

Tipo de artículo: Artículo original

Centros de datos verdes en Ecuador: Una estrategia para disminuir la emisión de CO₂ en los Centros de Datos ecuatorianos

Green data centers in Ecuador: A strategy to reduce CO₂ emissions in Ecuadorian Data Centers

Patricia María Marcillo Sánchez ^{1*} , <https://orcid.org/0000-0003-1421-1004>

Lugio David Román Barrezueta ² , <https://orcid.org/0000-0002-3081-8052>

¹ Universidad de Guayaquil, Ecuador. Correo electrónico: patricia.marcillos@ug.edu.ec

² Universidad de Guayaquil, Ecuador. Correo electrónico: lugio.romanb@ug.edu.ec

* Autor para correspondencia: patricia.marcillos@ug.edu.ec

Resumen

Este documento propone una estrategia para disminuir la emisión de CO₂ en los centros de datos ecuatorianos, sustentada en el aumento de la eficiencia energética y la disminución de emisión de carbono, de manera que la transformación “verde” de los centros de datos reduzcan los efectos del calentamiento global. La estrategia analiza las técnicas de ahorro de energía, destacando la virtualización, computación en la nube y la implementación de métricas ecológicas para lograr centros de datos más sostenibles y amigables con el medio ambiente. Se compone de cuatro etapas para implementar adecuadamente técnicas de TI ecológicas para lograr centros de datos ecológicos: Planeación, Diagnóstico, Ecologización, y Monitoreo y Control. El conjunto de actividades descritas, traza una iniciativa secuencial para transformar los procesos de datos hacia resultados más sostenibles. Se propone un conjunto de buenas prácticas clasificadas por niveles, que sirven de recomendación para los centros de datos con iniciativas verdes en Ecuador.

Palabras clave: Emisión de CO₂; eficiencia energética; Ecologización; Estrategia de TI; buenas prácticas verdes; centros de datos.

Abstract

This document proposes a strategy to reduce CO₂ emissions in Ecuadorian data centers, based on increased energy efficiency and reduced carbon emissions, so that the "green" transformation of data centers reduces the effects of global warming. The strategy discusses energy saving techniques, highlighting virtualization, cloud computing and the implementation of green metrics to achieve more sustainable and environmentally friendly data centers. It consists of four stages to properly implement green IT techniques to achieve green data centers: Planning, Diagnosis, Greening, and Monitoring and Control. The set of activities described, traces a sequential initiative to transform data processes towards more sustainable results. A set of good practices classified by levels is proposed, which serve as a recommendation for data centers with green initiatives in Ecuador.

Keywords: CO₂ emission; energy efficiency; greening; IT strategy; good green practices; data centers.

Recibido: 30/11/2022

Aceptado: 30/12/2022

En línea: 01/01/2023



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

Introducción

La mejora ambiental es una preocupación mundial en todos los países, aun cuando estos tienen distintos niveles de desarrollo. Hay varios factores determinantes de tales mejoras, que incluyen, por ejemplo, la capacidad estatal, las regulaciones climáticas nacionales e internacionales, la inversión nacional y extranjera, y la productividad y eficiencia energética. La protección del medio ambiente es un objetivo importante de la sostenibilidad. Los gases de efecto invernadero (GEI) son un peligro ambiental clave que puede afectar la acción humana. Para proteger el medio ambiente de las emisiones de GEI, se necesita la integración nacional y regional de la inversión organizacional; el uso de recursos para cumplir objetivos de sostenibilidad ambiental; y la gobernanza institucional para promover iniciativas ambientales. El impacto de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) en el medio ambiente es controvertido. Las TIC pueden aumentar la productividad de los factores económicos y promover el crecimiento económico. Sin embargo, para ejecutar estos procesos pueden consumir mucha energía y, por lo tanto, empeorar el medio ambiente. El deterioro del medio ambiente provocado por las TIC se refleja principalmente en dos aspectos:

- Requiere mucha energía, como teléfonos móviles, centros de datos y redes inteligentes.
- La producción de desechos electrónicos y la tecnológica obsoleta es una fuente de contaminación muy agresiva.

Algunos investigadores consideran que las TIC pueden mejorar el medio ambiente, a partir de la introducción de tecnologías de ahorro de energía y reducción de emisiones, y con acciones para crear Tecnologías de la Información (TI) verdes. *Green IT* o *Green Computing* es una forma de lograr un uso más rentable y respetuoso con el medio ambiente de la energía y la tecnología de producción. *Green IT* se utiliza como un término general para superponer conceptos como virtualización, subcontratación de computación en la nube, reciclaje, adquisición y administración de energía. La aspiración de *Green IT* se centra en lograr una mayor eficiencia energética en el uso de dispositivos de Tecnologías de la Información (TI) y aumentar la utilización de dispositivos ya instalados en organizaciones que se centran básicamente en las TI, como los centros de datos (Sánchez & Barrezueta, 2022).

Ecuador ha tomado acciones que promueven el cuidado del medio ambiente, desde la creación del Ministerio del Medio Ambiente mediante el Decreto Ejecutivo No. 195 publicado en el Suplemento- Registro Oficial No. 40 del 4 de Octubre de 1996. En La Constitución de la República del Ecuador de 2008 se garantizan los derechos de la naturaleza y un ambiente sano para los ecuatorianos. El artículo 396 de la Constitución establece que:

Art. 396.- El Estado adoptará las políticas y medidas oportunas que eviten los impactos ambientales negativos, cuando exista certidumbre de daño. (...) Todo daño al ambiente, además de las sanciones correspondientes, implicará también la obligación de restaurar integralmente los ecosistemas e indemnizar a las personas y comunidades afectadas.



Cada uno de los actores de los procesos de producción, distribución, comercialización y uso de bienes o servicios asumirá la responsabilidad directa de prevenir cualquier impacto ambiental, de mitigar y reparar los daños que ha causado, y de mantener un sistema de control ambiental permanente.

De igual manera, el artículo 397 constitucional consagra que en caso de daños ambientales, el Estado debe actuar de manera inmediata, en procura de la restauración de los ecosistemas. Tal como se observa a continuación:

Art. 397.- En caso de daños ambientales el Estado actuará de manera inmediata y subsidiaria para garantizar la salud y la restauración de los ecosistemas. Además de la sanción correspondiente, el Estado repetirá contra el operador de la actividad que produjera el daño las obligaciones que conlleve la reparación integral, en las condiciones y con los procedimientos que la ley establezca. La responsabilidad también recaerá sobre las servidoras o servidores responsables de realizar el control ambiental. (...).

Para el año 2012, siguiendo la concepción de Pigou (Pigou, 1947), el Estado ecuatoriano implementa la Ley de Fomento Ambiental y Optimización de Recursos, en la cual se establecen impuestos ambientales. Los mismos se enfocan en cambiar la cultura de los ecuatorianos por una cultura amigable con el medio ambiente, con el objetivo de reducir la contaminación ambiental. Así mismo el Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021-Toda una Vida con número de registro CNP-003-2017, propone adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.

Una de las áreas de negocios de Tecnologías de la Información (TI) donde la sustentabilidad ambiental se está volviendo imperativa son los centros de datos. Forman la columna vertebral de una amplia variedad de servicios que se ofrecen a través de Internet. La creciente demanda de almacenamiento, redes y computación ha impulsado la intensificación de grandes centros de datos complejos que ejecutan muchas de las aplicaciones comerciales, financieras y de internet actuales. Un centro de datos se compone de muchos servidores y puede usar tanta energía como una ciudad pequeña. Se requiere una gran cantidad de poder de cómputo para impulsar y ejecutar estas granjas de servidores, lo que genera muchos desafíos, como un gran consumo de energía, emisión de gases de efecto invernadero, copias de seguridad y recuperación.

El desarrollo y el mantenimiento de centros de datos a menudo se caracteriza por el desperdicio de energía y las altas emisiones de CO₂. El aumento de las emisiones de CO₂ ha venido amenazando la salud ambiental y humana, siendo necesario que todos los estados desarrollen las medidas necesarias para proteger la salud pública y para sostener y administrar la vitalidad ecológica, que es un factor crucial en el desarrollo social y económico de los países.

La eficiencia energética y la disminución de las emisiones de CO₂ en los centros de datos de las instituciones, solo se pueden obtener mediante la adopción de acciones y técnicas adecuadas para garantizar una ejecución eficiente de los servicios de manera sostenible, como: utilización de fuentes de energía ecológicas, reducción del número de máquinas



físicas y virtuales, uso de máquinas más ecológicas. El impacto de los centros de datos en la energía consumida en todo el mundo es cada vez más relevante. Además, muchas empresas y organizaciones están tratando de experimentar iniciativas de TI ecológica mediante la implementación de tecnologías ecológicas sostenibles para hacer que sus negocios sean respetuosos con el medio ambiente, sostenibles y rentables.

La motivación principal de la presente investigación es contribuir en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero para inhibir sus efectos nocivos, donde uno de los más importantes es el CO₂. La investigación realizada enfatiza la urgencia de la formulación de políticas y estrategias de gestión ambiental dirigidas a impedir las emisiones de carbono en los centros de datos de empresas ecuatorianas. El objetivo principal de la presente investigación es desarrollar una estrategia para disminuir la emisión de CO₂ en los centros de datos ecuatorianos y allanar el camino hacia la transformación de Centros de Datos Verdes en Ecuador.

Materiales y métodos

Para el desarrollo de la propuesta que se presenta en esta investigación se tuvo en cuenta el análisis de los antecedentes, las motivaciones, los principios y los objetivos que sustentan la estrategia creada para los centros de datos de Ecuador, tal como se muestra en la Figura 1. Estos cuatro elementos básicos se resumen a continuación:

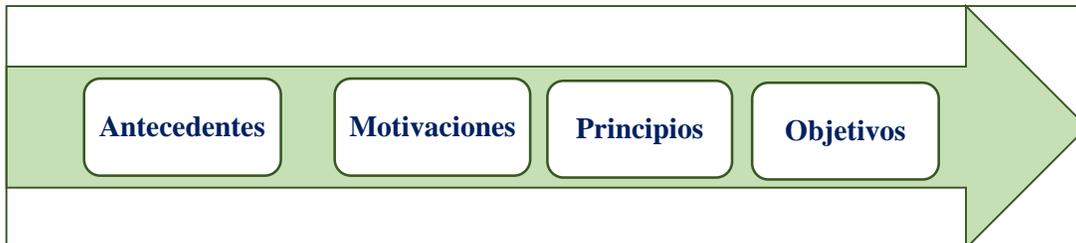


Figura 1. Fundamentos metodológicos del diseño de la estrategia para Centros de Datos Verdes en Ecuador.

Fuente: Elaboración propia.

Antecedentes

El desarrollo sostenible (DS) se puede lograr a través de la promoción de la gobernanza institucional en los países en desarrollo. El DS es un fenómeno global para apoyar la integración regional y la planificación del desarrollo futuro. La ONU desarrolló e incluyó varios elementos de DS en una carta para los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Las mejoras ambientales y las emisiones de GEI son un segmento importante de la agenda de SD. Los países han empleado diversas estrategias para lograr el DS ambiental desde la primera iniciativa de las Naciones Unidas para la sostenibilidad.



El inmenso uso de TI se ha disparado en todas las áreas de las actividades comerciales, ofreciendo grandes beneficios y conveniencias y transformando irreversiblemente las empresas y las sociedades en un mundo global. Pero al mismo tiempo, las TI han estado contribuyendo enormemente a los problemas ambientales (Rodríguez et al., 2021). Desafortunadamente, la mayoría de las personas, incluidos muchos profesionales de TI, no se dan cuenta de esto. TI afecta el entorno de varias maneras diferentes. Cada etapa de la vida de una computadora, desde la producción, el uso hasta la eliminación, presenta desafíos ambientales. La fabricación de computadoras y sus diversos componentes electrónicos y no electrónicos consume electricidad, materias primas, productos químicos y agua, y genera desechos peligrosos. Todos estos factores contribuyen a los problemas ambientales.

A nivel mundial, el consumo total de energía eléctrica por parte de los centros de datos, servidores y computadoras está aumentando constantemente. El aumento en el consumo de energía da como resultado un aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, ya que la mayor parte de la electricidad se genera quemando carbón, petróleo o gas. Innumerables computadoras viejas y otro hardware electrónico, que contienen materiales tóxicos, se desechan en un par de años después de la compra, terminan en vertederos, contaminan la tierra y contaminan el agua. El mayor número de computadoras en uso y sus reemplazos frecuentes hacen que el impacto ambiental de TI sea una preocupación importante. En consecuencia, existe una presión cada vez mayor sobre nosotros para que la TI sea respetuosa con el medio ambiente.

Para superar algunos de los problemas ambientales, *Green IT* abarca muchas áreas y actividades de enfoque, incluida la administración de energía; diseño, distribución y ubicación del centro de datos; el uso de materiales biodegradables; cumplimiento normativo; métricas verdes y etiquetado verde; herramientas y metodologías de evaluación de la huella de carbono; y mitigación de riesgos relacionados con el medio ambiente (Marcillo Sánchez, 2022). Un número creciente de proveedores y usuarios de TI ha comenzado a centrar su atención en *Green IT*, impulsado por la introducción inminente de más impuestos y regulaciones verdes; habrá un gran aumento en la demanda de productos y soluciones de *Green IT*, porque ahora se vuelve imperativo desarrollar una TI ambientalmente sostenible, tanto desde el punto de vista económico como ambiental (Rodríguez et al., 2022).

Motivaciones

El Centro de Datos se refiere a las instalaciones comerciales que contienen una gran plataforma de infraestructura de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), equipos de suministro de energía y refrigeración, servidores y dispositivos de almacenamiento para almacenar, procesar e intercambiar información y datos digitales. Se encuentran en casi todos los sectores de la economía, desde servicios financieros, medios, alta tecnología, universidades,



instituciones gubernamentales y muchos otros los usan y operan para ayudar a los procesos comerciales, la gestión de la información y las funciones de comunicación.

Se requiere una gran cantidad de poder de cómputo para impulsar estos sistemas grandes y complejos, lo que genera muchos problemas y desafíos, como un gran consumo de energía por parte de diferentes componentes del centro de datos, como servidores y dispositivos de almacenamiento, y emisiones de gases de efecto invernadero muy peligrosos para el calentamiento global y la sostenibilidad ambiental.

El centro de datos verde ha pasado de lo teórico a lo realista, y los líderes de TI enfrentan el desafío de construir nuevos centros de datos o modernizar los existentes, con características de ahorro de energía, materiales sostenibles y otras eficiencias ambientales. El centro de datos verde es un ecosistema informático denso y eficiente en el uso de la energía donde las tecnologías de software controlan el crecimiento de datos y reducen las demandas de capacidad y la infraestructura informática de eficiencia energética optimiza el rendimiento y los niveles de utilización.

Principios de la estrategia propuesta

- Principio 1. Las entidades públicas y privadas deben trabajar colectivamente para insertar y crear nuevas fuentes de energía limpia y renovable para abastecer sus centros de datos.
- Principio 2. Los responsables institucionales junto con el equipo de ingenieros deben revolucionar los enfoques de su centro de datos para mitigar las emisiones de contaminantes al medio ambiente.
- Principio 3. El gobierno es responsable de introducir leyes vinculantes sobre los centros de datos e industrias en general, exigiéndoles que instalen medidas especiales para disminuir el desperdicio de energía, y controlar los desechos industriales.
- Principio 4. Se deben adoptar múltiples métodos para disminuir y controlar las emisiones de CO₂.
- Principio 5. Se deben promover e introducir dispositivos y patrones de consumo de energía solar asequibles, y enfoques de energía renovable evitando las fuentes tradicionales de combustibles fósiles que contaminan el aire.
- Principio 6. El gobierno debe fomentar los reembolsos y los subsidios en proyectos de financiamiento verde y la investigación y el desarrollo en la mejora ambiental.
- Principio 7. En los centros de datos e industrias en general se deben aprovechar la inversión extranjera directa en proyectos ambientales.
- Principio 8. Se deben promover programas de formación, capacitación y superación para los profesionales de TI como un primer paso para transformar su entorno actual en un centro de datos verde inteligente.



Objetivos de la estrategia propuesta

- Objetivo 1. Aplicar principios y métricas de *Green IT* para la reducción de los costos generales de energía de los centros de datos.
- Objetivo 2. Realizar mantenimientos sistemáticos a los equipos de TI para extender la vida útil de los equipos existentes del centro de datos, mediante la actualización inteligente de los equipos, aprovechando las eficiencias energéticas.
- Objetivo 3. Reducir las actividades y costos de mantenimiento de TI y mejorar la imagen general del centro de datos.
- Objetivo 4. Ahorrar dinero y reducir la gestión medioambiental mediante la eliminación adecuada de residuos y hardware tóxico, al proponer hardware nuevo que sea respetuoso con el medio ambiente, consuma menos energía y sea fácil de desechar y reciclar.
- Objetivo 5. Reducir las huellas de carbono generales y los efectos del calentamiento global.
- Objetivo 6. Reducir la emisión de CO₂ en los centros de datos.
- Objetivo 7. Reducir la tensión en la red eléctrica.
- Objetivo 8. Liberar espacio en los pisos del centro de datos para disminuir la contaminación y el consumo energético.
- Objetivo 9. Utilizar los incentivos de precios, exenciones fiscales y descuentos ofrecidos por empresas de servicios públicos, compañías de seguros y gobiernos, para actualizar los centros de datos.
- Objetivo 10. Preparar al centro de datos para el cumplimiento de futuras normativas y certificaciones ambientales.

Resultados y discusión

Existe la necesidad de crear una estrategia flexible para lograr los Centros de Datos Verdes en Ecuador. En esta sesión se presenta una estrategia flexible, dinámica y segura para manejar los problemas de energía en los Centros de Datos de Ecuador y para reducir las huellas de carbono. La estrategia está compuesta por 4 etapas, tal como muestra la Figura 2.

Estrategia para crear centros de datos verdes en Ecuador





Figura 2. Estrategia para los Centros de Datos Verdes en Ecuador.

Fuente: Elaboración propia.

La estrategia propuesta en esta investigación para transformar los centros de datos en Ecuador, hacia un funcionamiento sostenible y amigable con el medio ambiente, está conformada por 4 etapas: Planeación, Diagnóstico, Ecologización, y Monitoreo y Control. A continuación se describen en detalle cada una de las etapas y el sistema de actividades que la componen:

Etapa de Planeación

Esta etapa es muy importante. El principal actor es el comité directivo del centro de datos; ya que es la alta dirección quien tiene que estar interesada y decidida a realizar transformaciones sustanciales, para convertir su entrono en un centro sostenible. Así mismo, es la alta dirección la encargada de planificar los recursos humanos y financieros necesarios para lograr la transformación, y consecuentemente, actualizar de verde sus tecnologías, productos, y servicios.

Actividad 1.1: Identificación de buenas prácticas para implementar centros de datos sostenibles.

En esta actividad se deben identificar las buenas prácticas implementadas en centros de datos con procesos, evaluaciones y certificaciones verdes; de manera que esta experiencia acumulada pueda ser implementada paulatinamente en los centros de datos ecuatorianos que aún están rezagado en cuanto a transformaciones verdes. Los reportes técnicos y las investigaciones científicas proponen la un conjunto de buenas prácticas. En esta investigación se



propone un listado de recomendaciones clasificados según el nivel de complejidad y recursos que requieren para su implementación: básico, avanzado y crítico; en orden ascendente de complejidad. Es por este motivo que se recomienda realizar implementaciones escalonadas, partiendo por la implementación de las buenas prácticas del nivel básico, para luego ir evolucionando y aumentando el nivel de complejidad.

Tabla 1. Buenas prácticas del desarrollo sostenible por niveles.

Nivel	Buenas prácticas
Equipamiento tecnológico	
Básico	Desconectar las infraestructuras innecesarias
Avanzado	Instalar equipo de instrumentación con sensores de temperatura y consumo eléctrico.
Avanzado	Actualizar fuentes de alimentación, convertidores, sistemas UPS y sistemas CRAC
Crítico	Cambiar a fuentes de energía verdes
Básico	Utilizar estados de bajo consumo de energía de las unidades de procesamiento de gráficos.
Básico	Reducir los cambios de pantalla durante la realización de las tareas.
Aplicaciones de Tecnologías de la información	
Básico	Implementar la virtualización de los servidores
Básico	Implementar un sistema de administración de energía de PC en red
Crítico	Migrar los espacios físicos a los virtuales
Crítico	Actualice los procesos de TI
Crítico	Actualice el software de administración
Avanzado	Automatiza las tareas que lo permitan
Básico	La gestión del búfer se debe aplicar mediante políticas de reemplazo por lotes para explotar la I/O secuencial.
Crítico	Desarrollar aplicaciones donde los usuarios visualicen datos de energía y obtengan comentarios ecológicos de forma dinámica.
Básico	Implementa sistemas de apagado automático
Reciclaje y eliminación de la tecnología obsoleta	
Básico	Comprar estrictamente el equipamiento necesario (Evitar acumular y posteriormente desechar)
Básico	Comprar productos con menos embalaje (Reduce los residuos y desechos)
Avanzado	Comprar productos que se puedan usar repetidamente.
Básico	Comprar baterías recargables (Reciclar las baterías como las alcalinas y muy difícil, y el nivel de contaminación es muy alto).
Avanzado	Reciclar todos los equipos posibles
Básico	Prolongar el ciclo de vida de la PC
Ahorro energético	
Básico	Realizar análisis utilizando calculadoras de eficiencia energética y de CO ₂
Básico	Simplificar los sistemas de cableado
Básico	Desbloquear las salidas de aire acondicionado
Básico	Agrupar equipos con requisitos similares de alimentación y refrigeración de forma modular
Básico	Optimice la temperatura del centro de datos a través del enfriamiento de precisión y otras técnicas.
Avanzado	Mejore el flujo de aire del centro de datos
Crítico	Reemplace los generadores eléctricos y equipos de refrigeración más antiguos, por otros más nuevos y eficientes.
Básico	Se debe elegir un esquema de color de bajo consumo de acuerdo con la tecnología del monitor
Básico	Reducir las cargas de trabajo intensivas de I/O ejecutadas con frecuencia.
Básico	Reducir el número de barras de progreso, animaciones y, especialmente, barras de desplazamiento utilizadas
Básico	Los datos de uso de energía y la información sobre emisiones de carbono deben mostrarse al personal que se encuentra dentro del centro de datos.
Básico	Analizar la factura de energía de TI por separado de la factura corporativa general.
Otras	
Básico	Designar un <i>sábado verde</i> al mes para la plantación de árboles en las zonas aledañas al espacio físico del centro de datos
Básico	Crear un <i>espacio verde</i> dentro de la sede física del centro de datos
Básico	Realice donativos para invertir en sostenibilidad ambiental, al GAD del municipio donde se encuentra la sede física del centro de datos.



Básico	Genere un <i>intercambio verde</i> con los pobladores cercanos a la sede del centro de datos para fomentar la cultura ambiental.
Básico	Crear un tablero virtual con la medición semanal de las emisiones de CO2, para su utilización como base para la reducción del impacto ambiental
Básico	Crear un código de conducta sobre la política de cuidado ambiental del centro de datos.
Básico	Pagar los impuestos ambientales que establece el Estado ecuatoriano según la Ley de Fomento Ambiental y Optimización de Recursos.
Básico	Auditar la eficiencia energética de los sistemas y TI existentes
Básico	Actualizar el logo del centro de datos, agregando un sello de <i>Green IT</i>

Actividad 1.2: Definición del sistema de objetivos sostenibles a alcanzar:

El primer paso para ecologizar el centro de datos es establecer una línea base de todos los requisitos para obtener el máximo valor del programa de ecologización del centro de datos. Un punto de referencia completo debería especificar un plan de trabajo para ejecutar, que represente alguna tarea de interés del mundo real; una métrica o puntuación para comparar diferentes sistemas; y normas operativas para garantizar que el índice de referencia se ejecuta en condiciones realistas. Algunos de los objetivos sostenibles a alcanzar en el centro de datos, son recomendados en la tabla 2.

Tabla 2. Recomendaciones de Objetivo de sostenibilidad ambiental para los centros de datos verdes en Ecuador.

No.	Objetivo de sostenibilidad ambiental del centro de datos
1.	Reducir los costos de potenciar la infraestructura de TIC
2.	Adquirir tecnología TIC más respetuosa con el medio ambiente
3.	Usar las TIC para minimizar las prácticas comerciales emisoras de carbono
4.	Desechar y reciclar artículos de TIC de manera respetuosa con el medio ambiente
5.	Mejorar la eficiencia energética de los centros de datos
6.	Reducir los costos de funcionamiento de los centros de datos
7.	Reducir la contribución de las TIC a las emisiones de gases de efecto invernadero
8.	Cumplir con los requisitos normativos ecológicos
9.	Aumentar el nivel de eficiencia energética
10.	Crear una imagen pública alineada con las preocupaciones ambientales.
11.	Cumplir con las normativas ambientales
12.	Virtualizar los servidores
13.	Mejorar la eficiencia del centro de datos
14.	Actualizar los procesos de TI

Actividad 1.3: Creación de equipos de ecologización del centro de datos:

Reunir personas con valores compartidos en los centros de datos, es una iniciativa fundamentalmente hacia la transformación verde de los procesos. Las comunidades crecen orgánicamente en torno a un conjunto implícito de valores identificados formalmente, a través de un proceso impulsado y articulado por el propio equipo. Es por esta razón que se debe crear un equipo de ecologización dentro del centro de datos, que lidere las transformaciones verdes, que sirva como equipo impulsor, y que también evalúe y fiscalice el cumplimiento de los objetivos sostenibles trazados. Este equipo será la cantera para impulsar las actividades de mejora continua, y por tanto debe ser reconocido y recompensado por sus actividades. Se recomienda que esté compuesto por un máximo de 5 personas, en el cual se debe



designar un líder para las tareas de protección m ambiental. El auditor interno, un representante del departamento económico y un representante de recursos humanos, deberían formar parte de este equipo. Se reconocerá a los voluntarios a través de múltiples vías, que incluyen certificación, crédito de autoría, premios de servicio comunitario y visibilidad investigativa y productiva.

El líder deberá ser un experto en desarrollo de servicios y aplicaciones que cumplan con los requisitos de protección ambiental, cuyo propósito sea el de documentar cómo los servicios y productos específicos afectarían la dimensión ambiental de la sostenibilidad; y además sea capaz de introducir nuevos desafíos al sistema para que mantenga o mejore la sostenibilidad (Penzenstadler et al., 2015).

Actividad 1.4: Elaboración del cronograma de actividades para la transformación sostenible:

Una vez identificadas las buenas practicas candidatas a implementar, definidos los objetivos de sostenibilidad ambiental que se desean alcanzar, y creado el equipo que liderará las transformaciones verdes; se debe crear un cronograma tipo, para la ejecución escalonada de las iniciativas que serán realizadas para transformar los centros de datos en instituciones de TI que disminuyen la huella de CO₂ y contribuyen a la mejora del medio ambiente. Este cronograma deberá tener los objetivos de sostenibilidad; el plan de actividades; el responsable de ejecutar; la fecha de cumplimiento; el costo estimado; los participantes; entre otros datos de interés que deban ser registrados. La tabla 3 muestra un ejemplo de cómo podría quedar conformado el cronograma de actividades para la transformación sostenible.

Tabla 3. Plantilla para la creación del cronograma de actividades para la transformación sostenible.

Objetivos	Actividades	Responsable	Participantes	Costo estimado	Complejidad	Área involucrada	Fecha de cumplimiento
Relacionados con los objetivos recomendados en la Tabla 2. Cada objetivo puede contemplar una o varias actividades.	Relacionadas con las buenas prácticas especificadas en la Tabla 1	Líder a cargo de cumplir con la actividad	Equipo que realizará la actividad	Monto total	<ul style="list-style-type: none"> • Básico • Avanzado • Crítico 	<ul style="list-style-type: none"> • Equipamiento tecnológico. • Aplicaciones de TI. • Reciclaje y eliminación de la tecnología obsoleta. • Ahorro energético. • Otras 	Fecha en la cual la tarea deberá estar completada.

Etapas de Diagnóstico:

Los centros de datos son entidades enormes que consisten en muchos componentes y dispositivos diferentes que realizan diferentes tareas para satisfacer las necesidades del usuario final. Estos componentes deben clasificarse en grupos de recursos medibles según las cargas de trabajo que ejecutan, de modo que se puedan aplicar métricas ecológicas para



medir su rendimiento y eficiencia individualmente y luego averiguar la eficiencia general del centro de datos, ya que es difícil de administrar y medir. En esta etapa se recomienda realizar las siguientes actividades:

Actividad 2.1: Realización de auditoría interna:

Es muy importante para una organización conocer de antemano el contenido total de su infraestructura antes de implementar técnicas de TI verde. Hay muchas herramientas disponibles de diferentes proveedores para realizar el análisis inicial de una organización. En esta actividad debería participar el equipo de auditoría interna y de sistema de control interno del centro de datos. Se recomienda el empleo de Técnicas de Auditoría Asistidas por Computadora (CAAT) y Software de Auditoría Generalizado (GAS). El reporte final de la auditoría debe ser presentado a la alta gerencia del centro de datos.

Actividad 2.2: Identificación, clasificación y registro de las tecnologías y equipos electrónicos:

En esta actividad se actualiza el registro de medios y equipos tecnológicos del centro de datos. Como parte de las políticas de control interno, cada centro de datos debe tener su propio inventario. Algunos de los principales componentes del centro de datos se enumeran a continuación. Estos componentes son listados en una tabla que puede servir de guía para el diagnóstico:

Tabla 4. Identificación, clasificación y registro de las tecnologías y equipos electrónicos.

Equipo de la instalación	Equipos de TI
Luminarias de emergencia.	PC Servidor
Unidades de distribución de energía (PDU)	PC Cliente
Baterías	Dispositivos de almacenamiento
Monitores ambientales	Enrutadores
Humidificadores	Equipos de red
Fuentes de alimentación ininterrumpida (UPS)	Conmutadores KVM
Enfriadores	Monitores
Aires acondicionados	Computadoras portátiles
Unidades de expansión directa (DX)	Dispositivos móviles
Electrogeneradores	Conmutadores
Sensores para gestión de iluminación	Impresoras

Para cada uno de estos equipos deberá especificarse: fecha de actualización del inventario; número de serie; modelo; área a la que pertenece; estado (en explotación, descompuesto, baja). Para el caso de los servidores y las aplicaciones alojadas en el servidor de aplicaciones, se pueden agrupar tal como muestra la siguiente tabla:

Tabla 5. Tipos de servidores y aplicaciones comunes en un centro de datos.

Tipos de servidores	Tipos de aplicaciones
Servidor de infraestructura de red	Aplicaciones de comercio electrónico
Servidor del acceso remoto (RAS)	Aplicaciones personalizadas
Servidor Cloud	Aplicaciones heredadas/actualizadas
Servidor de terminales	Aplicaciones de infraestructura
Servidor DNS	Aplicación web estática



Servidor Telnet	Aplicaciones de línea de negocio
Servidor web	Aplicaciones de misión crítica
Servidor de bases de datos	Aplicación web dinámica
Servidor de aplicaciones	Aplicaciones web con gestor de contenido

Actividad 2.3: Caracterizar el centro de datos en unidades medibles:

Se deben caracterizar los componentes del centro de datos en unidades medibles, de modo que las métricas de eficiencia energética se puedan aplicar para medir por separado su rendimiento, ya sea individualmente o como un todo. Este proceso ayuda a los administradores de centros de datos a estimar correctamente las cargas de trabajo según el procesamiento que realizan. Para realizar esta caracterización se propone agrupar todos los equipos identificados en la actividad 2.2, en las siguientes categorías:

- **Potencia total de la instalación:** Se define como la potencia medida en el medidor de servicios públicos. Esta potencia está dedicada únicamente al centro de datos. Incluye todo lo que soporta los componentes del equipo informático.
- **Potencia de equipos de TI:** Se define como el equipo que se utiliza para administrar, procesar, almacenar o enrutar datos dentro del espacio del piso elevado en el centro de datos. Incluye los componentes asociados a todos los equipos informáticos.

Actividad 2.4: Definición de métricas:

Se debe definir un sistema de medición de eficiencia energética basado en métricas para evaluar el consumo energético, las fuentes de contaminación ambientales, y la emisión de Gases de Efecto Invernadero dentro del centro de datos en unidades medibles. Algunas de las métricas definidas para las capas del centro de datos, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 6. Métricas para evaluar el funcionamiento ecológico del centro de datos.

Capa	Métrica	
	Host	
Infraestructura	Utilización de CPU	Utilización promedio de los procesadores dentro de un host. Para cada procesador, esta métrica indica la cantidad promedio de capacidad del procesador que utiliza el sistema IOPS: Número total de E/S: operaciones por segundo (al realizar una combinación de pruebas de lectura y escritura)
	Disponibilidad del host	La probabilidad de que una solicitud sea atendida correctamente por un host específico dentro de un marco de tiempo máximo esperado. Para evaluar esta métrica, es necesario comparar el número de solicitudes satisfechas con la cantidad total de solicitudes recibidas por el host analizado. Tenga en cuenta que, a nivel de host, la solicitud se refiere a la implementación de una MV en un host determinado
	EC	La energía consumida por el host analizado en un período de tiempo específico.
	Sitio	



	PUE	Medida que compara la potencia utilizada por toda la infraestructura con la potencia utilizada para el cómputo (PUE).
	Utilización del sitio	Utilización promedio de la energía consumida por el equipo de TI con respecto a la capacidad de energía del sitio.
	Utilización del almacenamiento:	Porcentaje de almacenamiento utilizado con respecto a la capacidad de almacenamiento total dentro del sitio.
	Disponibilidad del sitio	La probabilidad de que un sitio atienda correctamente una solicitud dentro de un marco de tiempo máximo esperado Eficiencia ecológica
	Coficiente (GEC):	Porcentaje de energía consumida por el sitio que es producida por fuentes de energía verde. Esta métrica se calcula como la relación entre la energía verde consumida por el sitio y la energía total consumida por el sitio.
	Emisiones de CO ₂	Cantidad de CO ₂ emitida por el sitio
Virtualización	Uso de CPU	Porcentaje de utilización del procesador para una aplicación en ejecución durante un intervalo de tiempo de ejecución. Se calcula utilizando la relación entre la cantidad de CPU utilizada y la cantidad de CPU asignada.
	Uso de almacenamiento	Porcentaje de uso de almacenamiento para operaciones de lectura y escritura de datos en el dispositivo de almacenamiento correspondiente, calculado como la relación entre el espacio en disco utilizado y el espacio en disco asignado.
	Uso de lectura/escritura	Porcentaje del tiempo de ejecución del proceso en el que el disco está ocupado con actividad de lectura/escritura.
	Uso de memoria:	Relación entre el tamaño promedio de la porción de memoria utilizada por el proceso y la cantidad total de memoria disponible para la aplicación.
	EC	La energía consumida (EC) por la máquina virtual analizada en un período de tiempo específico.
	MV-PUE:	Medida de la eficiencia con la que una máquina virtual (MV) utiliza la energía proporcionada-
	MV-EC	Relación entre la salida de la MV en un determinado intervalo de tiempo y la energía consumida.
	MV-EV	Información sobre la porción de energía consumida por la MV que es producida por fuentes de energía verde (EV).
Aplicación	TTE	Tiempo necesario para ejecutar la tarea específica (TE).
	TA	Tiempo necesario para ejecutar toda la aplicación.
	EC	La energía consumida de la aplicación analizada en un período de tiempo específico. Esta métrica se calcula agregando la energía consumida por las máquinas virtuales a través de las cuales se implementa la aplicación.
	Tiempo de respuesta	Tiempo medio que se tarda en gestionar las solicitudes de los usuarios. Esta métrica es particularmente relevante para aplicaciones interactivas. Tenga en cuenta que para la aplicación por lotes, el tiempo de respuesta coincidirá con el tiempo de ejecución de la aplicación.
	Rendimiento:	Número de ejecuciones de una aplicación dentro de un marco de tiempo específico.
	E-PUE	Medida de la eficiencia con la que una aplicación utiliza la energía proporcionada
	A-EC	Relación entre el número de ejecuciones de una aplicación (A) en un determinado intervalo de tiempo y la energía consumida.
	A-EV	Brinda información sobre la porción de energía consumida para ejecutar una aplicación específica que es producida por fuentes de energía verde.

Fuente: Elaborado a partir de la propuesta de (Cappiello et al., 2013).



Etapa de Ecologización:

Es la etapa más importante, en la que se implementan todas las actividades de transformación verde definidas en el cronograma de la actividad 1.4. Abarca la renovación de equipos de centros de datos, y la eliminación o el reciclaje al final de su ciclo de vida de manera responsable con el medio ambiente. También implica que las emisiones de carbono deben reducirse mediante la formulación de una política basada en métricas verdes que miden la emisión de gases de efecto invernadero de los centros de datos a intervalos regulares. Se ocupa de la implementación real de las iniciativas de *Green IT* por parte de los administradores de centros de datos y del equipo de ecologización creado en la actividad 1.3. Es importante resaltar la importancia de la infraestructura y el costo necesarios para la implementación de las medidas necesarias para esta etapa.

Actividad 3.1: Implementar las buenas prácticas del desarrollo sostenible por niveles.

Esta actividad se base en la implementación ordenada y escalada de las transformaciones necesarias para disminuir el impacto negativo del centro de datos en el medio ambiente. Las buenas prácticas a implementar pueden agruparse por niveles, según la facilidad y el costo. Para luego ir escalando hacia transformaciones más complejas y que requieren un mayor análisis. En síntesis: Comenzar a implementar de lo simple a lo complejo.

Etapa de Monitoreo y Control:

Actividad 4.1: Evaluar el cumplimiento del cronograma de actividades sostenibles

Se debe chequear el cumplimiento ordenado de cada una de las actividades definidas en el cronograma presentado en la Tabla 3. Deberá chequearse el ajuste al costo, el cumplimiento de las fechas pactadas, y fundamentalmente la calidad de los resultados alcanzados. En esta actividad se actualiza el cronograma, definiendo para cada actividad su estado: Cumplido, Pendiente, Incumplido, Pospuesto, Eliminado. Se debe además registrar las causas para cualquier estado que no sea “Cumplido”.

Actividad 4.2: Aplicación de métricas

Para evaluar la idoneidad de las diferentes acciones ecológicas que se toman dentro de los centros de datos, es necesario definir una medida de sostenibilidad, también llamado “verdor” de todo el sistema. Por este motivo, se debe aplicar el conjunto de métricas definido en la actividad 2.3, para que se pueda medir la eficiencia y se pueda establecer una evaluación comparativa. La definición ayuda a los administradores de centros de datos a identificar y aplicar métricas apropiadas para establecer valores de referencia de cumplimiento ecológico.

Actividad 4.3: Fomentar en el equipo las prácticas de desarrollo sostenible consientes y sistemáticas



El responsable de la Ecologización chequea sistemáticamente los grupos de trabajo dentro del centro de datos, así como de las áreas de trabajo de estos equipos, para definir cuáles son aquellos equipos (Turnos de trabajo) energéticamente eficientes, creando una mayor transparencia en el uso de energía en los centros de datos y equipos de TI a través de métricas, estándares y mejores prácticas. Se fomentarán las iniciativas individuales y colectivas para el trabajo de los centros de datos con eficiencia energética, centrándose en la adopción de tecnologías y prácticas de eficiencia energética a través de la creación y gestión del conocimiento. Serán recompensados aquellos equipos de trabajo energéticamente eficientes para ayudar a las organizaciones a cuantificar y comprender mejor las recompensas internas de la eficiencia energética. Algunos indicadores para medir el desempeño de los equipos se proponen en la siguiente tabla:

Tabla 7. Indicadores para medir el desempeño sostenible de los equipos de personas del centro de datos.

Indicadores para medir el desempeño sostenible del personal del centro de datos	
Utilización adecuada de los servidores	Utilización adecuada de la energía
Reducción de los efectos del calentamiento global	Iniciativas de virtualización
Capacidad de gestión simplificada	Protección y seguridad de datos más sencillas
Cumplimiento de las medidas de ahorro energético	Acciones de reducción de costos de servidor y software
Protección de datos mejorada	Utilización de aplicaciones con eficiencia energética.
Reducción del consumo de energía	Optimización de las tareas de revisión y mantenimiento
Lograr negocios sostenibles	Reducción de la emisión de gases de efecto invernadero
Reducción de la cantidad de carbono emitida por unidad de trabajo	Utilización de recursos mejorada
Porcentaje de reclamación de clientes	

Conclusiones

Green IT es la capacidad de una organización para aplicar sistemáticamente criterios de sostenibilidad ambiental (como la prevención de la contaminación, la administración de productos, el uso de tecnologías limpias) al diseño, la producción, el abastecimiento, el uso y la eliminación de la infraestructura técnica de TI, así como dentro de los recursos humanos, administrativos, y componentes de la infraestructura de TI.

El conjunto de métricas propuesto se ha ampliado considerando aspectos como la productividad, la eficiencia del sistema de TI, la saturación de recursos, el desperdicio de energía y al mismo tiempo, también se han definido medidas para considerar las emisiones de CO₂. Aunque las métricas propuestas son muy útiles, en su mayoría están enfocadas a la infraestructura del centro de datos. Por el contrario, se presta menos atención a la estimación del verde de las aplicaciones que se ejecutan en estos centros de datos.

El consumo de energía y las emisiones de CO₂ en una infraestructura de nube federada se pueden reducir al considerar varias acciones, como la utilización de fuentes de energía ecológicas, la reducción de la cantidad de máquinas físicas y virtuales y la utilización de máquinas más ecológicas. Para evaluar la idoneidad de estas diferentes actuaciones, es



necesario definir la medida de eficiencia energética del sistema. Por esta razón, se debe definir un conjunto de métricas para medir el carácter ecológico de una aplicación que se ejecuta en la infraestructura de cada centro de datos analizado. Se recomienda proporcionar a los trabajadores del centro de datos un desafío de sustentabilidad cada semana, basado dinámicamente en el uso de energía para ayudar a los trabajadores a desarrollar un sentido de pertenencia con la idea de sustentabilidad más allá del centro de datos. Esto puede hacer que se vuelvan más curiosos y opten por cambiar sus hábitos.

En las buenas prácticas propuestas predominan acciones clasificadas en el nivel básico, por los que cada centro de datos, dependiendo del nivel de madurez alcanzado en la sostenibilidad ambiental, deberá actualizar sus propias políticas y objetivos, y aumentar el alcance y el nivel de complejidad y eficiencia de las transformaciones que se realizan. Es pertinente señalar aquí que los administradores de los centros de datos deben reconfigurar los equipos de los centros de datos para que se puedan implementar iniciativas ecológicas y se alcancen los objetivos de eficiencia energética.

La estrategia propuesta está sustentada por un conjunto de principios y objetivos encaminados a alcanzar la sostenibilidad ambiental en los procesos y servicios de los centros de datos ecuatorianos, disminuyendo la huella de CO₂. Sirve como guía para realizar transformaciones profundas en estas instituciones, de manera que permita la creación de Centros de Datos Verdes en Ecuador.

Trabajos futuros

Se prevé realizar la validación de la estrategia propuesta, en centros de datos de referencia en Ecuador, y así evaluar el aporte significativo y la utilidad que tiene la investigación realizada para la protección y cuidado del medio ambiente en los Centros de datos de Ecuador.

Conflictos de intereses

Los autores no presentan conflicto de intereses.

Contribución de los autores

1. Conceptualización: Patricia María Marcillo Sánchez, Lugio David Román Barrezueta
2. Curación de datos: Patricia María Marcillo Sánchez, Lugio David Román Barrezueta
3. Análisis formal: Patricia María Marcillo Sánchez, Lugio David Román Barrezueta
4. Investigación: Patricia María Marcillo Sánchez, Lugio David Román Barrezueta
5. Metodología: Patricia María Marcillo Sánchez



6. Administración del proyecto: Patricia María Marcillo Sánchez
7. Recursos: Patricia María Marcillo Sánchez, Lugio David Román Barrezueta
8. Software: Patricia María Marcillo Sánchez, Lugio David Román Barrezueta
9. Supervisión: Patricia María Marcillo Sánchez
10. Validación: Patricia María Marcillo Sánchez, Lugio David Román Barrezueta
11. Visualización: Patricia María Marcillo Sánchez, Lugio David Román Barrezueta
12. Redacción – borrador original: Patricia María Marcillo Sánchez, Lugio David Román Barrezueta
13. Redacción – revisión y edición: Patricia María Marcillo Sánchez, Lugio David Román Barrezueta

Financiamiento

La investigación fue financiada por los autores.

Referencias

- Cappiello, C., Datre, S., Fugini, M., Melia, P., Pernici, B., Plebani, P., Gienger, M., & Tenschert, A. (2013). Monitoring and assessing energy consumption and CO2 emissions in cloud-based systems. 2013 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics,
- Marcillo Sánchez, P. M. (2022). *Análisis del desarrollo de software con metodología ágil y la capacidad de la sostenibilidad implementada* [ETSI_Sistemas_Infor]. <https://oa.upm.es/id/eprint/71758>
- Penzenstadler, B., Mehrabi, J., & Richardson, D. J. (2015). Supporting physicians by re4s: Evaluating requirements engineering for sustainability in the medical domain. 2015 IEEE/ACM 4th International Workshop on Green and Sustainable Software,
- Pigou, A. C. (1947). Economic progress in a stable environment. *Economica*, 14(55), 180-188. <https://www.jstor.org/stable/2549787>
- Rodríguez, A. R., Lucas, H. B. D., Mero, C. J. Á., Pisco, R. J. L., & Castro, F. I. G. (2022). Método computacional de recomendación sobre la evaluación del aprendizaje bajo el paradigma constructivista. *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, 15(1), 178-187. <https://publicaciones.uci.cu/index.php/serie/article/view/966>
- Rodríguez, A. R., Tarragó, J. C. P., Zuñiga, K. M., & Loor, L. V. V. (2021). Evaluación formativa de los procesos cognitivos con paradigma constructivista mediante Mapa Cognitivo Difuso. *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, 14(8), 130-142. <https://publicaciones.uci.cu/index.php/serie/article/view/931>
- Sánchez, P. M. M., & Barrezueta, L. D. R. (2022). Análisis de la información generada para mantener la escalabilidad y persistencia del proceso de desarrollo de software. *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, 15(8), 193-227. <https://publicaciones.uci.cu/index.php/serie/article/view/1137>

