisión inteligente y ética.

## **2.8. Conclusión**

No aplicar Green Software hoy es quedar rezagado en un mundo que avanza hacia la sostenibilidad digital. Las empresas tecnológicas tienen no solo la capacidad, sino la responsabilidad de liderar este cambio. Las causas están claras, las razones son contundentes y las circunstancias lo exigen. Es momento de actuar con visión, compromiso y estrategia.

# **3. ¿Para qué?**

## **3.1. Propósito**

El propósito de aplicar Green Software es reducir el impacto ambiental de los sistemas digitales, promoviendo un desarrollo tecnológico que sea eficiente, responsable y alineado con la sostenibilidad global. Se trata de transformar la manera en que diseñamos, desarrollamos y operamos software para que su funcionamiento sea menos demandante para el planeta.

### **3.2. Objetivo**

El objetivo principal es construir soluciones tecnológicas que consuman menos energía, generen menos emisiones de carbono y optimicen los recursos computacionales. Esto se logra aplicando principios de eficiencia energética, buenas prácticas de codificación, selección consciente de infraestructuras y métricas ambientales durante el ciclo de vida del software.

### **3.3. Finalidad**

La finalidad última del Green Software es contribuir activamente a la lucha contra el cambio climático, sin frenar la innovación ni el desarrollo digital. No se trata de producir menos tecnología, sino de producirla mejor, de forma que cada nueva herramienta, plataforma o servicio esté diseñada para ser parte de un futuro más limpio y sostenible.

### **3.4. Motivo**

El motivo central es que la transformación digital debe ir acompañada de una transformación ecológica. La tecnología no puede seguir creciendo de forma inconsciente respecto a su impacto ambiental. Aplicar Green Software permite que el crecimiento digital sea compatible con los límites planetarios y con la responsabilidad social corporativa.

### **3.5. Intención**

La intención al aplicar Green Software no es solamente técnica, sino estratégica y cultural. Se busca instaurar una nueva mentalidad en los equipos de desarrollo, donde la eficiencia energética, la medición de huella de carbono y la sostenibilidad sean parte del proceso desde el inicio. También se persigue una intención social: generar un cambio desde la industria para influir en otras áreas económicas y sociales.

### **3.6. Resumen**

Aplicar Green Software sirve para hacer del desarrollo digital una actividad más consciente, eficiente y alineada con los valores de sostenibilidad. Su propósito, objetivos y motivos convergen en una visión clara: crear soluciones tecnológicas que respondan no solo a una necesidad funcional, sino también a una necesidad ambiental urgente.

### **3.7. Conclusión**

El Green Software es una herramienta clave para que la tecnología esté al servicio del planeta y no en su contra. Su aplicación tiene sentido no solo desde la eficiencia técnica, sino desde la ética empresarial, la estrategia organizacional y el compromiso social. Si queremos un futuro digital sostenible, esta es la dirección correcta. No es solo lo que hacemos, sino cómo lo hacemos. Y ese “cómo” empieza con el para qué.

## 4. ¿Quién?

### 4.1. Persona responsable

La persona responsable de aplicar Green Software en una organización suele ser un líder técnico o estratégico, como el CTO (Chief Technology Officer), el Chief Sustainability Officer, o el Gerente de Desarrollo de Software. Esta figura tiene la capacidad de tomar decisiones sobre prácticas de desarrollo, infraestructura tecnológica y políticas sostenibles. Su rol es impulsar la integración de criterios ecológicos en cada etapa del ciclo de vida del software, estableciendo métricas, lineamientos y objetivos claros en relación con la eficiencia energética y la huella de carbono digital.

### 4.2. Persona interviniente

En la práctica, el Green Software involucra una red amplia de personas intervinientes, como por ejemplo:

- **Desarrolladores y programadores**, quienes optimizan el código para reducir su consumo energético.
- **Arquitectos de software y DevOps**, que seleccionan infraestructuras sostenibles, ajustan escalabilidad y eligen servicios en la nube eficientes.
- **Diseñadores UX/UI**, que pueden diseñar interfaces que requieran menos carga de datos o animaciones innecesarias.
- **Data Scientists e Ingenieros de Datos**, que trabajan con modelos más livianos y eficientes.
- **Equipos de testing y QA**, que incorporan criterios de sostenibilidad en las pruebas.

Cada uno aporta desde su rol a construir un sistema más verde, bajo una coordinación estratégica.

### 4.3. Persona afectada

Las personas afectadas por la implementación o falta de implementación de Green Software son múltiples:

- **Los usuarios finales**, quienes pueden experimentar una mejor eficiencia de sus dispositivos (menor consumo de batería y datos) gracias a un



software optimizado.

- **Los empleados**, que se integran en una cultura más ética y comprometida.
- **La sociedad en general**, quienes se benefician indirectamente de una menor contaminación digital.
- **Las generaciones futuras**, que van a heredar un entorno más o menos habitable en función de las decisiones que tomemos hoy.

#### 4.4. Roles

A la hora de aplicar Green Software, esta implica una transformación cultural en la que los roles se redefinen para integrar criterios de sostenibilidad. Algunos roles claves incluyen:

- **Green Software Champion**: embajador interno que promueve la adopción de prácticas sostenibles dentro de los equipos.
- **Especialista en sostenibilidad digital**: profesional con conocimientos técnicos y ambientales que guía las decisiones con base en métricas.
- **Líder de cambio organizacional**: persona encargada de fomentar la adopción de nuevos hábitos y procesos.

Además, todos los miembros del equipo técnico y estratégico deben asumir roles compartidos de conciencia ecológica, más allá de las funciones tradicionales.

#### 4.5. Resumen

El Green Software no es responsabilidad de una sola persona, sino de un ecosistema de roles interdependientes. Desde los líderes estratégicos hasta los desarrolladores y usuarios, todos tienen una cuota de participación en la creación de software más sostenible. Esta colaboración transversal es la clave del éxito y lleva a conseguir diferentes beneficios que afectan a múltiples personas.

#### 4.6. Conclusión

El “quién” del Green Software no es solo una cuestión de jerarquía, sino de compromiso colectivo y liderazgo distribuido. Mientras los líderes toman decisiones estratégicas, los equipos técnicos las concretan, y los usuarios se benefician (o sufren) sus resultados. Aplicar Green Software requiere de una organización entera actuando con responsabilidad, conocimiento y visión de futuro. Todos somos parte del cambio, y cada rol cuenta.

## 5. ¿Cuándo?

### 5.1. Momento

El momento para aplicar Green Software es ahora. La urgencia climática, junto con la expansión acelerada de servicios digitales, hace que cada día cuente. La transformación digital no puede seguir creciendo sin considerar su impacto ecológico. Estamos en un punto de inflexión donde las decisiones tecnológicas deben ir de la mano con la sostenibilidad.

### 5.2. Tiempo

Green Software debe ser aplicado durante todo el ciclo de vida del software, desde la concepción de la idea hasta su puesta en producción y posterior mantenimiento. Algunas etapas clave donde debe integrarse son:

- **Diseño:** elegir arquitecturas eficientes, patrones que reduzcan el procesamiento innecesario.
- **Desarrollo:** escribir código limpio, optimizado y de bajo consumo.
- **Testing:** incluir pruebas de eficiencia energética.
- **Despliegue:** optar por servidores eficientes o nubes alimentadas con energía renovable.
- **Operación y mantenimiento:** monitorear métricas ambientales y ajustar recursos dinámicamente.

No es una acción puntual, sino un enfoque continuo e integrado desde el inicio.

### 5.3. Ocasión

Las ocasiones propicias para aplicar Green Software pueden incluir:

- **Inicio de nuevos proyectos:** donde se puede planificar desde cero con criterios sostenibles.
- **Actualización de sistemas existentes:** oportunidad para optimizar código, migrar a infraestructuras más verdes y revisar procesos.
- **Revisión de políticas corporativas:** cuando la empresa redefine sus valores o metas ESG (ambientales, sociales y de gobernanza).

- **Cambios regulatorios o presión del mercado:** cuando nuevas leyes o exigencias del cliente demandan sostenibilidad tecnológica.

Cada una de estas ocasiones representa una oportunidad para alinear la tecnología con el planeta.

## 5.4. Resumen

Green Software se aplica desde ahora y en todo momento. No es una tarea que se deja para el final, ni una moda pasajera, sino una estrategia que debe acompañar cada decisión tecnológica. Su implementación debe ser continua, transversal y oportunista, aprovechando cada nuevo comienzo o cambio estructural para avanzar en sostenibilidad.

## 5.5. Conclusión

El momento para actuar es inmediato. Cada línea de código que no considera el impacto ambiental es una oportunidad perdida. Esperar ya no es una opción. Las empresas que integren Green Software desde hoy no solo serán más responsables, sino también más resilientes, innovadoras y competitivas en el futuro. El cuándo es claro: cuanto antes, mejor.

## 6. ¿Dónde?

### 6.1. Sitio

Green Software puede aplicarse en cualquier sitio donde exista desarrollo, uso o gestión de software. Esto incluye desde grandes empresas tecnológicas hasta startups, entidades gubernamentales, centros educativos o incluso equipos de desarrollo freelance. No hay restricción geográfica ni sectorial: si hay código, hay impacto, y por lo tanto, hay espacio para aplicar sostenibilidad.

### 6.2. Lugar

El lugar específico de aplicación puede abarcar:

- **Centros de datos:** mediante el uso de energías renovables, optimización del uso de servidores y elección de infraestructuras cloud sostenibles.
- **Departamentos de desarrollo de software:** promoviendo buenas prácticas de programación, pruebas con métricas energéticas y decisiones arquitectónicas eficientes.

- **Infraestructura de TI:** ajustando redes, hardware y configuraciones para que consuman menos energía.
- **Aplicaciones del lado del cliente (frontend):** mediante la optimización de recursos, datos y procesamiento en dispositivos de usuario.

Cada uno de estos lugares tiene un rol fundamental en la cadena de impacto del software.

### 6.3. Ubicación

Desde el punto de vista geográfico, Green Software no conoce fronteras. Su aplicación es relevante:

- **En empresas ubicadas en países desarrollados,** donde el consumo digital es alto y se puede invertir en eficiencia.
- **En economías emergentes,** donde hay una oportunidad de adoptar prácticas sostenibles desde el inicio y evitar errores del pasado.
- **En zonas con infraestructura limitada o costosa,** donde optimizar software también implica reducir costos operativos y ampliar el acceso.

Además, muchas soluciones sostenibles pueden implementarse de forma remota o distribuida, permitiendo que equipos de todo el mundo contribuyan al mismo objetivo.

### 6.4. Resumen

Green Software se aplica dondequiera que exista tecnología digital: en centros de datos, oficinas, servidores, dispositivos, ciudades, países. No importa el tamaño de la empresa ni su ubicación geográfica: si desarrolla, despliega o consume software, puede y debe aplicar principios de sostenibilidad.

### 6.5. Conclusión

El “dónde” del Green Software es omnipresente. En un mundo digitalmente interconectado, cada espacio donde circula el software es un lugar de acción sostenible. No hay excusas geográficas ni organizativas. La

sostenibilidad debe habitar en los servidores, en las oficinas, en la nube y en cada rincón donde un bit se procese. El lugar ideal para empezar es aquí y ahora.

## 7. ¿Cómo?

### 7.1. Manera

La manera de aplicar Green Software es integrando prácticas sostenibles en cada etapa del ciclo de vida del software, desde la planificación hasta el mantenimiento. Implica tomar decisiones conscientes que reduzcan el uso innecesario de energía y recursos computacionales. No se trata de reinventar el proceso de desarrollo, sino de ajustarlo con una mirada ecológica y eficiente.

### 7.2. Método

El método para aplicar Green Software combina enfoques técnicos, estratégicos y organizacionales. Algunas claves metodológicas son:

- **Medir** el impacto ambiental del software mediante herramientas como el Software Carbon Intensity (SCI).
- **Diseñar** con eficiencia energética como criterio.
- **Optimizar** algoritmos, uso de memoria, y consumo de red.
- **Elegir** infraestructura sostenible, como nubes con energía renovable.
- **Formar** equipos con conciencia ambiental.

Todo esto requiere establecer políticas internas claras y métricas sostenibles como parte de la gestión tecnológica.

### 7.3. Proceso

El proceso implica las siguientes etapas:

1. **Diagnóstico inicial:** evaluar el impacto actual del software (energía, CO<sub>2</sub>).
2. **Establecimiento de objetivos verdes:** definir metas concretas de reducción de impacto.

3. **Integración en el ciclo de desarrollo:** aplicar criterios de sostenibilidad desde la arquitectura hasta el testing.
4. **Monitoreo continuo:** utilizar herramientas para visualizar y corregir el consumo energético en tiempo real.
5. **Mejora continua:** adaptar procesos según métricas e innovación tecnológica.

## 7.4. Forma

La forma más efectiva de implementar Green Software es a través de una estrategia transversal, donde todas las áreas de la empresa tecnológica se comprometan: desde IT hasta recursos humanos. Esto puede implicar cambios en el modelo de trabajo, adopción de marcos sostenibles (como el Green Software Foundation 's principales) y la revisión de proveedores tecnológicos para garantizar su alineación ecológica.

## 7.5. Procedimiento

Algunos procedimientos concretos para aplicar Green Software incluyen:

- Reducir la complejidad algorítmica.
- Evitar tareas en segundo plano innecesarias.
- Minimizar llamadas a APIs o consultas redundantes.
- Comprimir datos e imágenes.
- Apagar recursos no utilizados (instancias en la nube, servidores ociosos).
- Priorizar el uso de CDN para optimizar el tráfico.

## 7.6. Modo

El modo de implementación puede variar según la estructura de la organización:

- **Top-down:** impulsado por liderazgo estratégico con políticas firmes.
- **Bottom-up:** desde los equipos de desarrollo que promueven prácticas sostenibles y exigen apoyo institucional.

- **Híbrido:** combinación de políticas institucionales con cultura participativa desde los equipos.

## 7.7. Técnicas

Algunas técnicas aplicadas en Green Software incluyen:

- *Green refactoring*: reescribir código para hacerlo más eficiente.
- *Lazy loading y código bajo demanda*: cargar solo lo necesario.
- *Edge computing*: procesamiento local para reducir tráfico.
- *Containerización eficiente*: con Docker o Kubernetes, evitando overprovisioning.
- *CI/CD sostenible*: pipelines automatizados que optimicen los tiempos y recursos de despliegue.

## 7.8. Instrucciones

1. **Evaluar** el estado actual del software y la infraestructura.
2. **Definir** una estrategia de sostenibilidad digital alineada con los objetivos de negocio.
3. **Capacitar** a los equipos técnicos en prácticas de Green Software.
4. **Implementar** herramientas de medición y monitoreo del consumo energético.
5. **Optimizar** progresivamente el código, la infraestructura y los procesos.
6. **Documentar** y compartir los logros con transparencia, para inspirar a otros y atraer talento.

## 7.9. Resumen

Aplicar Green Software es posible y concreto. Involucra una combinación de decisiones estratégicas, técnicas específicas, procesos organizados y métricas claras. La clave está en actuar de forma planificada, transversal y con mejora continua, adaptando cada etapa del ciclo de desarrollo a los principios de sostenibilidad.

## 7.10. Conclusión

El “cómo” del Green Software no es una barrera, sino una guía de acción clara y progresiva. Existen métodos, técnicas y herramientas disponibles para cualquier equipo que quiera avanzar hacia un desarrollo digital más responsable. La transformación no ocurre de un día para otro, pero empieza con un paso consciente: decidir actuar. Y ese paso hoy es más accesible que nunca.

## 8. ¿Con qué?

### 8.1. Instrumentos

Para aplicar Green Software se utilizan instrumentos que permiten medir, evaluar y optimizar el impacto ambiental del software. Algunos de los más destacados son:

- **Software Carbon Intensity (SCI) Specification:** estándar que define cómo medir la intensidad de carbono del software.
- **Green Software Maturity Model:** para evaluar el nivel de sostenibilidad de las prácticas actuales.
- **Herramientas de análisis de eficiencia energética,** como Scaphandre, CodeCarbon, Cloud Carbon Footprint, entre otras.

Estos instrumentos ofrecen una base objetiva para tomar decisiones y trazar estrategias de mejora continua.

### 8.2. Objetos

Aunque el Green Software es principalmente una práctica digital, se apoya en objetos concretos como:

- **Hardware optimizado:** elegir servidores, dispositivos y componentes con bajo consumo energético y eficiencia energética certificada.
- **Centros de datos sostenibles:** que funcionen con energías renovables y cuenten con sistemas de refrigeración eficientes.
- **Arquitecturas físicas y virtuales:** que estén configuradas para reducir el procesamiento innecesario y el uso de recursos.

### 8.3. Recursos

Los recursos clave para implementar Green Software incluyen:



- **Recursos humanos capacitados:** desarrolladores, arquitectos, diseñadores y líderes que conozcan los principios del software sostenible.
- **Tiempo de desarrollo:** necesario para optimizar soluciones, realizar pruebas de eficiencia y ajustar arquitecturas.
- **Presupuesto y apoyo organizacional:** que permita invertir en infraestructura ecológica, herramientas de medición y formación.

La sostenibilidad requiere recursos, pero también los ahorra a largo plazo.

## 8.4. Elementos

Entre los elementos esenciales del Green Software encontramos:

- **Código eficiente:** simple, modular, escalable, con bajo consumo de CPU y memoria.
- **Datos optimizados:** reducción de cargas innecesarias, compresión, y gestión inteligente del tráfico.
- **Diseño consciente:** UX/UI que minimice interacciones innecesarias y reduzca el tiempo activo del dispositivo.
- **Procesos CI/CD ecológicos:** que eviten compilaciones redundantes o pruebas innecesarias.

## 8.5. Medios

Los medios para aplicar Green Software son tanto tecnológicos como organizacionales:

- **Tecnológicos:** frameworks, librerías y entornos de desarrollo que promuevan buenas prácticas (por ejemplo, React con lazy loading, o lenguajes más eficientes como Go o Rust).
- **Organizacionales:** políticas internas, objetivos ESG (Ambientales, Sociales y de Gobernanza), y cultura empresarial comprometida con la sostenibilidad.

Ambos medios deben coexistir y reforzarse mutuamente.

## 8.6. Herramientas

Algunas herramientas específicas para aplicar Green Software incluyen:

- **Green Software Foundation tools:** kits, guías y recursos educativos.
- **Cloud Carbon Footprint:** para monitorear el impacto de servicios cloud.
- **AWS / Azure / Google Cloud dashboards:** con métricas de consumo energético y sostenibilidad.
- **CodeCarbon:** biblioteca de Python que estima emisiones de carbono en proyectos de machine learning.
- **EcoScore:** para evaluar la eficiencia del frontend de una web o app.

Estas herramientas facilitan la transición hacia un desarrollo más ecológico y transparente.

## 8.7. Utensilios

En un sentido amplio, los "utensilios" del Green Software incluyen las prácticas cotidianas y hábitos del equipo técnico:

- Usar entornos de desarrollo locales livianos.
- Apagar instancias en la nube fuera de horario.
- Documentar decisiones con impacto ambiental.
- Compartir conocimiento sobre eficiencia entre equipos.

Aunque simples, estos hábitos son utensilios poderosos que amplifican el impacto positivo.

## 8.8. Resumen

Aplicar Green Software se logra con una combinación de herramientas técnicas, recursos humanos, medios organizacionales y hábitos conscientes. Existen instrumentos de medición, objetos físicos como hardware eficiente, y plataformas digitales que permiten tomar decisiones basadas en datos reales. La clave está en usar lo que ya existe, con nuevos criterios.

## 8.9. Conclusión

El “con qué” demuestra que la sostenibilidad digital no es una utopía, sino una realidad alcanzable. Las herramientas están disponibles, los recursos

pueden adaptarse y los medios existen. Solo hace falta voluntad, liderazgo y estrategia. Aplicar Green Software es posible hoy, con lo que ya tenemos. Y eso lo convierte en una oportunidad, no en una excusa.

## **9. ¿Cuánto?**

### **9.1. Cantidad de un recurso**

El uso de Green Software permite reducir significativamente la cantidad de recursos energéticos y computacionales necesarios para operar sistemas digitales. Por ejemplo:

- Un algoritmo optimizado puede reducir el uso de CPU en un 20% o más.
- La implementación de cargas diferidas (lazy loading) en aplicaciones web puede disminuir el consumo de datos hasta en un 40%.
- En centros de datos, una estrategia de eficiencia puede bajar el uso de energía hasta en un 30% anual, dependiendo de la infraestructura.

La diferencia entre un software optimizado y uno que no lo está puede representar gigavatios-hora de electricidad ahorrada a gran escala.

### **9.2. Magnitud del recurso**

A nivel global, la industria digital representa entre el 3% y 4% de las emisiones de gases de efecto invernadero, una magnitud comparable a toda la aviación comercial. De ese porcentaje, el software —aunque de forma indirecta— es responsable en tanto define el comportamiento de hardware, servidores y redes.

Esto implica que una sola aplicación popular mal optimizada puede emitir cientos de toneladas de CO2 por año. Por el contrario, una app verde puede evitar esas emisiones sin afectar su funcionalidad.

### **9.3. Número**

Algunos datos concretos y estimaciones relevantes:

- Google logró reducir en un 40% el consumo energético de sus centros de datos aplicando inteligencia artificial para optimización operativa.

- Netflix, mediante algoritmos más eficientes de compresión, redujo en un 20% el tráfico de red por usuario.
- Se estima que el uso de lenguajes como Rust o Go, en lugar de Python o JavaScript para ciertas tareas, puede ahorrar entre 2x y 10x en consumo de CPU.

Además, el **Green Software Foundation** promueve como métrica estándar la **intensidad de carbono** medida en gramos de CO<sub>2</sub> por unidad funcional (por ejemplo, por consulta, por descarga, por transacción).

## 9.4. Detalles numéricos

- **Una sola búsqueda en Google** emite entre 0.2 y 0.3 gramos de CO<sub>2</sub>; imagina el ahorro al hacer millones de consultas más eficientes.
- **Una app móvil mal diseñada** puede consumir hasta 4 veces más batería que una equivalente optimizada.
- **Migrar a un proveedor cloud que use energías renovables** puede reducir la huella de carbono de un sistema hasta en un **90%**, sin modificar el código.

Estos números ilustran que incluso **mejoras pequeñas multiplicadas a escala** tienen un enorme impacto ambiental y económico.

## 9.5. Detalles cuantitativos

- El 50% de las emisiones de carbono de un software provienen del tiempo de ejecución (runtime). Es decir, el código importa más que el dispositivo.
- Se pueden ahorrar **cientos de miles de dólares al año en facturación cloud** al reducir el uso innecesario de recursos computacionales.
- En procesos de machine learning, utilizar modelos más livianos puede ahorrar **más del 80% de la energía de entrenamiento**, manteniendo la precisión.

Estas cifras demuestran que la eficiencia no solo es buena para el planeta, sino también para el presupuesto.

## 9.6. Resumen

El Green Software tiene un impacto cuantificable, directo y significativo. Reduce la cantidad de energía utilizada, la magnitud de emisiones generadas y los costos asociados al uso de recursos. Con datos concretos y métricas estándar, hoy es posible **medir, justificar y demostrar** el valor de la sostenibilidad digital en números.

## 9.7. Conclusión

El “cuánto” del Green Software no es una cuestión abstracta: **son toneladas de CO<sub>2</sub> evitadas, gigavatios de energía ahorrados y miles de dólares optimizados**. Estas cifras deberían ser parte de los KPIs estratégicos de cualquier empresa tecnológica moderna. Porque lo que no se mide, no se mejora, y lo que no se mejora, contamina. Aplicar Green Software no solo tiene sentido ético y técnico: **tiene sentido numérico**.

# Conclusión

Aplicar Green Software no es simplemente una tendencia, sino una necesidad urgente y estratégica. A lo largo de este informe, hemos recorrido las dimensiones fundamentales de esta práctica desde distintas preguntas clave: qué es, por qué, para qué, quién, cuándo, dónde, cómo, con qué y cuánto. Cada una de ellas nos permite comprender que el software, aunque intangible, tiene un peso real y creciente en la crisis ambiental actual.

Sabemos ahora que el Green Software implica desarrollar soluciones digitales que minimicen su huella ecológica sin comprometer su funcionalidad. Su propósito es ambiental, su objetivo es operativo, su alcance es organizacional y su urgencia es inmediata. Hemos visto que no se trata de una tarea exclusiva de técnicos o programadores, sino de un esfuerzo colectivo que involucra a líderes, equipos de desarrollo, usuarios y responsables de estrategia.

Además, el impacto es cuantificable y positivo: se traduce en menores emisiones, reducción de costos, mejora reputacional y cumplimiento normativo. A través de métodos, herramientas y métricas concretas, ya es posible diseñar software que consuma menos energía, use mejor los recursos y reduzca el carbono digital asociado a cada clic, descarga o transacción.

En definitiva, el Green Software nos obliga a repensar cómo se produce el software, pero también por qué y para quién se lo produce. Y esa reflexión ética se convierte en una ventaja competitiva cuando la sostenibilidad se integra en el ADN de la innovación.

## **¿Qué podemos hacer con este conocimiento?**

A partir de lo desarrollado, se ofrece una lista de los siguientes puntos que se recomiendan aplicar, todo a vuestra consideración :

### **1. Incluir la sostenibilidad digital en la visión y estrategia corporativa**

Integrar el Green Software como parte de los valores y objetivos institucionales. Incluir la sostenibilidad tecnológica en los OKRs, planes de innovación, ESG corporativo o informes anuales.

### **2. Designar líderes y responsables del cambio**

Nombrar un Green Software Champion o conformar un equipo de sostenibilidad digital que impulse acciones concretas, elabore políticas internas y actúe como nexo entre la dirección y los equipos técnicos.

### **3. Capacitar a los equipos técnicos y estratégicos**

Desarrollar programas internos de formación sobre Green Software, incluyendo prácticas de eficiencia energética, optimización de código, selección de proveedores sostenibles y uso de herramientas como SCI o Cloud Carbon Footprint.

### **4. Medir la huella de carbono digital de los productos**

Comenzar con una auditoría del software existente. Utilizar métricas como gramos de CO<sub>2</sub> por funcionalidad y establecer una línea de base para futuras mejoras. Lo que no se mide, no se puede mejorar.

### **5. Revisar la infraestructura tecnológica**

Migrar a servicios cloud que usen energías renovables. Desactivar instancias o servidores innecesarios. Adoptar arquitecturas más sostenibles (serverless, edge computing) y configurar pipelines de CI/CD optimizados.

### **6. Crear una cultura de sostenibilidad digital**

Fomentar hábitos sostenibles en todos los niveles. Reconocer iniciativas ecológicas internas, compartir buenas prácticas, celebrar los logros y promover una cultura que entienda la sostenibilidad como una responsabilidad compartida.

Este conocimiento no debe quedar en una presentación, sino convertirse en acción estratégica. Green Software es una oportunidad para liderar desde el ejemplo, construir soluciones más responsables, y generar un impacto positivo tanto en el planeta como en la empresa.

El futuro es digital, pero debe ser también verde. Y las decisiones que tomemos hoy —como líderes, desarrolladores o usuarios— definirán el tipo de mundo digital que queremos habitar mañana.

## Bibliografía

Con el fin de que puedan ampliar su panorama y opinión propio respecto a lo que significa/implica el Green Software, se le deja a su disposición diferentes fuentes de información, con las cuales puede despejar todo tipo de duda:

### 1. Organismos y fundaciones especializados

#### 1.1. Green Software Foundation (GSF)

- Sitio oficial: <https://greensoftware.foundation>
- Fuente principal para definiciones, principios, métricas (como SCI - Software Carbon Intensity) y herramientas.
- Documentos clave:
  - *SCI Specification*
  - *Green Software Maturity Model*
  - *Principles of Green Software Engineering*

#### 1.2. The Shift Project

- Informe: *"Lean ICT – Towards Digital Sobriety" (2019)*
- Sitio: <https://theshiftproject.org>
- Fuente crítica sobre el impacto de la industria digital en el cambio climático. Provee datos sobre consumo energético global y emisiones de CO<sub>2</sub>.

### 2. Literatura técnica y científica

#### 2.1. "Building Green Software" - Microsoft Research + GSF

- Documento que sistematiza prácticas, casos de uso y estimaciones de impacto energético y de carbono.
- Disponible en: <https://learn.microsoft.com/en-us/sustainable-software/>

#### 2.2. ACM Digital Library / IEEE Xplore

- Artículos científicos sobre eficiencia energética en software, optimización de algoritmos, impacto del cloud computing, etc.

- Ej.: "Energy-Aware Software Engineering" (IEEE Transactions on Software Engineering)

## **2.3. Carbon Footprint of Streaming Services and AI Models**

- Fuentes:
  - Strubell et al. (2019) sobre emisiones del entrenamiento de modelos de machine learning.
  - Boavizta (<https://www.boavizta.org/>) como fuente de medición del impacto TI.

## **3. Estadísticas y métricas**

### **3.1. International Energy Agency (IEA)**

- Reportes sobre energía y digitalización.
- <https://www.iea.org/reports/data-centres-and-data-transmission-networks>

### **3.2. Sustainable Web Design (The Green Web Foundation)**

- Fuente para estimar emisiones por sitio web, consumo energético, y prácticas de frontend.
- <https://sustainablewebdesign.org>

## **4. Libros recomendados**

- "Sustainable Software Architecture" – Carola Lilienthal, Andreas Schmidt
- "Designing Software for Sustainability" – Steffen Lange, Tilman Santarius
- "The Green Software Engineering Handbook" – Varios autores de la Green Software Foundation (en desarrollo / lectura en línea)