**Ocho principios de la ingeniería de software sostenible**

Hay ocho principios de ingeniería de software sostenible que forman una descripción compartida de lo que significa ser un ingeniero de software sostenible. En las unidades siguientes de este módulo se proporcionará una introducción básica a cada uno de estos principios.

1. **Carbono**: creación de aplicaciones eficientes en el uso del carbono
2. **Electricidad**: creación de aplicaciones con eficiencia energética
3. **Intensidad del carbono**: consumo de electricidad con la intensidad de carbono más baja
4. **Carbono incorporado**: creación de aplicaciones con eficiencia de hardware
5. **Proporcionalidad de la energía**: maximización de la eficiencia energética del hardware
6. **Redes**: reducción de la cantidad de datos y la distancia que deben recorrer a través de la red
7. **Modelado de la demanda**: creación de aplicaciones que tengan en cuenta el carbono
8. **Optimización**: enfoque en las optimizaciones paso a paso que aumentan la eficiencia total del carbono

Estos ocho principios son independientes de lo siguiente:

* Dominio de la aplicación
* Tamaño o tipo de la organización
* Proveedor en la nube o autohospedado
* Lenguaje o marco de programación

**Dos filosofías de la ingeniería de software sostenible**

Además de los ocho principios de la ingeniería de software sostenible, hay dos filosofías.

1. **Todo el mundo debe participar en solucionar el problema climático**

Si está leyendo este documento y se identifica como ecologista, sepa que forma parte de un movimiento global masivo de personas con inquietudes y que pasan a la acción. Los ecologistas trabajan en todas las disciplinas de la ingeniería, desde el diseño de silicio hasta el de experiencias de usuario.

Nada ocurre de forma aislada: todo está conectado y los cambios pequeños llevan a cambios importantes. Incluso el acto de normalizar un debate sobre la sostenibilidad en las reuniones técnicas permitirá a otros usuarios levantar la voz. Así es como se genera el cambio en cualquier organización.

Como ingenieros de software sostenible, creemos que todo el mundo debe participar en la solución del problema climático. La ingeniería de software sostenible es inclusiva. Con independencia del sector, la industria, el rol y la tecnología, siempre hay algo que puede hacer y que tenga impacto.

1. **La sostenibilidad es suficiente, por sí sola, para justificar nuestro trabajo**

Como ingenieros de software sostenible, somos conscientes de las numerosas ventajas que tiene el crear aplicaciones sostenibles. Casi siempre son más baratas, y a menudo tienen mayor rendimiento y son más resistentes. Pero la principal razón por la que se practica la ingeniería de software sostenible es la sostenibilidad; todo lo demás es una ventaja adicional.

Ser verde, es decir, ecologista, tiene distintos significados para cada persona, lo que supone un reto en lo relativo a la comunicación y la decisión sobre qué optimizar. El elemento central de la ingeniería de software sostenible es el carbono, motivo por el que su primer principio es crear aplicaciones eficientes en cuanto al uso del carbono.

## ¿Qué es el carbono?

Los gases de efecto invernadero (GEI) actúan como una manta que aumenta la temperatura de la Tierra, que es un fenómeno natural. Pero debido a la acción del ser humano, el clima mundial cambia mucho más rápido que la capacidad de adaptación de animales y plantas. La forma en la que se adaptará la sociedad sigue siendo una pregunta abierta.

Hay muchos gases de efecto invernadero diferentes. El más común es el dióxido de carbono (CO2). Para que los cálculos sean más fáciles, se normalizan todos los números de GEI a equivalentes en dióxido de carbono (CO 2eq). Por ejemplo, una tonelada de metano tiene el mismo efecto de calentamiento que aproximadamente 25 toneladas de CO2, por lo que se normaliza a 25 toneladas de CO2eq. Incluso se podría reducir todavía más a solo **carbono**, lo que se suele usar para hacer referencia a todos los GEI.

## Objetivos de cero emisiones netas de carbono

El objetivo establecido por el [IPCC de la ONU](https://www.theguardian.com/environment/2011/dec/06/what-is-ipcc), aprobado y ratificado por 195 países en el [Acuerdo de París](https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement), es reducir la contaminación de carbono para que el aumento de la temperatura se estabilice hasta un incremento de 1,5°C en 2100 en comparación con los niveles preindustriales.

El aumento de la temperatura de la Tierra depende de la cantidad total de carbono en la atmósfera, no de la velocidad a la que se emite. Para detener por completo la tasa de aumento de la temperatura, es necesario dejar de agregar carbono a la atmósfera o conseguir cero emisiones netas.

Cero emisiones netas significa que para cada gramo de carbono que se emite, también se extrae un gramo, por lo que la masa total de carbono en la atmósfera permanece fija.

Para lograrlo, es necesario comenzar inmediatamente a reducir las emisiones de carbono hasta alcanzar a una reducción del 45 % en 2030 y llegar a cero emisiones netas en 2050.

## No desperdiciar carbono

Por medio de nuestras actividades siempre se emitirá carbono; el objetivo es extraer el mayor valor posible de cada gramo que se emite a la atmósfera.

La eficiencia en el uso del carbono consiste en minimizar la cantidad de carbono emitida por unidad de trabajo.

En el mundo de la ingeniería, el papel que se desempeña en la búsqueda de una solución para el clima consiste en crear aplicaciones que sean eficientes en su uso de carbono. La eficiencia en el uso del carbono consiste en crear aplicaciones que agreguen el mismo valor para usted o los usuarios, pero que emitan menos carbono.

**Electricidad y carbono**

La mayoría de los usuarios piensan que la electricidad es limpia; cuando conectamos algo a una pared, no nos manchamos las manos y nuestros portátiles no necesitan tubos de escape. Pero, en realidad, la mayoría de la electricidad se produce por medio de la quema de combustibles fósiles, [normalmente carbón](https://ourworldindata.org/grapher/world-electricity-by-source), y el suministro energético es la [principal causa](https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/change-of-co2-eq-emissions-2#tab-chart_4) de las emisiones de carbono.

Como se puede establecer una conexión directa entre la electricidad y las emisiones de carbono, la electricidad puede considerarse uno de los indicadores representativos del carbono.

Desde las aplicaciones que se ejecutan en el smartphone hasta el entrenamiento de los modelos de Machine Learning que se ejecutan en centros de datos, todo el software consume electricidad para ejecutarse. Una de las mejores formas de reducir el consumo de electricidad y las posteriores emisiones de la huella de carbono del software es hacer que las aplicaciones tengan una mayor eficiencia energética.

Por este motivo, el segundo principio de la ingeniería de software sostenible es **crear aplicaciones con eficiencia energética**.

Como ingeniero sostenible, debe entender la electricidad; el viaje no comienza en los equipos, sino a partir de cómo se genera la electricidad que los que alimenta.

**Diferencias entre energía y potencia**

La energía es una medida de la cantidad de electricidad que se usa; la unidad estándar de energía son los julios o J, pero otra manera habitual de hacer referencia al consumo de energía es en kilovatios por hora, o kWh.

La electricidad suele aparecer como potencia o energía, que son dos conceptos diferentes:

Energía = potencia ✕ tiempo

* La energía es la cantidad total de electricidad usada, y la unidad estándar de la energía es el julio o J.
* La potencia es la tasa de consumo de electricidad por unidad de tiempo; la unidad de energía estándar es el vatio o W, y un vatio es un julio por segundo.

Una forma habitual de hacer referencia al consumo de energía es *potencia durante de una unidad de tiempo, por ejemplo, vatios por segundo o kilovatios por hora*. Por ejemplo:

* 20 vatios/segundo o 20 Ws es la cantidad de potencia que se obtendría si se ejecutaran 20 W durante un segundo. Como 1 vatio es 1 julio por segundo, serían 20 julios.
* 20 kilovatios/hora o 20 kWh es la cantidad de energía que se obtendría si se ejecutaran 20 000 vatios durante una hora.

Energía = 60 ✕ 60 ✕ 20 000 = 72 000 000 julios = 72 megajulios (72 MJ)

La intensidad del carbono de la electricidad es una medida de la cantidad de emisiones de carbono (CO2eq) generadas por kilovatio/hora de consumo eléctrico.

La unidad estándar de la intensidad del carbono es **gCO 2eq/kWh** o gramos de carbono por kilovatio/hora.

No toda la electricidad se genera de la misma manera. En función del momento y la ubicación, la electricidad se genera utilizando diversas fuentes con diferentes emisiones de carbono. Algunas fuentes, como las eólicas, las solares o las hidroeléctricas, son limpias y renovables, y no emiten carbono. Otras fuentes de combustible fósil emiten diferentes cantidades de carbono para generar electricidad. Por ejemplo, las centrales eléctricas alimentadas por gas emiten menos carbono que las alimentadas por carbón.

Si conectara el equipo directamente a una central hidroeléctrica, la electricidad que consumiría tendría una intensidad de carbono de **cero gCO 2eq/kWh**. Una central hidroeléctrica no emite carbono para generar esa electricidad. La mayoría de los usuarios no se pueden conectar directamente a centrales hidroeléctricas. En su lugar, se conectan a redes eléctricas a las que se les proporciona electricidad por medio de una combinación de fuentes que generan cantidades de carbono variables. Por tanto, cuando se conecta a una red, la intensidad del carbono suele ser superior a cero.

**Variabilidad de la intensidad del carbono**

La intensidad del carbono cambia por ubicación, ya que algunas regiones tienen una combinación energética que contiene más fuentes de energías limpias que otras.

La intensidad del carbono también cambia con el tiempo debido a la naturaleza variable de la energía renovable. Por ejemplo, cuando está nublado o no sopla el viento, la intensidad del carbono aumenta debido a que la electricidad de la combinación proviene de orígenes que emiten carbono.

La demanda de electricidad varía durante el día, y esa demanda la debe satisfacer el suministro. Parte de ese suministro puede controlar con facilidad la potencia que genera; por ejemplo, una central eléctrica alimentada con carbón puede consumir menos carbón. Parte de ese suministro no puede controlar fácilmente la potencia que genera; por ejemplo, una granja eólica no puede controlar la velocidad del viento, solo puede descartar (reducir) electricidad que, básicamente, se ha generado de manera gratuita.

Como efecto secundario del funcionamiento de los mercados energéticos cuando se reduce la demanda de electricidad, por lo general, primero se escalan horizontalmente las fuentes de energía alimentadas mediante combustibles fósiles que más emiten y, luego, las renovables.

Si se reduce la cantidad de electricidad que consumen las aplicaciones, se puede reducir la intensidad del carbono de la combinación energética de las redes locales.

**Intensidad marginal del carbono**

Si opta por consumir más energía, esa energía proviene de la central eléctrica marginal. Esa central eléctrica es la que puede controlar la energía que genera, mientras que las renovables no pueden controlar el sol o el viento, por lo que las centrales eléctricas marginales se suelen alimentar con combustibles fósiles.

La planta marginal emite carbono; en cualquier momento dado se cuenta con la intensidad del carbono de la combinación de energía de la red, pero también con la de la energía que se tendría que haber generado para satisfacer la nueva demanda, lo que se denomina intensidad del carbono marginal.

Las centrales eléctricas alimentadas mediante combustibles fósiles rara vez se escalan horizontalmente a cero; tienen un umbral de funcionamiento mínimo. Algunas no se escalan en absoluto, sino que se considera que tienen una carga básica coherente siempre activada. Por este motivo, a veces se llega al escenario perverso en el que se descarta (se reduce) la energía renovable que se ha generado de forma gratuita para consumir la energía de centrales eléctricas generada mediante un combustible sólido que cuesta dinero.

Si una carga nueva se completara con el suministro de una fuente renovable que de otro modo se habría reducido, la intensidad del carbono marginal sería **cero gCO 2eq/kWh**.

Hay momentos en los que la intensidad del carbono marginal de la electricidad es de **cero gCO 2eq/kWh**; si en ese momento se realizan cálculos, el resultado es que el consumo eléctrico **no emite carbono**.

**Desplazamiento de la demanda**

Los sistemas de redes eléctricas actuales apenas cuentan con almacenamiento o almacenamiento en búfer. Normalmente, se genera electricidad para que el suministro siempre satisfaga la demanda. Si se genera más energía de la necesaria de fuentes renovables para admitir la demanda y todas las opciones de almacenamiento están llenas, esa energía limpia se reduce (se descarta). Una solución consiste en desplazar las cargas de trabajo a horas y ubicaciones donde haya mayor suministro de energía renovable, lo que se denomina desplazamiento de la demanda.

Si puede ser flexible con respecto a cuándo y dónde se ejecutan las cargas de trabajo, puede optar por consumir electricidad cuando la intensidad de carbono sea menor, y detenerse cuando sea alta. Por ejemplo, entrenar un modelo de Machine Learning a una hora o en una región donde la intensidad del carbono es mucho menor.

En estudios como [*Putting a CO2 figure on a piece of computation*](https://ieeexplore.ieee.org/document/6128960) (Incluir una cifra de CO2 en un cálculo) se ha demostrado que estas acciones pueden dar lugar a una reducción del carbono de entre el 45 % y el 99 %, según el número de renovables que alimenten la red.

Examine la aplicación de forma global, identifique las oportunidades para ser flexible con respecto a las cargas de trabajo y use la intensidad del carbono de la electricidad para indicar cuándo o si se deben ejecutar esas cargas de trabajo.

**Cálculo de la intensidad del carbono**

Hay varios servicios que permiten obtener datos en tiempo real con respecto a la intensidad del carbono actual de distintas redes eléctricas. Algunos proporcionan estimaciones futuras de la intensidad del carbono, y otros, la intensidad del carbono marginal.

* [Carbon Intensity API](https://carbonintensity.org.uk/): recurso gratuito para datos de la intensidad del carbono en el Reino Unido
* [ElectricityMap](https://api.electricitymap.org/): gratuito para uso no comercial en un solo país; soluciones prémium para acceso comercial y en varios países
* [WattTime](https://www.watttime.org/): gratuito para una región con una sola red, soluciones prémium para varias redes y emisiones marginales en tiempo real
* El dispositivo en el que está leyendo este documento ha emitido carbono al crearse; una vez que llegue al final del ciclo de vida, su eliminación puede liberar más. El carbono incorporado (que también se conoce como "carbono incrustado") es la cantidad de contaminación de carbono que se emite durante la creación y eliminación de un dispositivo. Al calcular la huella de carbono total de los equipos que ejecutan el software, tenga en cuenta la huella de carbono para ejecutar el equipo y el carbono incorporado en el equipo.

## El carbono incorporado es importante

* En función de la intensidad de carbono de la combinación energética, el costo del carbono incorporado de un dispositivo puede ser elevado en comparación con el de la electricidad que lo alimenta.
* Por ejemplo, un [servidor Dell R640 de 2019](https://i.dell.com/sites/csdocuments/CorpComm_Docs/en/carbon-footprint-poweredge-r640.pdf) tiene un costo de carbono incorporado amortizado de 320 kg de CO2eq/año. También se espera que consuma 1760,3 kWh/año de electricidad. La intensidad media del carbono en Europa era de 0,276 kg de CO2eq/kWh en 2019.
* Por tanto, el costo total de carbono será de 320 + (0,276 \* 1760,3) = 805 kg de carbono/año, de los cuales 320 kg (aproximadamente el 40 %) provienen del carbono incorporado. El carbono incorporado es un factor que contribuye de forma significativa a la emisión total de carbono de los servidores.
* **Nota**
* El costo del carbono incorporado suele ser mucho más alto para los dispositivos personales, en ocasiones más que el costo del carbono total del consumo eléctrico. Para obtener un ejemplo, vea [***Smartphones Are Killing The Planet Faster Than Anyone Expected***](https://www.fastcompany.com/90165365/smartphones-are-wrecking-the-planet-faster-than-anyone-expected) (Los smartphones están acabando con el planeta más rápidamente de lo que se esperaba).

## No desperdicie el hardware

* Cuando compra un equipo, ya ha emitido una carga completa de carbono. Los equipos también tienen una fecha de expiración, envejecen, no pueden administrar las cargas de trabajo modernas y es necesario actualizarlos. Si lo piensa de esta manera, el hardware es un indicador representativo del carbono, por lo que, como ingeniero de software sostenible, la eficiencia del hardware debe ser muy elevada si el objetivo es la **eficiencia en el uso del carbono**.
* Puede hacer muchas cosas para que el hardware sea eficiente, como facilitar la extensión de su fecha de expiración. Los equipos no se desgastan, no tienen piezas móviles, simplemente se quedan obsoletos. Se vuelven obsoletos porque continuamente se crea software que fuerza los límites.

## Ampliación de la duración del hardware

* Una manera de tener en cuenta el carbono incorporado consiste en amortizar el carbono durante el intervalo de vida esperado de un dispositivo. Por ejemplo, si se han necesitado 4000 kg de carbono para crear un servidor hipotético y se esperaba que durara cuatro años, esto se puede considerar equivalente a la emisión de 1000 kg de carbono al año durante su vida útil.
* Si el carbono incorporado se aborda de esta manera, cualquier dispositivo, incluso uno que no consuma electricidad, emite carbono mientras dure. Teniendo esto en cuenta, si se amortizaran los mismos 4000 kg de carbono en el servidor hipotético durante cinco años en lugar de cuatro, el carbono emitido por año se reduciría a 800 kg.
* Si se aplica este concepto a la vida útil del servidor Dell R640 de 2019 que se ha mencionado antes, el carbono amortizado se reduciría de **320 kg de CO 2eq/año** a **256 kg de CO 2eq/año** si se ampliara su vida útil a cinco años en lugar de cuatro.
* El hardware se retira porque se estropea o tiene dificultades para administrar cargas de trabajo modernas. El software no puede ayudar con el primer factor, pero, si se centra en crear aplicaciones que se puedan ejecutar en hardware más antiguo, se puede ayudar con el segundo.
* El uso mide la cantidad de recursos que utiliza un equipo y normalmente se representa en forma de porcentaje. Un equipo inactivo tiene un porcentaje de uso bajo y no se utiliza; un equipo que se ejecute a su máxima capacidad tiene un porcentaje alto y se utiliza de forma completa.
* La [proporcionalidad energética](https://en.wikipedia.org/wiki/Energy_proportional_computing) mide la relación entre la potencia consumida en un sistema informático y la velocidad a la que se realiza el trabajo útil (su uso). Si el consumo de energía global es proporcional al uso del equipo, se dice que es energéticamente proporcional.
* En un sistema energéticamente proporcional, la eficiencia energética es una constante; con independencia del uso, sigue siendo la misma. Pero la eficiencia energética del hardware no es constante. Varía en función del contexto. Debido a las complejas interacciones de los muchos componentes distintos de un dispositivo de hardware, puede que no sea lineal, lo que significa que la relación entre la potencia y el uso no es proporcional.
* Al 0 % de uso, el equipo consume 100 W; al 50 % de uso, consume 180 W; y al 100 % de uso, 200 W. La relación entre el consumo de energía y el uso no es lineal, y no cruza el origen.
* Debido a esta relación, **cuanto más se use un equipo, más eficiente será para convertir la electricidad en operaciones informáticas útiles**. La ejecución del trabajo en el menor número posible de servidores con la tasa de uso más alta maximiza su eficiencia energética.

## Consumo de energía estático

* Esta falta de proporcionalidad energética se debe a varios motivos, y uno de ellos es el consumo de energía estático.
* Un equipo inactivo, incluso a un uso del 0 %, sigue consumiendo electricidad. Este consumo de energía estático varía según la configuración y los componentes de hardware, pero todos los componentes lo realizan. Este posible consumo energético es uno de los motivos por los que los equipos, portátiles y dispositivos móviles ofrecen modos de ahorro de energía. Si el dispositivo está inactivo, en última instancia desencadenará el modo de hibernación, y el disco y la pantalla se pondrán en suspensión, o incluso cambiará la frecuencia de la CPU. Estos modos de ahorro de energía ahorran electricidad, pero tienen otras ventajas, como un reinicio más lento cuando el dispositivo se reactiva.
* Normalmente, los servidores no se configuran para un ahorro de energía agresivo o incluso mínimo. Muchos casos de uso de servidores demandan una capacidad total lo más rápido posible en respuesta a una demanda que cambia rápidamente. Este escenario puede dejar muchos servidores en modos inactivos durante períodos de baja demanda. Un servidor inactivo tiene un costo tanto de carbono incorporado como de su uso ineficiente.

### Velocidad del reloj

* La velocidad del reloj (la frecuencia) es la velocidad de funcionamiento de un equipo o su microprocesador, expresada en ciclos por segundo (megahercios). El ajuste dinámico de la velocidad del reloj de los dispositivos informáticos se usa a menudo en los dispositivos de consumo para lograr una mayor proporcionalidad energética.
* La velocidad del reloj denota la rapidez con la que un equipo puede ejecutar instrucciones.
* La eficiencia energética de los microprocesadores cambia con la velocidad de reloj: las velocidades elevadas suelen tener **menos** eficiencia energética que las bajas. Por ejemplo, en el sistema I7-3770K, puede ejecutarse a 3,5 GHz para 50 W, o aproximadamente 5 GHz para 175 W. Un aumento aproximado del 40 % de la velocidad del reloj requiere un incremento energético >3✕.
* Teniendo en cuenta esta información, la reducción de la velocidad del reloj en momentos de uso bajo puede aumentar la eficiencia energética, con lo que se maximiza la del hardware.

Una red es una serie de conmutadores, enrutadores y servidores. Todos los equipos de una red consumen electricidad y tienen carbono incrustado. Internet es una red global de dispositivos que normalmente se ejecutan sobre la combinación energética de la red local estándar o mediante renovables.

Cuando se envían datos por Internet, se envían a través de muchos dispositivos de la red, y cada uno consume electricidad. Como resultado, los datos que se envían o reciben a través de Internet emiten carbono.

La cantidad de carbono emitida para enviar datos depende de muchos factores:

* Tamaño de los datos
* Distancia que recorren los datos
* Número de saltos entre los dispositivos de red
* Eficiencia energética de los dispositivos de red
* Intensidad del carbono de la energía en la región de cada dispositivo en el momento en el que se transmiten los datos
* Protocolo de red utilizado para coordinar la transmisión de datos; por ejemplo, multiplexado, compresión de encabezados o TLS/Quic

Se supone que los dos factores más importantes son el tamaño y la distancia, por lo que las aplicaciones con eficiencia del carbono se centran en reducir la cantidad de datos y la distancia que recorren.

En un estudio de The Shift Project de 2019 se propuso un modelo de 1 byte para estimar la energía utilizada en la transmisión de los datos. Para calcular los kWh, multiplique el número total de megabytes del tráfico por 0,0023.

Para la conversión en carbono, se usa la intensidad media del carbono global de 519 gCO2eq/kWh, multiplicado por 0,519 para obtener los kilogramos de carbono. Con este modelo, se estima que la transmisión de 1 GB daría como resultado 1024 ✕ 0,0023 ✕ 0,519 = 1,22 kg de carbono emitido.

En el mismo estudio también se sugiere que la energía consumida es casi el doble para los datos transmitidos a través de redes móviles.

El [desplazamiento de la demanda](https://principles.green/principles/carbon-intensity/#heading-demand-shifting) es la estrategia de mover el proceso a horas o regiones en las que la intensidad del carbono es menor; dicho de otro modo, cuando el suministro de electricidad renovable es elevado.

El modelado de la demanda es una estrategia similar, pero, en lugar de trasladar la demanda a otra región u hora diferente, la demanda se modela para que coincida con el suministro existente.

Si el suministro de energía renovable es elevado, aumente la demanda (haga más en las aplicaciones); si el suministro es bajo, reduzca la demanda (haga menos en las aplicaciones).

* Un buen ejemplo de ello es el software de videoconferencia. En lugar de transmitir contenido a la máxima calidad posible en todo momento, a menudo la demanda se moldea mediante la reducción de la calidad del vídeo para priorizar el audio.
* Otro ejemplo es TCP/IP. La velocidad de transferencia aumenta en respuesta a la cantidad de datos que se pueden retransmitir a través de la conexión.
* Un tercer ejemplo es la mejora progresiva con la Web. La experiencia web mejora en función de los recursos y el ancho de banda disponible en el dispositivo del usuario final.

## Diferencias entre tener en cuenta el carbono y la eficiencia del carbono

La eficiencia del carbono puede ser transparente para el usuario final. Puede ser más eficiente en cada nivel de la conversión de carbono en una funcionalidad útil y, al mismo tiempo, mantener la misma experiencia del usuario.

Pero llegará un momento en el que la transparencia de la eficiencia de carbono no sea suficiente. Si el costo de carbono de ejecutar una aplicación ahora es demasiado alto, se puede cambiar la experiencia del usuario para reducir todavía más las emisiones de carbono. Cuando el usuario es consciente de que la aplicación se ejecuta de otra manera, se convierte en una aplicación que tiene en cuenta el carbono.

El modelado de la demanda de las aplicaciones que tienen en cuenta el carbono se reduce al suministro. Cuando el costo de carbono de ejecutar la aplicación sea elevado, modifique la demanda para que coincida con el suministro de carbono. Esto puede ocurrir de forma automática, o bien el usuario puede elegir la opción que más le convenga.

## Modos de ahorro

Los modos de ahorro se suelen usar a diario, por ejemplo, en automóviles o lavadoras. Cuando se activan, el rendimiento cambia a medida que se consumen menos recursos (gas o electricidad) para realizar la misma tarea. Como no carecen de costos (de lo contrario, siempre se elegirían los modos de ahorro), se producen contrapartidas. Al tratarse de contrapartidas, los modos de ahorro casi siempre se presentan al usuario como una opción, y el usuario decide si quiere seguir adelante y aceptar los compromisos.

Las aplicaciones de software también pueden tener modos de ahorro que, al activarlos, cambien el comportamiento de la aplicación de dos maneras posibles:

* **Inteligencia**. Se trata de ofrecer información a los usuarios para que puedan tomar decisiones fundamentadas.
* **Automática**. La aplicación toma decisiones más agresivas para reducir las emisiones de carbono.

## Resumen

El modelado de la demanda está relacionado con un concepto de sostenibilidad más amplio: la reducción del consumo. Se puede conseguir mucho más si los recursos se usan de forma eficiente, pero llegará un momento en el que también haya que consumir menos. Como ingenieros de software sostenible, la eficiencia del carbono puede significar que, cuando la intensidad de carbono sea alta, en lugar de calcular el desplazamiento de la demanda, se considere la posibilidad de cancelarla. Reducir las demandas de la aplicación y las expectativas de los usuarios finales.

La sostenibilidad no es una optimización, son miles. Es aconsejable adoptar una perspectiva global y avanzar paso a paso. A menudo, el esfuerzo por comprender la pila completa, desde la experiencia del usuario hasta el diseño del centro de datos o las redes eléctricas, ofrece soluciones sencillas que mejoran significativamente la eficiencia del carbono.

Valore el esfuerzo necesario para la descarbonización frente a las posibles recompensas. Como sucede con el movimiento de sostenibilidad global más amplio, algunos sectores serán más difíciles de descarbonizar que otros. En la informática, algunos dominios de aplicación serán más difíciles de descarbonizar que otros. Algunas partes de la arquitectura de la aplicación serán más difíciles de descarbonizar que otras.

La clave del éxito de la optimización consiste en elegir un criterio de medición que proporcione señales claras sobre dónde concretar mejor los esfuerzos de la optimización. Por ejemplo, ¿merece la pena dedicar dos semanas a reducir los megabytes de la comunicación de la red si las consultas de la base de datos emiten 10 veces más carbono?

En raras ocasiones, se puede medir directamente la huella de carbono de la aplicación, pero, si se sigue una cadena de recursos y finalmente tiene un vínculo a las emisiones de carbono, entonces es un buen indicador representativo del carbono.

## Carbono

La medición de las emisiones de carbono es un desafío complejo, con partes de la pila que se deben calcular en lugar de medir, pero es posible hacerlo con cierto esfuerzo.

Debido a la variabilidad de la intensidad del carbono y otras dependencias, el carbono total emitido puede cambiar en función de la hora del día o la región en la que se ejecute la aplicación.

La misma aplicación medida a otras horas dará como resultado otras cantidades de carbono. Este cambio puede ser una buena señal, en especial si está abierto a cargas de trabajo que cambian en función de la demanda, o bien podría ser ruido, si se centra en las optimizaciones energéticas.

## Sector energético

La energía que consume la aplicación puede variar cada vez que se ejecuta; este cambio puede ser algo que quiera adoptar como una señal de optimización o algo que prefiera controlar.

La ejecución de la misma aplicación en otro hardware puede generar otras cantidades de energía consumida debido a las diferencias de eficiencia energética entre los componentes de hardware.

Debido al principio de proporcionalidad energética, la ejecución de la misma aplicación en el mismo hardware, pero en momentos distintos, puede generar otras cantidades de energía consumida porque el uso del hardware es diferente entre las dos ejecuciones. Es decir, es posible que el hardware ejecute otras aplicaciones durante la segunda ejecución, lo que cambia la eficiencia energética general del hardware.

Pero, en general, la creación de aplicaciones que consumen menos electricidad para los mismos rendimiento y salida perceptibles para el ser humano es un buen indicador representativo de la reducción de carbono.

Existen dispositivos, herramientas y bibliotecas para medir la energía que consume una aplicación.

## Costos

En algún momento, en la mayoría de los servicios se tiene en cuenta el costo de la electricidad y el hardware. La creación de aplicaciones que se ejecutan de la manera más barata posible normalmente es un buen indicador representativo de las aplicaciones que emiten menos carbono.

## Redes

A menudo, no se tiene en cuenta el costo del carbono de las redes. Las redes consumen electricidad y requieren hardware, por lo que son un indicador representativo del carbono.

La medición y posterior reducción de la cantidad y distancia que deben recorrer los datos es un buen indicador representativo de la reducción del carbono.

## Rendimiento

Crear aplicaciones de mayor rendimiento consiste en crear aplicaciones que usen el hardware y la electricidad de forma más eficiente. Como el hardware y la electricidad son indicadores representativos del carbono, si puede diseñar una aplicación que funcione mejor para el mismo nivel de uso, este diseño probablemente reducirá el carbono total.