



INFORME DE HUELLA DE CARBONO DE PRODUCTO
INTEGRATED DESKTOP COMPUTER SATURNO SERIES

Contenido

GLOSARIO.....	4
ACRÓNIMOS.....	5
1 OBJETIVO DEL ESTUDIO	7
1.1 ACLARACIÓN DEL PRESENTE ESTUDIO	7
2 ASIGNACIÓN.....	7
3 ALCANCE DEL ESTUDIO	8
3.1 DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	8
3.2 UNIDAD FUNCIONAL Y FUNCIÓN DEL SISTEMA	9
3.3 FLUJO DE REFERENCIA	9
3.4 DESCRIPCIÓN DE LAS ETAPAS DEL PRODUCTO O SU CICLO DE VIDA	9
3.5 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ENSAMBLAJE.....	10
3.6 LÍMITES DEL SISTEMA	11
3.6.1 COBERTURA TEMPORAL	11
3.6.2 COBERTURA TECNOLÓGICA	11
3.6.3 COBERTURA GEOGRÁFICA	11
3.7 LIMITACIONES Y SUPOSICIONES.....	12
3.8 ESCENARIOS DE IMPACTO HCP	13
3.9 REQUISITOS DE CALIDAD DE DATOS	13
4 INVENTARIO DE CICLO DE VIDA.....	16
4.1 DATOS POR ETAPAS	16
4.1.1 PRODUCCIÓN	16
4.1.2 TRANSPORTE AGUAS ARRIBA.....	16
4.1.3 TRANSPORTE AGUAS ABAJO	17
4.1.4 EMPAQUE DEL PRODUCTO	19
4.1.5 USO DEL PRODUCTO	19
4.1.6 FIN DE VIDA DEL PRODUCTO.....	20
5 EVALUACIÓN HUELLA DE CARBONO DE PRODUCTO.....	20
METODOLOGÍA IPCC.....	20
RESULTADOS.....	22
6 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.....	23
7 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	24

Fecha de publicación	Junio de 2026
Título del reporte	Huella de carbono de producto (HCP) INTEGRATED DESKTOP COMPUTER SATURNO SERIES
Declaración de responsabilidad	La información de este reporte ha sido compilada y calculada de fuentes creíbles. La aplicación de los datos es estrictamente bajo criterio y responsabilidad del lector, no se asume ningún daño por parte de los autores causado por el uso de la información contenida en este documento.
Equipo del proyecto	Compumax: Soledad Santos (soledad.santos@compumax.com) Centro de Formación Sostenible: Jenny Lorena Victoria (contacto@centrodeformacionsostenible.com)
Unidad Funcional	Equipo Integrated Desktop Computer Saturno Series
Alcance geográfico	El equipo Integrated Desktop Computer Saturno Series es ensamblado en las instalaciones de Compumax Computer SAS., ubicadas en Av Troncal de Occidente # 20-85 Manzana 6, Lote 34, Bodega 2 Zona Franca de Occidente Mosquera - Cundinamarca
Metodología	Huella de carbono de producto bajo la norma ISO 14067 2018

8	BIBLIOGRAFÍA	24
---	--------------------	----

GLOSARIO

- **CICLO DE VIDA:** Etapas consecutivas e interrelacionadas de un sistema del producto, desde la adquisición de materia prima o de su generación a partir de recursos naturales hasta la disposición final.
- **ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA:** recopilación y evaluación de las entradas, las salidas y los impactos ambientales potenciales de un sistema del producto a través de su ciclo de vida.
- **ANÁLISIS DEL INVENTARIO DE CICLO DE VIDA ICV:** fase del análisis del ciclo de vida que implica la recopilación y la cuantificación de entradas y salidas para un sistema del producto a través de su ciclo de vida.
- **EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL CICLO DE VIDA:** Fase del análisis del ciclo de vida dirigida a conocer y evaluar la magnitud y cuán significativos son los impactos ambientales potenciales de un sistema de producto a través de todo el ciclo de vida del producto.
- **INTERPRETACIÓN DEL CICLO DE VIDA:** fase del análisis del ciclo de vida en la que los hallazgos del análisis del inventario o de la evaluación del impacto, o de ambos, se evalúan en relación con el objetivo y el alcance definidos, para llegar a conclusiones y recomendaciones.
- **SISTEMA DE PRODUCTO:** es el conjunto de etapas que componen el ciclo de vida en estudio. Un sistema puede tener varias funciones y las seleccionadas para el estudio dependen del objetivo y el alcance del ACV.
- **UNIDAD FUNCIONAL:** es la unidad de referencia en la cual se expresan, desde un punto de vista matemático, los datos de entrada y salida.
- **PROCESO:** Conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan, las cuales transforman elementos de entrada en resultados.
- **FLUJO ELEMENTAL:** materia o energía que entra al sistema bajo estudio, que ha sido extraído del medio ambiente sin una transformación previa por el ser humano, o materia o energía que sale del sistema bajo estudio, que es liberado al medio ambiente sin una transformación posterior por el ser humano.
- **CO₂ equivalente (CO₂ e):** Unidad universal de medida que indica el potencial de calentamiento global (PCG) de cada uno de los 6 gases efecto invernadero, expresado en términos del PCG de una unidad de dióxido de carbono. Se utiliza para evaluar la liberación de diferentes GEI contra un común denominador.
- **EMISIONES:** Liberación de Gases Efecto Invernadero a la atmósfera.
- **FACTOR DE EMISIÓN:** Factor que permite estimar emisiones de GEI a partir de los datos de actividades disponibles (como toneladas de combustible consumido, toneladas de producto producido) y las emisiones totales de GEI.
- **GASES EFECTO INVERNADERO (GEI):** Componentes gaseosos que se encuentran en la atmósfera y su origen es natural y antrópico. Los GEI son los 6 gases que están listados en el Protocolo de Kioto: dióxido de carbono (CO₂); metano (CH₄); óxido nitroso (N₂O); hidrofluorocarbonos (HFCs); perfluorocarbonos (PFCs); y hexafluoruro de azufre (SF₆).
- **HUELLA DE CARBONO DE PRODUCTO (HCP):** Es la cantidad de Gases Efecto Invernadero –emitidos a la atmósfera por efecto directo o indirecto de un individuo, organización o evento.

- **POTENCIAL DE CALENTAMIENTO GLOBAL - PCG:** Factor que describe el impacto de la fuerza de radiación de una unidad con base en la masa de un GEI determinado, con relación a la unidad equivalente de dióxido de carbono en un periodo determinado.
- **IPCC:** Panel Intergubernamental de Cambio Climático.

ACRÓNIMOS

HPC Huella de carbono de producto

EICV Evaluación del impacto del ciclo de vida

ICV Análisis del inventario del ciclo de vida

GWP Potencial de calentamiento global

IPCC Panel intergubernamental de cambio climático

CO_{2e} Dióxido de carbono equivalente

RESUMEN

Para cumplir con los criterios de EPEAT y comprender cómo la evaluación de la huella de carbono de producto puede ayudar al desarrollo de equipos más sostenibles, Compumax ha desarrollado un análisis para su línea de escritorios Integrated Desktop Computer Saturno Series. El estudio se realiza de acuerdo con los lineamientos establecidos en la norma ISO 14067:2018.

El análisis de la huella de carbono del desktop Integrated Desktop Computer Saturno Series contempla desde la extracción de la materia prima hasta el final de la vida útil de los equipos. En el caso de la unidad funcional desarrollada por Compumax, se ha estimado una vida útil de 5 años, con un consumo asociado al calculado para la certificación Energy Star.

Este estudio se ha realizado tomando como base el año 2025 y considerando que las materias primas provienen listas desde China y son ensambladas en Colombia.

El estudio incluye la evaluación del índice de calentamiento global, una categoría de impacto basada en el método de evaluación del IPCC, robusta y aceptada ampliamente por la comunidad científica mundial.

El análisis presentado en el apartado 1.1 establece una aclaración fundamental para la correcta interpretación de los resultados de este estudio. Aunque el producto desktop Integrated Desktop Computer Saturno Series se comercializa en tres modelos diferentes, se ha determinado que el ciclo de vida completo de los tres modelos es técnicamente equivalente en términos de materiales, procesos de fabricación, transporte, uso y disposición final. Adicional de que su única diferencia es el procesador de cada modelo no se cuenta con factores de emisión que detallen esos cambios.

La elaboración de la huella de carbono de producto se enmarca en los requisitos establecidos por EPEAT para la renovación de la certificación ambiental del equipo. Esta evaluación cuantitativa, desarrollada bajo la norma ISO 14067:2018, permite demostrar el cumplimiento del criterio que exige la estimación del impacto climático del producto a lo largo de su ciclo de vida. Al proporcionar una medición transparente y basada en estándares internacionales, Compumax fortalece su posición frente a los compromisos ambientales requeridos por EPEAT, al tiempo que consolida su enfoque hacia la mejora continua del desempeño ambiental de sus productos tecnológicos.

1 OBJETIVO DEL ESTUDIO

El estudio tiene como objetivo evaluar la huella de carbono del ciclo de vida del equipo Integrated Desktop Computer Saturno Series con el fin de obtener la ecoetiqueta EPEAT. Los resultados del estudio serán publicados a los consumidores y no están previstos para realizar aseveraciones comparativas de divulgación pública.

1.1 ACLARACIÓN DEL PRESENTE ESTUDIO

Para el equipo Integrated Desktop Computer Saturno Series se establece una aclaración metodológica clave para la interpretación del presente estudio. Aunque el producto Saturno se encuentra disponible en tres variantes comerciales, se ha verificado que los modelos comparten un ciclo de vida idéntico en términos de composición de materiales, procesos de manufactura, logística de distribución, condiciones de uso y tratamiento al final de la vida útil.

En consecuencia, el análisis de huella de carbono se realizó bajo el supuesto de equivalencia funcional y técnica entre los modelos, lo cual permite consolidar los resultados en un único estudio representativo. Esta decisión metodológica está alineada con los lineamientos establecidos en la norma ISO 14067:2018, evitando redundancias analíticas sin comprometer la precisión ni la trazabilidad de los resultados en cuanto a emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

2 ASIGNACIÓN

Asignación (ISO 14067). En concordancia con la jerarquía metodológica establecida por la norma ISO 14067:2018, se priorizó la reducción o eliminación de procesos de asignación mediante el uso de información primaria y específica de los procesos involucrados en el ciclo de vida del producto. En los casos en los que esta información no estuvo disponible, como en el consumo energético de la planta de ensamble, la generación de residuos y el uso de agua se implementó un criterio de asignación másica, siguiendo las directrices internacionalmente reconocidas para la cuantificación de huellas de carbono de producto.

Este procedimiento implicó calcular la participación relativa de la unidad funcional respecto a la producción global (12,56 %), distribuyendo de manera proporcional las cargas ambientales asociadas al consumo de energía, agua y generación de residuos. Posteriormente, los valores asignados fueron normalizados frente al volumen total de producción de la unidad funcional, con el objetivo de estimar de forma precisa su contribución específica a las emisiones de gases de efecto invernadero.

Si bien todo proceso de asignación conlleva un grado de incertidumbre, la definición de criterios explícitos, documentados y trazables asegura transparencia y reproducibilidad en la interpretación de resultados. Asimismo, el empleo de la base de datos Ecoinvent versión 3.12

fortaleció la robustez metodológica del análisis, garantizando consistencia, comparabilidad y reconocimiento internacional en la estimación de la huella de carbono de producto.

3 ALCANCE DEL ESTUDIO

3.1 DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

El equipo Integrated Desktop Computer Saturno Series (Fig. 1) es ensamblado en Colombia, sus componentes provienen de China y su disco duro de Estados Unidos. Los principales componentes del equipo se describen en el capítulo 3.2. Las demás características del equipo pueden verse en el Anexo 1 “Manual Usuario Integrated Desktop Computer Saturno Series”.



Fig 1. Unidad funcional

a. Desempeño energético

Todas las configuraciones cuentan con certificación ENERGY STAR, lo que asegura requisitos mínimos de eficiencia y acota la variabilidad del consumo en uso entre modelos de la misma familia.

b. Producto representativo para la HCP

Dado que las diferencias entre las distintas configuraciones se limitan a la CPU, la memoria RAM y la capacidad de almacenamiento —sin alterar la arquitectura principal—, este estudio adopta una configuración intermedia representativa (un «producto promedio») para el análisis ambiental. Para definir y establecer la unidad funcional, se tomó como referencia principal el artículo de Subramanian y Yung, *"Life cycle assessment study of an integrated desktop device: comparison of two information and communication technologies"*, publicado en el *Journal of*

*Cleaner Production*¹. Dicho trabajo proporciona las bases metodológicas necesarias para evaluar este tipo de equipos.

3.2 UNIDAD FUNCIONAL Y FUNCIÓN DEL SISTEMA

La unidad funcional es 1 unidad Integrated Desktop Computer Saturno Series y su vida útil es de 5 años. El consumo medio de esta unidad, según certificaciones Energy Star, es de 60,82 kWh/año.

El sistema de producto bajo estudio tiene la función de cumplir tareas comunes de la informática moderna, es decir, permite navegar por Internet, estudiar, escribir textos y realizar otros trabajos de oficina o educativos, como editar textos y bases de datos, además de actividades de ocio, como escuchar música, ver videos, jugar, etc.

3.3 FLUJO DE REFERENCIA

El flujo de referencia correspondiente es 1 equipo, incluyendo sus subcomponentes electrónicos como (placa base, módulos, display, etc.) y empaque, necesarios para entregar la UF definida.

3.4 DESCRIPCIÓN DE LAS ETAPAS DEL PRODUCTO O SU CICLO DE VIDA

Las etapas del ciclo de vida del producto contemplan una unidad funcional que luego de ser desarrollada tendrá una vida útil aproximada de 5 años tal como se muestra en la **Fig. 2**.

¹ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617308090>

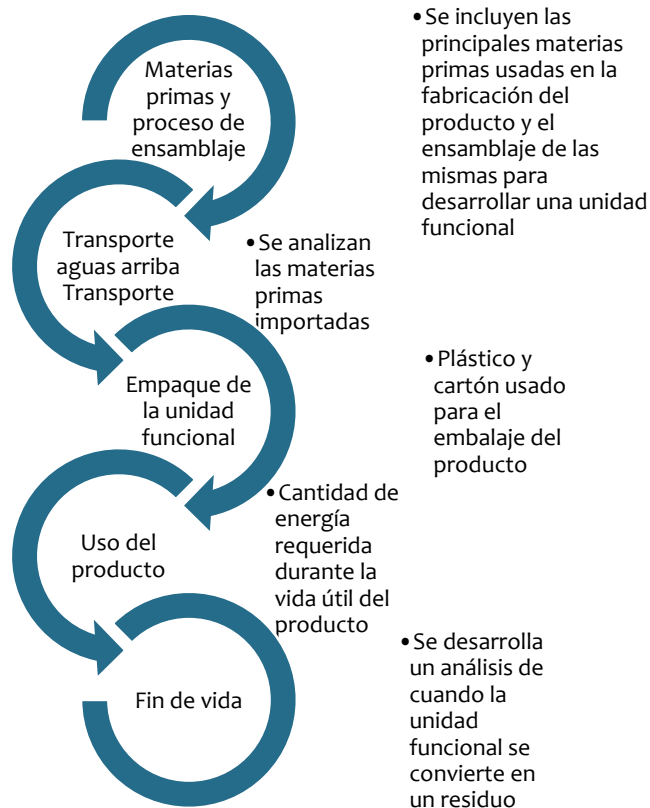


Fig. 2. Etapas del ciclo de vida

3.5 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ENSAMBLAJE

Compumax se especializa en la etapa esencial del proceso de fabricación de computadoras: el ensamblaje. La empresa se centra en la integración meticulosa de los componentes para asegurar la funcionalidad y calidad óptimas de cada sistema informático que sale de sus instalaciones.

El proceso de ensamblaje consta de varias etapas clave:

- **Recepción y Verificación de Componentes:** Compumax recibe los componentes individuales de proveedores confiables y realiza una verificación exhaustiva para garantizar su calidad y especificaciones.
- **Preparación de Área de Ensamblaje:** Se asigna un espacio apropiado y se organizan las herramientas necesarias para el montaje.
- **Ensamblaje Propiamente Dicho:** Se lleva a cabo la unión meticulosa de los componentes siguiendo un proceso preciso basado en estándares de la industria.
- **Pruebas y Verificación:** Cada unidad ensamblada se somete a pruebas rigurosas de funcionalidad y rendimiento para asegurar su correcto funcionamiento.
- **Embalaje y Envío:** Una vez completadas las pruebas satisfactoriamente, se procede con el embalaje cuidadoso y el envío a los clientes.

- Es fundamental destacar que, aunque Compumax se enfoca en el ensamblaje, valora y respeta la calidad de los componentes individuales y su integración precisa para asegurar sistemas informáticos confiables y eficientes.

3.6 LÍMITES DEL SISTEMA

El estudio incluye:

- Materiales
- Proceso de ensamblaje
- Empaque
- Transporte aguas arriba y aguas abajo
- Uso del producto
- Disposición final del producto

Se excluye:

- Repuestos usados durante la vida útil de la unidad funcional
- Reúso de partes
- Producción de bienes de capital (fábricas, etc.)

La razón por la que se han realizado las exclusiones es que no se dispone de la información suficiente sobre la recuperación de materiales y reúso en la zona de estudio. Se ha estimado que el impacto al final de la vida útil del producto, así como la infraestructura, es menor, comparado con las etapas de obtención y producción de materias primas. Adicionalmente se asume un criterio de corte de aquellos productos que representan menos de un 2% de la masa total como stickers y pequeños tornillos.

3.6.1 COBERTURA TEMPORAL

Los datos tomados para el presente inventario corresponden a los del año 2025.

3.6.2 COBERTURA TECNOLÓGICA

Este estudio evalúa los impactos del producto en términos de huella de carbono desde la extracción de la materia prima hasta el final de la vida del producto basado en una combinación global de producción y tecnología. Los datos relativos a la producción primaria han sido recogidos a través de Compumax y sus colaboradores. Los datos asociados a equivalencias u otras estimaciones han sido recogidos de organismos oficiales o bases de datos certificadas por terceros.

3.6.3 COBERTURA GEOGRÁFICA

El producto es ensamblado en Colombia y los materiales para su fabricación provienen en su mayoría de China. Por tanto, los datos para evaluar el impacto generado por el consumo de energía eléctrica por el ensamblado son de Colombia, la información de materias primas y otros procesos se relacionan con promedios mundiales establecidos por la base de datos Ecoinvent 3.12. Para el uso y la disposición final del producto se hace un análisis de la unidad funcional en Bogotá Colombia, por ello, factores de emisión y distancias recorridas se relacionan a la locación evaluada.

3.6.4 TIEMPO DE EMISIÓN DE GEI (TIMING)

En atención al numeral 7.3.i) de la norma ISO 14067:2018, se especifica a continuación el tiempo de emisión (timing) de GEI seleccionado para el presente estudio. Conforme al numeral 6.4.8 de la norma, todas las emisiones y remociones de GEI del sistema de producto se calcularon asumiendo que ocurren en el mismo momento, es decir, al inicio del periodo de evaluación (año base 2025), sin aplicar factores de descuento temporal ni distribución de emisiones en el tiempo.

La unidad funcional tiene una vida útil de 5 años (numeral 3.2), periodo inferior al umbral de 10 años establecido en el numeral 6.4.8 de la norma ISO 14067:2018, a partir del cual sería obligatorio especificar el tiempo de las emisiones y remociones de las etapas de uso y fin de vida en relación con el año de producción del equipo. Por lo anterior, no aplica un ajuste ni un reporte adicional del efecto de dicho tiempo (timing), y las emisiones de las etapas de uso y disposición final se contabilizan íntegramente dentro del año base del estudio.

3.7 LIMITACIONES Y SUPOSICIONES

Las siguientes suposiciones fueron consideradas:

- En la planta el 12,56% de producción corresponde al ensamblaje de la unidad funcional, por ello, para estimar datos globales se toma siempre como referencia dicho valor respecto al total.
- El consumo de energía eléctrica en el proceso de ensamble corresponde a la relación entre la energía total consumida por la planta y la producción total de las unidades funcionales.
- Para el proceso de ensamblaje no se tienen en cuenta pérdidas por transmisión y distribución de la energía consumida.
- Para la producción de materias primas, incluido el empaque, se usaron datos globales de Ecoinvent 3.12
- Para la etapa de uso del producto se tiene en cuenta la vida útil promedio de la unidad funcional y sus respectivos consumos de energía eléctrica.
- En este estudio no se reportan por separado las emisiones y remociones biogénicas de GEI. La decisión se fundamenta en (i) limitaciones de datos primarios y secundarios para caracterizar de forma consistente los aportes biogénicos, por ejemplo, la mezcla efectiva de biocombustibles en los países y periodos donde ocurre el transporte y (ii) su baja relevancia material frente a la unidad funcional evaluada, cuyos procesos y materiales principales no implican captura ni liberación significativa de carbono biogénico.
- Las exclusiones consideradas en el estudio responden principalmente a la no disponibilidad de información confiable y específica sobre los procesos de recuperación

de materiales y reúso en la zona de estudio. Con base en la literatura técnica y en criterios de relevancia, se ha estimado que los impactos climáticos asociados al final de la vida útil del producto, así como a la infraestructura involucrada, resultan marginales en comparación con los generados en las etapas de extracción y producción de materias primas.

- Adicionalmente, se aplicó un criterio de corte para excluir aquellos insumos que representan una contribución menor a la masa total del producto (inferior a 5 g), tales como adhesivos, etiquetas o pequeños elementos de sujeción. Esta decisión metodológica se encuentra respaldada por la bibliografía científica consultada² y responde al principio de materialidad, garantizando la representatividad del inventario sin introducir desviaciones significativas en los resultados globales de la huella de carbono del producto.

3.8 ESCENARIOS DE IMPACTO HCP

En el presente informe se evalúan dos escenarios diferenciados en términos de impacto climático asociado a la Huella de Carbono de Producto (HCP), conforme a los lineamientos de la norma ISO 14067:2018. El objetivo de este análisis comparativo es identificar el efecto potencial que tendría el cambio en la fuente de energía utilizada durante la fase de uso del producto.

- **Escenario 1 – Energía Convencional:** Se considera un contexto en el que el producto opera bajo una matriz energética basada en fuentes convencionales, predominantemente de origen fósil, representativas del mix energético promedio nacional. Este escenario refleja las condiciones actuales o de referencia en mercados donde no se ha realizado una transición energética significativa.
- **Escenario 2 – Energía Renovable:** Se plantea un escenario hipotético en el cual el producto es alimentado exclusivamente mediante fuentes de energía renovables (por ejemplo, solar, eólica o hidroeléctrica), eliminando las emisiones indirectas asociadas al consumo eléctrico durante su fase de uso.

3.9 REQUISITOS DE CALIDAD DE DATOS

Los datos de uso de energía y agua se tomaron de fuentes directas proporcionadas por Compumax. Mientras que los datos de componentes y transportes provienen de fuentes secundarias con un máximo de 10 años de antigüedad.

La calidad de los datos se evaluó con base en los siguientes criterios:

- **Precisión:** se refiere a las fuentes de datos, métodos de adquisición y métodos de verificación. Datos fiables son aquellos que se han verificado y medido directamente en terreno. El Criterio está relacionado con la cuantificación del flujo. Para los de uso directo

² <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652617308090?via%3Dihub>

de agua y energía la precisión es alta cuando provienen de medidores. Para el resto de datos la calidad es alta cuando son datos cuantificados en el inventario de la empresa.

- **Integridad:** representa la exhaustividad de los datos recolectados. Los datos son completos cuando todos los elementos necesarios para realizar una actividad son cuantificados. Se considera que los datos son altamente íntegros cuando se incluyen todos los datos importantes en la categoría o tipo de dato.
- **Representatividad:** evalúa la correlación geográfica y tecnológica (reflejan los datos de la realidad). Los datos directos son altamente representativos por sí mismos, pues son tomados del mismo proceso. Los datos de uso indirecto se evalúan según la representatividad del set de datos usado para modelarlos. La representatividad tecnológica es alta cuando la tecnología del set de datos usado es la misma que la de la producción del insumo utilizado. La representatividad geográfica es alta cuando el set de datos proviene de la misma región de donde se produce el insumo modelado.
- **Consistencia:** evalúa si la metodología del estudio se aplica de la misma manera para todos los datos.
- **Reproducibilidad:** evalúa si la información acerca de los datos y el método utilizado permite producir los resultados del estudio.
- **Incertidumbre:** entrega una evaluación cualitativa de la incertidumbre de los datos.

La evaluación de calidad de datos varía entre Alto, Suficiente, Medio y Bajo. La **tabla 1** muestra la evaluación de la calidad de los datos del estudio.

Tabla 1. Criterios para calificación cualitativa de confiabilidad/precisión de datos

Alta	Los datos cumplen con el criterio requerido de confiabilidad/precisión para el caso bajo consideración. Esto significa que es un dato medido y proporcionado directamente por la empresa.
Suficiente	Datos verificados por suposiciones o mediciones no auditadas (documentos proporcionados por personal de empresa o literatura)
Media	Datos no auditados basados en suposiciones o estimaciones de un experto. Se considera que este tipo de datos puede usarse pero su confiabilidad/precisión puede ser mejorada.
Baja	Datos estimados sin base sólida. Estos datos no cumplen con el criterio requerido de confiabilidad/precisión para el caso bajo consideración.

De acuerdo con lo anterior a continuación se presenta la evaluación de datos y una asignación de incertidumbre cualitativa a los mismos según la fuente de información:

Tabla 2. Resultados evaluación calidad de datos.

Etapa del ciclo de vida	Observación	Evaluación calidad del dato	Incertidumbre
Materias primas y proceso de producción	Se incluyen las principales materias primas usadas en la fabricación del producto y el ensamblaje de estas para desarrollar la unidad funcional.	Media	30%
Transporte (aguas arriba)	Se analiza la importación y los traslados necesarios para disponer de la unidad funcional en el punto de ensamblaje/venta.	Suficiente	20%
Empaque de la unidad funcional	Plástico y cartón usados para el embalaje del producto.	Suficiente	20%
Uso del producto	Cantidad de energía requerida durante la vida útil del producto.	Alta	10%
Fin de vida	Análisis cuando la unidad funcional se convierte en un residuo (p. ej., disposición, reciclaje, recuperación).	Suficiente	20%

3.10 FUENTES DE DATOS

En cumplimiento del numeral 7.3.d) de la norma ISO 14067:2018, que exige reportar la información de recolección de datos, incluidas las fuentes de datos (véase el numeral 6.4.2), a continuación se detallan las fuentes utilizadas para cada etapa del ciclo de vida y para los elementos metodológicos del estudio. Los datos se clasifican en primarios (medidos o proporcionados directamente por Compumax) y secundarios (provenientes de bases de datos genéricas de ciclo de vida y de literatura técnica), con una antigüedad máxima de 10 años para los datos secundarios, conforme se indica en el numeral 3.9.

- **Producción / ensamblaje:** los datos de consumo de energía eléctrica de la planta de ensamblaje corresponden a datos primarios proporcionados directamente por Compumax (registros de la planta), relacionados con la producción total. Los materiales y componentes electrónicos ensamblados (placa base, memoria, almacenamiento, display, entre otros), incluido el empaque, se modelaron con datos secundarios de la base de datos Ecoinvent 3.12 (procesos de referencia global).
- **Transporte aguas arriba y aguas abajo:** las distancias recorridas (tabla 3 para el transporte aguas arriba, y tablas 4 a 6 para el transporte aguas abajo) provienen de información logística suministrada por Compumax; los factores de emisión por modo de transporte (marítimo, aéreo y terrestre) provienen de los procesos unitarios de transporte de la base de datos Ecoinvent 3.12.
- **Empaque del producto:** los pesos promedio de cartón y plástico utilizados se estimaron a partir de datos operativos de Compumax; los factores de emisión de estos materiales provienen de la base de datos Ecoinvent 3.12.

- **Uso del producto:** el consumo energético (tabla 7) se calculó con base en las especificaciones de consumo certificadas por ENERGY STAR para el equipo; el factor de emisión de la matriz eléctrica aplicado corresponde al set de datos de generación eléctrica de Colombia de la base de datos Ecoinvent 3.12.
- **Fin de vida del producto:** el dato de masa del equipo es un dato primario tomado de la ficha técnica de Compumax; el tratamiento del residuo electrónico se modeló con los procesos de gestión de residuos de la base de datos Ecoinvent 3.12.
- **Método de caracterización y software:** los factores de caracterización utilizados corresponden al método IPCC 2021 (AR6, GWP 100); todos los cálculos se realizaron con el software OpenLCA, sobre la base de datos Ecoinvent 3.12.

La evaluación detallada de la calidad de estos datos (precisión, integridad, representatividad, consistencia, reproducibilidad e incertidumbre) se presenta en el numeral 3.9 y en la tabla 2 del presente informe.

4 INVENTARIO DE CICLO DE VIDA

4.1 DATOS POR ETAPAS

Para realizar la evaluación de impactos y la interpretación de resultados de la HCP se ha dividido el ciclo de vida del producto en 6 etapas: producción, transporte aguas arriba, transporte aguas abajo, empaque, uso y fin de vida.

4.1.1 PRODUCCIÓN

Corresponde a la obtención de materias primas y producción del computador. Se tomaron datos del consumo de energía de la planta en donde se ensamblaba la unidad funcional, haciendo una relación entre la producción neta y el consumo de energía. Por otra parte, los datos de los componentes ensamblados, incluido el empaque, provienen de la base de datos de Ecoinvent 3.12. El flujo más representativo corresponde a la electricidad consumida en planta, para la cual se emplea el factor de emisión nacional (directo) de Colombia de 0,097018 kgCO₂e/kWh. En atención a la observación de la revisión crítica y en cumplimiento del numeral 6.4.9.4.1 de la norma ISO 14067:2018, que exige incluir las emisiones aguas arriba (upstream) asociadas a la generación de la electricidad consumida, se incorporó adicionalmente un factor well-to-tank (WTT) de 0,019622 kgCO₂e/kWh, reconstruido con la base de datos Ecoinvent 3.12 a partir de la participación de cada fuente (carbón, hidráulica, gas natural en ciclo combinado, gas natural convencional y derivados de petróleo) en la matriz de generación eléctrica colombiana. El factor total aplicado a la electricidad de la etapa de producción es, por tanto, de 0,116640 kgCO₂e/kWh (factor directo + factor WTT).

4.1.2 TRANSPORTE AGUAS ARRIBA

El transporte aguas arriba se refiere a todo el transporte de los materiales a ensamblar desde su país de origen hasta la planta de ensamblaje de Compumax. El punto de origen corresponde al lugar de procedencia de cada material: China (Shenzhen) para el chasis y la placa base (motherboard), que se transportan por vía marítima; y China y Estados Unidos, respectivamente, para la memoria y el disco duro, que se transportan por vía aérea. El punto de destino, para todos los materiales, es la Zona Franca de Occidente, ubicada en el municipio de Mosquera (Cundinamarca, Colombia), donde se encuentra la planta de ensamblaje. Las distancias fueron estimadas por personal de Compumax a partir de los registros logísticos de importación de la compañía. Conforme a la observación de la revisión crítica, en la tabla 3 se presentan de forma independiente los tramos marítimo y aéreo: el chasis y la placa base viajan por vía marítima utilizando combustible HFO (Heavy Fuel Oil, combustible pesado de uso naviero), mientras que el disco duro y la memoria viajan por vía aérea utilizando combustible Jet A1 (combustible exclusivo de aeronaves); en ambos casos, estos tramos principales se complementan con tramos terrestres cortos entre la planta y el puerto o aeropuerto correspondiente. Para el análisis de esta etapa se contemplan las distancias de la tabla 3:

Tabla 3. Distancias transporte aguas arriba.

TIPO DE TRANSPORTE	Recorrido	Chasis	Motherboard	Disco Duro	Memoria	Fuente de datos
TERRESTRE	Transporte de planta a puerto o aeropuerto km	628,00	628,00	18,00	21,00	Compumax
MARÍTIMO	Puerto a puerto (Shenzhen, China – puerto de ingreso, Colombia) km	17.472,60	17.333,05	-	-	
AÉREO	Aeropuerto a aeropuerto (origen (USA y CHINA) – Bogotá, Colombia) km	-	-	2.431,00	16.874,00	
TERRESTRE	Puerto o aeropuerto a planta km	492,00	492,00	24,70	24,70	

4.1.3 TRANSPORTE AGUAS ABAJO

El transporte aguas abajo relaciona la distancia que recorre la unidad funcional desde el punto donde se ensambla hasta su disposición final. El punto de origen es la planta de ensamblaje de Compumax, ubicada en la Zona Franca de Occidente (municipio de Mosquera, Cundinamarca). Desde allí, el producto terminado se distribuye por vía terrestre a nivel nacional hacia entidades gubernamentales, clientes finales y distribuidores ubicados en los distintos departamentos del país. Dado que el punto final de entrega varía según cada cliente, personal de Compumax estimó un valor promedio de distancia representativo de la red de distribución nacional, calculado como se describe a continuación.

Para el tramo planta – sitio de distribución, la distancia promedio se estimó ponderando la distancia por carretera desde la planta (Mosquera, Cundinamarca) hasta las principales ciudades de destino, según su participación aproximada en la base de clientes de Compumax:

Tabla 4. Estimación de distancias entre ciudades

Ciudad / región destino	Distancia aprox. desde la planta (km)	Participación estimada de clientes	Contribución ponderada (km)
Bogotá D.C. y Cundinamarca	20	30%	6,00
Medellín (Antioquia)	415	25%	103,75
Cali (Valle del Cauca)	460	20%	92,00
Barranquilla (Atlántico)	1.000	15%	150,00
Bucaramanga (Santander)	380	10%	38,00
Total (promedio ponderado)		100%	389,75 $\approx$ 390

El resultado de esta ponderación (≈ 390 km) corresponde al valor reportado en la tabla 6 para el trayecto planta – sitio de distribución.

Para el tramo sitio de distribución – usuario final (última milla dentro de la ciudad de destino), personal de Compumax estimó un valor promedio de 13 km con base en el radio de reparto típico observado en ciudades grandes de Colombia:

Tabla 5. Estimación de distancias usuario final

Ciudad	Radio de reparto estimado (km)
Bogotá	15
Medellín	12
Cali	11
Barranquilla	14
Promedio	13,00

Este mismo criterio de radio de reparto urbano se aplicó de forma análoga al trayecto usuario final – disposición final (tabla 6), estimado en 15 km.

Tabla 6. Distancias transporte aguas abajo

Detalle trayecto	Tipo de transporte	Distancia km	Fuente de datos de la distancia
Planta - sitio de distribución	Transporte de carga, camión 16-32 toneladas métricas, EURO4	390	Promedio de recorrido hacia ciudades principales
Sitio de distribución – usuario final	Transporte de carga, camión 16-32 toneladas métricas, EURO4	13	Promedio de recorrido de una ciudad grande

Usuario final – Disposición final	Transporte de carga, camión 16-32 toneladas métricas, EURO4	15	Promedio de recorrido de una ciudad grande
--------------------------------------	--	----	--

4.1.4 EMPAQUE DEL PRODUCTO

Para evaluar el empaque con el cual se distribuye la unidad funcional se calcularon datos promedios para el peso de una caja de cartón y el plástico usado para empacar una computadora.

4.1.5 USO DEL PRODUCTO

Para evaluar el consumo de energía del producto durante su vida útil se tomó como referencia un lapso de 5 años, siendo este el **único escenario** de uso evaluado. Según los datos suministrados por la certificación Energy Star se estimó un consumo anual calculado con la ecuación de la Fig. 3.

$$E_{TEC} = \frac{8760}{1000} \times (P_{OFF} \times T_{OFF} + P_{SLEEP} \times T_{SLEEP} + P_{LONG_IDLE} \times T_{LONG_IDLE} + P_{SHORT_IDLE} \times T_{SHORT_IDLE})$$

Where:

- P_{OFF} = Measured power consumption in Off Mode (W);
- P_{SLEEP} = Measured power consumption in Sleep Mode (W);
- P_{LONG_IDLE} = Measured power consumption in Long Idle Mode (W);
- P_{SHORT_IDLE} = Measured power consumption in Short Idle Mode (W); and
- T_{OFF} , T_{SLEEP} , T_{LONG_IDLE} , and T_{SHORT_IDLE} are mode weightings as specified in Table 4 (for Desktops, Integrated Desktops, and Thin Clients) or Table 5 (for Notebooks).

Fig. 3. Ecuación E_{TEC} ³

La tabla 7 muestra los datos utilizados y el resultado del consumo de energía eléctrica por los 5 años de vida de la unidad funcional para 4 escenarios (off, sleep, long_idle y short_idle) de estados del computador, según el porcentaje de tiempo de uso (25, 35, 10 y 30). Dado lo anterior

³<https://www.energystar.gov/sites/default/files/ENERGY%20STAR%20Computers%20Final%20Version%207.0%20Specification.pdf>

los datos de uso promedio son tomados de Energy Star usando la matriz energética colombiana donde la energía total consumida en un año fue de 54,00 kWh.

Tabla 7. Datos para calcular el consumo de energía eléctrica

Estado del computador	Tiempo de uso	Energía (Watts)	E _{TEC} (kWh/año)	Consumo en 5 años (kWh)
off	25%	0,34	0,7446	3,723
sleep	35%	2,47	7,57302	37,8651
long_idle	10%	4,01	3,51276	17,5638
short_idle	30%	18,64	48,98592	244,9296
Total			60,82	304,0815

El cálculo se basa en el factor de emisión nacional (directo) de la matriz eléctrica de Colombia para el año 2025 (0,097018 kgCO₂e/kWh), complementado con el factor well-to-tank (WTT) de 0,019622 kgCO₂e/kWh reconstruido con la base de datos Ecoinvent 3.12, conforme se describe en el numeral 4.1.1. El factor combinado aplicado al consumo eléctrico de la etapa de uso es de 0,116640 kgCO₂e/kWh. Esta aproximación permite capturar tanto las emisiones directas de la generación eléctrica colombiana —caracterizada por una alta participación hidroeléctrica, complementada con fuentes fósiles en periodos de alta demanda o baja disponibilidad hídrica— como las emisiones indirectas asociadas a la extracción, procesamiento y transporte de los combustibles utilizados en dicha generación, en cumplimiento del numeral 6.4.9.4.1 de la norma ISO 14067:2018.

4.1.6 FIN DE VIDA DEL PRODUCTO

Se toma como referencia el dato de la masa del computador para analizar el impacto que genera como residuo electrónico.

5 EVALUACIÓN HUELLA DE CARBONO DE PRODUCTO

La evaluación de impactos ha sido realizada conforme a la metodología de la Organización Internacional de Normalización (ISO por sus siglas en inglés) ISO 14067:2018.

METODOLOGÍA IPCC

El método de evaluación de impactos usado en este estudio es IPCC 2021, la base de datos utilizada es Ecoinvent 3.12 y el software mediante el cual se obtuvieron los resultados es OpenLCA. La metodología IPCC 2021 cuenta con la versión AR6 y a su vez permite conocer la huella de carbono del producto tal como se muestra en la **Fig. 4**.

Impact category	Indicator	ID	handling of biogenic CO2	method/standard/guideline				flow	type	Methane, non-fossil													
				IPCC 2021	IPCC 2021 (incl. biogenic CO2)	ISO 14067	EN15804			biogenic	biogenic	biogenic, removal	biogenic, removal	land use	land use	land use, removal	SLCF	SLCF	SLCF	SLCF, biogenic	SLCF, land use	other GHGs	
climate change: total (excl. biogenic CO2)	GWP100	A	0/0 for biogenic CO2	x		(x)	(x)		x					x	x	x							x
climate change: total (incl. biogenic CO2)	GWP100	B	-1/+1 for biogenic CO2		x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x							x
climate change: fossil	GWP100	C	0/0 for biogenic CO2	x (= D + E)		x (= D + E)	x																x
climate change: fossil (excl. aircraft emissions)	GWP100	D	-1/+1 for biogenic CO2	x		(x)																	x
climate change: aircraft emissions	GWP100	E	-1/+1 for biogenic CO2	x		x																	x
climate change: direct land use change	GWP100	F	-1/+1 for biogenic CO2	x (= G + H)		x (= G + H)	x (= G + H)								x	x	x						
climate change: emissions from direct land use change	GWP100	G	-1/+1 for biogenic CO2	x		(x)	(x)								x	x							
climate change: removals from direct land use change	GWP100	H	-1/+1 for biogenic CO2	x		(x)	(x)										x						
climate change: biogenic (excl. CO2)	GWP100	I	-1/+1 for biogenic CO2	x					x														
climate change: biogenic (incl. CO2)	GWP100	J	-1/+1 for biogenic CO2		x (= J + K)	x (= J + K)	x (= J + K)		x	x	x	x											
climate change: biogenic emissions (incl. CO2)	GWP100	K	-1/+1 for biogenic CO2		x	(x)	(x)		x	x													
climate change: biogenic removals (incl. CO2)	GWP100	L	-1/+1 for biogenic CO2		x	(x)	(x)				x	x											
climate change: total (excl. biogenic CO2, incl. SLCFs)	GWP100	M	-1/+1 for biogenic CO2	x		(x)	(x)		x					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
climate change: total (incl. biogenic CO2, incl. SLCFs)	GWP100	N	-1/+1 for biogenic CO2		x	(x)	(x)		x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
climate change: fossil (excl. biogenic CO2, incl. SLCFs)	GWP100	O	-1/+1 for biogenic CO2	x		(x)	(x)										x	x	x				x
climate change: direct land use change (incl. SLCFs)	GWP100	P	-1/+1 for biogenic CO2	x		(x)	(x)								x	x	x						x
climate change: biogenic (excl. CO2, incl. SLCFs)	GWP100	Q	-1/+1 for biogenic CO2	x		(x)	(x)		x											x			
climate change: total (excl. biogenic CO2)	GWP20	R	-1/+1 for biogenic CO2	x					x					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
climate change: total (excl. biogenic CO2)	GWP500	S	-1/+1 for biogenic CO2	x					x					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
climate change: total (excl. biogenic CO2)	GTP50	T	-1/+1 for biogenic CO2	x					x					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
climate change: total (excl. biogenic CO2)	GTP100	U	-1/+1 for biogenic CO2	x					x					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Fig. 4. Metodología IPCC⁴

⁴ <https://support.ecoinvent.org/guidance-on-ipcc-methods?utm>

RESULTADOS

Los resultados obtenidos del análisis de huella de carbono del producto indican que las emisiones totales generadas a lo largo de su ciclo de vida ascienden a 214,63 kgCO₂e por unidad funcional. La etapa con mayor contribución fue la de producción del computador, representando aproximadamente el 81,06% del total de emisiones, seguida por la etapa de uso del computador con un 16,53%. Estos resultados permiten identificar los puntos críticos del proceso productivo desde la perspectiva del cambio climático, y constituyen una base técnica sólida para proponer estrategias de reducción, optimización de procesos o sustitución de materiales con menor impacto climático.

Tabla 8. Resultado de la huella de carbono del equipo

Impacto	Etapa	Resultado	%
Calentamiento global kgCO ₂ e	Producción computador	173,98	81,06%
	Transporte aguas arriba	2,58	1,20%
	Transporte aguas abajo	0,44	0,21%
	Empaque	2,11	0,98%
	Uso del computador	35,47	16,53%
	Fin de vida del computador	0,05	0,02%
Total		214,63	100,00%

Con base en los datos previamente expuestos en la **tabla 8** y en la **Fig. 5**, se ha construido la siguiente gráfica para facilitar la interpretación de la contribución relativa de cada etapa del ciclo de vida a la huella de carbono del producto. Esta representación visual permite evidenciar de manera clara y comparativa cómo se distribuyen las emisiones de GEI entre las distintas fases del proceso. Se destaca nuevamente la etapa de producción del computador, la cual presenta el mayor aporte en términos de CO₂e, lo que refuerza su papel como punto crítico a seguir considerando en futuras estrategias de mitigación.

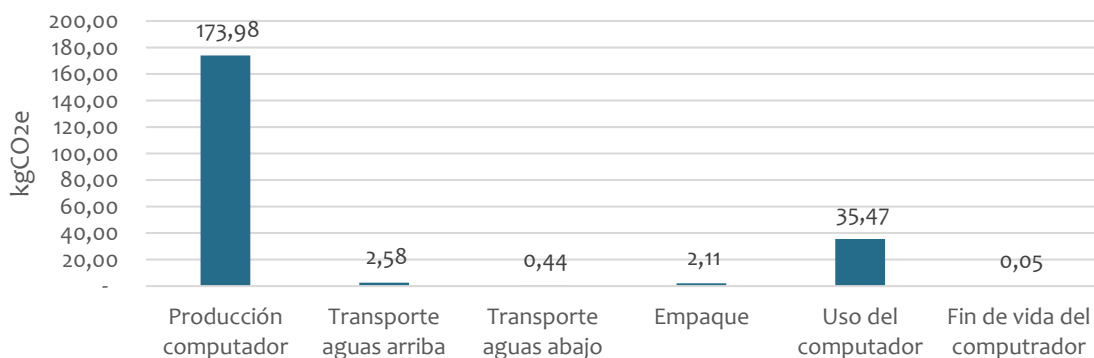


Fig. 5. Huella de carbono del producto por etapas.

6 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

El análisis se llevó a cabo utilizando datos promedio globales disponibles en la base de datos seleccionada. Con el fin de establecer una comparación representativa, se centró la evaluación en la etapa de uso del producto, dado que las etapas bajo control operacional de Compumax han sido objeto de gestión y mejora continua en los últimos años. Los resultados consolidados, correspondientes exclusivamente a la categoría de impacto calentamiento global (Global Warming Potential - GWP), se presentan en la siguiente [tabla 9](#):

Tabla 9. Resultados análisis de sensibilidad

Etapa	Promedio global	Energía renovable	Variación
Producción computador	173,98	173,98	0,00%
Transporte aguas arriba	2,58	2,58	0,00%
Transporte aguas abajo	0,44	0,44	0,00%
Empaque	2,11	2,11	0,00%
Uso del computador	35,47	-	100,00%
Fin de vida del computador	0,05	0,05	0,00%
Total	214,63	179,16	16,53%

Los resultados evidencian que la mayor contribución proviene de la etapa de producción del computador, con un valor constante de 173,98 kgCO₂e en ambos escenarios, lo que representa aproximadamente el 81% del total de emisiones en el caso base. Sin embargo, el cambio más significativo se observa en la etapa de uso del computador, donde las emisiones se reducen completamente de 35,47 kgCO₂e a 0,00 kgCO₂e al crear un escenario hipotético donde el país o la matriz energética de Colombia fuera limpia, generando una disminución del 100% en dicha fase. Lo anterior pensando en el periodo de transición energética a fuentes renovables a la que el país le apunta para el año 2030.

Esta modificación explica la reducción total del 16,53% en las emisiones globales del producto, pasando de 214,63 a 179,16 kg CO₂e. Las demás etapas (transporte, empaque y fin de vida útil) mantienen valores constantes, indicando una baja relevancia relativa y sin variaciones frente al cambio en la matriz energética.

7 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La huella de carbono del producto Integrated Desktop Computer Saturno Series revela que la mayor contribución al impacto climático se genera durante la etapa de producción del equipo, la cual representa aproximadamente el 81% del total de emisiones, equivalente a 173,98 kgCO₂e. La etapa de uso del computador también tiene una participación importante, aportando cerca del 16,53%, con 35,47 kgCO₂e. Por otro lado, las etapas de transporte, empaque y fin de vida del producto contribuyen con cantidades menores y relativamente constantes, lo que indica que su impacto respectivo es limitado en comparación con las fases de producción y uso.

8 BIBLIOGRAFÍA

ISO. (2018). ISO 14044: Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines. Geneva: International Organization for Standardization.

UNE-EN ISO 14040:2006 Environmental management. Life Cycle Analysis. Principles and reference framework

UNE-EN ISO 14064-1:2019 Greenhouse gases. Part 1: Specification with guidance, at the organization level, for the quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals

UNE-EN ISO 14067:2018 Greenhouse gases. Carbon footprint of products. Requirements and guidelines for quantification

UNE-EN 16258:2013 Methodology for the calculation and declaration of energy consumption and greenhouse gas emissions in transport services (freight and passenger transport)

IEEE 1680.1 (2018) IEEE Standard for Environmental and Social Responsibility Assessment of Computers and Displays

Energy Star, E. (n.d.). ENERGY STAR ® Program Requirements for Computers Partner Commitments. Retrieved November 12, 2022, from www.energystar.gov/partners

Karpagam Subramanian, Winco K.C. Yung, Life cycle assessment study of an integrated desktop device -comparison of two information and communication technologies: Desktop computers versus all-in-ones, Journal of Cleaner Production, Volumen 156, 2017, Pag. 828-837.