



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS

**ANÁLISIS DE LAS TÉCNICAS DE AHORRO DE ENERGÍA PARA PROCESADORES EN
ENTORNOS VIRTUALIZADOS**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniera de Sistemas

AUTORA: DANIELA ISABEL ROBLES LOJÁN

TUTOR: JORGE ENRIQUE LÓPEZ LOGACHO

Quito - Ecuador
2025

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Daniela Isabel Robles Loján con documento de identificación N° 1721193751 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 14 de febrero de 2025

Atentamente,



Daniela Isabel Robles Loján

1721193751

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN
A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Daniela Isabel Robles Loján con documento de identificación N° 1721193751, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autora del Artículo Académico: “Análisis de las técnicas de ahorro de energía para procesadores en entornos virtualizados”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera de Sistemas, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 14 de febrero de 2025

Atentamente,



Daniela Isabel Robles Loján

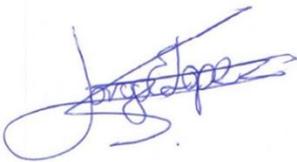
1721193751

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Jorge Enrique López Logacho con documento de identificación N° 1712082484, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **ANÁLISIS DE LAS TÉCNICAS DE AHORRO DE ENERGÍA PARA PROCESADORES EN ENTORNOS VIRTUALIZADOS**, realizado por Daniela Isabel Robles Loján con documento de identificación N° 1721193751, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 14 de febrero de 2025

Atentamente,



Ing. Jorge Enrique López Logacho, MSc.
1712082484

ANÁLISIS DE LAS TÉCNICAS DE AHORRO DE ENERGÍA PARA PROCESADORES EN ENTORNOS VIRTUALIZADOS

ANALYSIS OF ENERGY – SAVING TECHNIQUES FOR PROCESSORS IN VIRTUALIZED ENVIRONMENTS

Daniela Robles – Loján¹, Jorge López – Logacho²

Resumen

La virtualización permite la optimización de recursos informáticos, al separar sistemas físicos en entornos virtuales, mejorando la utilización de hardware y reducir costos operativos. Sin embargo, plantea desafíos energéticos significativos, enfocados en centros de datos y plataformas que utilizan procesadores avanzados como Intel Xeon, y Core. El presente artículo académico, analiza las técnicas de ahorro de energía en procesadores virtualizados, partiendo del estado del arte, investigando cómo las configuraciones de hardware, software, carga de trabajo, voltaje, amperaje, arquitectura del procesador, influyen en el consumo de energía. Este artículo analiza el impacto de tecnologías de virtualización, como hipervisores, máquinas virtuales, consolidación de recursos, partiendo de la importancia de una gestión energética óptima. Adicionalmente, se consideran las capacidades de los procesadores modernos y tecnologías utilizadas para un bajo consumo energético, escalabilidad y reducción de costos. Además, se exploran estrategias de escalado dinámico de frecuencia y voltaje, virtualización de redes y uso de algoritmos de consolidación de cargas, permitiendo optimizar recursos físicos, mejorar la sostenibilidad operativa, contribuyendo al avance tecnológico y ambiental de la actualidad.

Palabras Clave: Arte, Core, energético, procesador, técnicas, virtualización.

Abstract

Virtualization enables the optimization of computing resources by separating physical systems into virtual environments, improving hardware utilization and reducing operating costs. However, it poses significant energy challenges, focused on data centers and platforms that use advanced processors such as Intel Xeon and Core. This academic article analyzes energy saving techniques in virtualized processors, starting from the state of the art, investigating how hardware configurations, software, workload, voltage, amperage, processor architecture, influence energy consumption. This article analyzes the impact of virtualization technologies, such as hypervisors, virtual machines, resource consolidation, starting from the importance of optimal energy management. Additionally, it considers the capabilities of modern processors and technologies used for low power consumption, scalability and cost reduction. Furthermore, dynamic scaling strategies of frequency and voltage, network virtualization and use of load consolidation algorithms are explored, allowing the optimization of physical resources, improving operational sustainability, contributing to the technological and environmental progress of today.

Keywords: Art, Core, consume, energetic, processor, techniques, virtualization.

1 Estudiante de la Carrera de Ingeniería de Sistemas, Universidad Politécnica Salesiana

2 Docente de la Carrera de Ingeniería de Sistemas, Universidad Politécnica Salesiana

Autor para correspondencia: danygotic246@hotmail.com

1. Introducción

La virtualización ha transformado la infraestructura informática, mejorando la eficiencia, escalabilidad y flexibilidad. Sin embargo, el uso de servidores virtualizados, ha tenido un crecimiento considerable en los últimos años, generando desafíos energéticos y ambientales. Según estudios realizados, el consumo energético de centros de datos aumentará considerablemente. [1]

En [2] concluyen que se pueda alcanzar un ahorro de energía, cuando existe baja incidencia en los tiempos de ejecución de las operaciones.

En este contexto, es crucial la optimización en el consumo de energía en procesadores virtualizados. Dentro de los avances tecnológicos en procesadores modernos, ofrecen características de ahorro muy eficientes, cabe mencionar, que su implementación requiere comprender técnicas de ahorro energético, algoritmos de gestión energética y estrategias de virtualización. En cuanto a los costos operativos y económicos que se evitan con la virtualización se detallan los siguientes:

1. Pérdida de datos críticos.
2. Interrupciones en servicios esenciales.
3. Costos operativos adicionales.

1.1 IRQ (Interrupt Request)

Un IRQ es una señal de un sistema de hardware que indica que el procesador haga algo, pero en base a su prioridad se atiende la solicitud. Los valores bajos de IRQs son considerados de mayor prioridad. [3]

Es decir, el IRQ interrumpe la ejecución del código actual para atender una tarea o evento prioritario (más urgente), como puede ser: acceso a disco, manejo de periféricos, entre otros; el procesador detiene su tarea actual, guarda el estado de la misma y ejecuta el controlador de interrupción que corresponda.

Al momento de manejar el IRQ en entornos virtualizados, la tarea se torna más compleja debido a la necesidad de coordinación entre un host¹ y una VM². Es decir, los equipos físicos generan señales prioritarias físicas y la máquina virtual, estos IRQ se virtualizan o pugnan la prioridad.

Partiendo del estado del arte, la virtualización y el consumo energético han impulsado la investigación en cuanto al manejo de las IRQ, así como la optimización en los procesadores.

1.2 Procesadores

Se define al procesador como un circuito electrónico integrado, el cual permite el funcionamiento del ordenador, dispositivos portátiles, digitales, infraestructura, entre otros [1]. Actualmente, en los diferentes dispositivos electrónicos se pueden encontrar procesadores: celulares inteligentes, impresoras multifunción, tablet's, entre otros dispositivos electrónicos avanzados.

Dentro de las funciones que realiza el procesador, se puede mencionar: la ejecución de instrucciones, procesamiento y control del flujo de datos, gestión de la memoria, manejo de interrupciones dadas por el flujo de datos, entre otros. Cabe indicar, que el procesador posee dos unidades: lógica y de control, las cuales permiten calcular:

- Capacidad de procesar instrucciones en tiempo determinado.
- Número máximo de instrucciones o de bits³.
- Celeridad del reloj.

Debido al crecimiento de la tecnología e implementación de inteligencia artificial en varios campos de infraestructura, sistemas de información, área comercial, comunicación, etc., los procesadores modernos manejan IRQ con

¹ Host: En redes se considera un equipo o dispositivo que se encuentra conectado a la red y posee una dirección IP para poder identificarle en la misma.

² VM: Siglas que identifican a una máquina virtual, en inglés (virtual machine).

³ Es la unidad mínima de información, utilizado para representar la contraposición entre dos valores: encendido y apagado, verdadero y falso, etc.

tecnología que permite optimizar el rendimiento y consumo de energía. A continuación, se detallan algunas tecnologías para la gestión de interrupciones:

1. Remapeo IRQ (IRQ Remapping): esta tecnología permite asignar IRQ tanto a dispositivos como a máquinas virtuales, evitando los cuellos de botella.
 2. APIC (Advance Programmable Interrupt Controller): en caso de existir interrupciones, esta tecnología permite gestionarlas en el multiprocesador y brindando un balance entre los núcleos.
 3. MSI – X (Message – Signaled Interrupts): esta tecnología permite transformar a las IRQ en mensajes internos, los cuales no dependen de las señales externas, reduciendo considerablemente latencia.
- [4]

1.3 Procesos multihilo

En la informática moderna, la técnica multihilo (multithreading), logra dividir varias tareas en subprocesos (hilos⁴), mismos que se ejecutan en de manera simultánea, permitiendo mejorar en rendimiento y eficiencia. Esta técnica permite que un núcleo del procesador ejecute varios hilos de manera convergente, optimizando los recursos físicos en el manejo de grandes volúmenes de información como servidores, centros de datos y/o análisis de datos.

A continuación, se detallan los beneficios que se obtienen a través del multithreading:

1. Ejecución de múltiples tareas en paralelo, por las cuales reducen los tiempos de espera.
2. Optimización de recursos físicos.
3. Reducción de ciclos inactivos, los cuales permiten la ejecución de trabajo y energía paulatinamente.

En los procesadores modernos, la tecnología en cuanto a multihilo ha mejorado, permitiendo que cada núcleo procese múltiples hilos de manera simultánea. Otro caso de

multithreading es la asignación dinámica de hilos, cuyo fin es lograr el equilibrio entre rendimiento y consumo de energía.

Para los centros de datos, existen aplicaciones que permiten el manejo de múltiples solicitudes del mismo o varios cliente(s) al mismo tiempo, optimizando el uso de los servidores y disminuyendo los tiempos de espera.

1.4 Parámetros de consumo energético y ejecución de procesos.

Los parámetros de consumo de energía en procesadores son esenciales para la medición, análisis y optimización de la misma, en situaciones de alto rendimiento y gran manejo de sistemas de información, como son los centros de datos. Así también, los parámetros están definidos por factores relacionados con la eficiencia operativa y tecnologías implementadas para la optimización de recursos.

A nivel de servidores o todo el centro de datos, el objetivo principal es optimizar los recursos energéticos los cuales permitan minimizar el impacto ambiental y aumentar la productividad. Dentro de las diferentes tecnologías que existen actualmente en los procesadores, cuentan con tecnologías de escalabilidad dinámica de frecuencia y voltaje, mismos que permiten ajustar el rendimiento del procesador en función de la demanda de trabajo y disminuir el consumo de energía durante periodos con poca demanda.

⁴ Thread o proceso ligero, se considera como una secuencia de instrucciones que un CPU puede ejecutar.

1.5 Voltaje

Se entiende como voltaje a la presión que ejerce una fuente de energía eléctrica sobre los electrones⁵ en un circuito de electricidad cerrado, determinando el flujo de corriente eléctrica. Así también se entiende al voltaje como la cantidad de voltios⁶ que actúan en un sistema eléctrico.

El alto consumo energético que generan los procesadores, es uno de los más altos costos operativos que se tiene en los centros de datos, por lo que, una de las técnicas de ahorro es ajustar dinámicamente el voltaje, en relación a la carga de trabajo, permitiendo la optimización entre rendimiento y eficiencia de energía. Hay que considerar también, que un menor voltaje disminuye la generación de calor, ahorrando en sistemas de refrigeración, evitando costos adicionales.

Es por ello, que los centros de datos con alto número de sistemas de información, realizan constantemente gestión y seguimiento del voltaje para evitar sobrecalentamiento y pérdida de la información. También se debe considerar, que los procesadores trabajan dentro de un rango específico de voltaje con el fin de garantizar la estabilidad; es decir, si el voltaje baja por el mínimo requerido, los errores y fallas en el sistema posiblemente aumenten. [5]

1.6 Potencia

Se entiende por potencia a la cantidad de energía eléctrica consumida por un dispositivo en un periodo de tiempo.

Los procesadores en entornos físicos, tienen un consumo de potencia en función de la carga de trabajo; es decir, cuando el procesador ejecuta tareas más complejas o frecuencias altas, aumenta el consumo de potencia.

En cuanto a un ambiente virtualizado, el único procesador físico se comparte entre las

diferentes máquinas virtuales. Generando variaciones en la carga, producidos por la consolidación de tareas.

1.7 Corriente

Se entiende como la intensidad de corriente eléctrica que fluye mediante un conductor, es decir, mientras más amperios⁷, más electrones circulan.

La corriente es un parámetro clave en la operación de los procesadores y los componentes electrónicos que forman parte del centro de datos, es decir, la cantidad de carga eléctrica que fluye hacia los procesadores para permitir su funcionamiento. Los procesadores de alto rendimiento, requieren niveles altos de corriente para el manejo de los sistemas de información, grandes bases de datos, aplicaciones de la nube, etc.; un incremento en el amperaje, aumenta el consumo energético. Esto exige tener sistemas de enfriamiento robustos que garanticen la operatividad del centro de datos, donde sus procesadores ejecutan varios procesos de manera simultánea.

En cuanto a los entornos virtualizados, el control del amperaje es distinto, puesto que, se puede tener varias máquinas virtuales compartiendo el mismo hardware físico, y, la demanda de corriente desde el procesador, es distribuida de manera dinámica a las máquinas virtuales en conformidad a la carga de trabajo asignada para cada una. Tanto la corriente eléctrica como las cargas de trabajo son diferentes y variables constantemente, de acuerdo con los procesos que se ejecutan en cada máquina virtual. [6]

1.8 Consumo de memoria RAM, GPU, frecuencia, latencia

1.8.1 Memoria RAM

La memoria RAM (Random Access Memory), por sus siglas en inglés, es una memoria de acceso aleatorio. La memoria RAM se encuentra en

⁵ Electrón: Se entiende como electrón a la partícula subatómica que contiene carga eléctrica negativa y orbita en el núcleo atómico.

⁶ Es la unidad del Sistema Internacional que mide la intensidad de la corriente eléctrica.

⁷ Forma parte del Sistema Internacional también, el cual mide cuánta energía fluye entre dos puntos y en un determinado tiempo.

todas las computadoras y es donde se ejecuta el software, incluso el sistema operativo; es por ello que esta memoria permite grabar información o recuperarla sin un orden de secuencia. [7] [8]

Esta memoria tiene las siguientes características:

1. Volátil: Al momento de apagar el equipo pierde su contenido.
2. Acceso aleatorio: Los datos pueden ser leídos o editados, desde cualquier ubicación que se encuentre en la memoria.
3. Capacidad: la cantidad de RAM que cuenta un computador, afecta directamente en la capacidad y rendimiento del mismo para manejar múltiples servicios o aplicaciones.

En los centros de datos, la RAM es importante, puesto que garantiza la eficiencia y rapidez en las operaciones, sobre todo las operaciones dinámicas, así como las de alto rendimiento. Se deben considerar, que estas memorias tienen alta exigencia de procesamiento, escalabilidad y estabilidad.

Actualmente los servidores requieren alta capacidad para soportar los volúmenes de los sistemas de información, así como varias máquinas virtuales y contenedores. Estas memorias también vienen incorporadas con tecnologías que permiten detectar los errores y corregirlos en tiempo real, disminuyendo fallas en los sistemas críticos. En cuanto a la carga eléctrica, estas memorias permiten el uso de módulos con mayor capacidad, los cuales no permiten que exista un incremento significativo. [9]

En entornos virtualizados, aplicaciones en la nube, existe una mayor demanda de memoria RAM, puesto que, varios sistemas operativos, así como las aplicaciones, comparten los medios físicos, por lo que, debe reducir los tiempos de respuesta. [10]

1.8.2 GPU

La Unidad de Procesamiento de Gráficos, está formada por varios núcleos, los cuales permiten

dividir las tareas de procesamiento de información y cada uno trabaja de manera simultánea o paralela. Adicionalmente, la GPU acorta los tiempos de carga en aplicaciones, evitando problemas en funcionamiento y desempeño. [11]

Para los centros de datos, la unidad de procesamiento de gráficos, brinda un funcionamiento continuo de procesamiento 3D en producciones multimedia, juegos e inteligencia artificial, así también brinda eficiencia y flexibilidad en entornos virtualizados, permitiendo a los usuarios desempeñar sus funciones, tanto a distancia y móvil.

Cabe indicar, para la implementación de GPU's, se requiere más energía y espacio, puesto que, generan niveles altos de calor conforme al uso operativo que brinda. Conforme a los factores detallados, la infraestructura del centro de datos, eleva su consumo energético y costos del mismo, incluso genera problemas de operatividad. [12]

1.8.3 Frecuencia

En términos informáticos, la frecuencia hace referencia al número de ciclos⁸ que el procesador ejecuta en un segundo, cuya medida es representada por los hertzios (Hz). Es decir, que un procesador, que cuenta con una frecuencia de 5 GHz, puede ejecutar cinco mil millones de ciclos por segundo; esta información permite determinar el rendimiento total del CPU, sin embargo, no es uno de los parámetros que influye, pero si se considera.

En cuanto a la relación con el consumo energético, se debe considerar que, a mayor frecuencia, mayor consumo de energía y generación de calor, lo que limita el rendimiento del procesador. Para los procesadores multinúcleo, cada uno de ellos ejecuta sus ciclos en frecuencias diferentes, de acuerdo a la carga de trabajo. [13]

1.9 Virtualización

Es una tecnología que permite la creación de recursos físicos y de aplicaciones o sistemas, de los cuales puede incluir: servidores, sistemas operativos, sistemas de información e infraestructura; todos dentro de un mismo recurso físico, con la finalidad de ejecutar múltiples procesos en diferentes entornos virtuales.

Existen componentes necesarios dentro de la virtualización: hipervisor, máquinas virtuales, hardware subyacente.

- a) Hipervisor: es el software necesario para la creación y gestión de máquinas virtuales, mismos que pueden ejecutarse sobre el hardware como VMWare Player; como en sistema operativo (VirtualBox)
- b) Máquinas virtuales: son entornos aislados que representan un sistema físico, el cual incluye RAM, CPU, almacenamiento y red.

- c) Hardware subyacente: utiliza los recursos físicos de los servidores para ofrecer varios entornos virtuales. [14]

2. Métodos y materiales

Para el análisis de las técnicas de ahorro de energía en el presente artículo, se consideran los siguientes equipos de investigación, tanto física (local host)⁹ como virtual (clúster)¹⁰, los cuales se detallan a continuación:

Tabla 1: Características de los equipos a ser investigados

Computadora local		Clúster	
Procesador	12th Gen Intel(R) Core (TM) i7-12700 GHz	Procesador	Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2683 v4 @ 2.10GHz (2 procesadores)
RAM instalada	16,0 GB (15,7 GB utilizable)	RAM instalada	16,0 GB
Tipo de sistema	Sistema operativo de 64 bits, procesador x64	Tipo de sistema	Sistema operativo de 64 bits, procesador x64
Edición	Windows 11 Pro	Edición	Windows 10 Pro
Núcleos procesadores	8 núcleos	Núcleos procesadores	16 núcleos

⁸ Ciclo: Unidad de tiempo utilizado para contabilizar las operaciones que ejecuta el procesador, ya sea instrucciones o mover datos.

⁹ Se entiende como localhost a los dispositivos electrónicos, computadoras y/o routers, que posean una tarjeta de red y permitan conexión a la misma.

¹⁰ Clúster: Es un sistema de procesamiento en paralelo, el cual está formado por varias computadoras independientes interconectadas entre sí, pero con un mismo funcionamiento de una computadora física.

A continuación, se muestran las características de la máquina física:

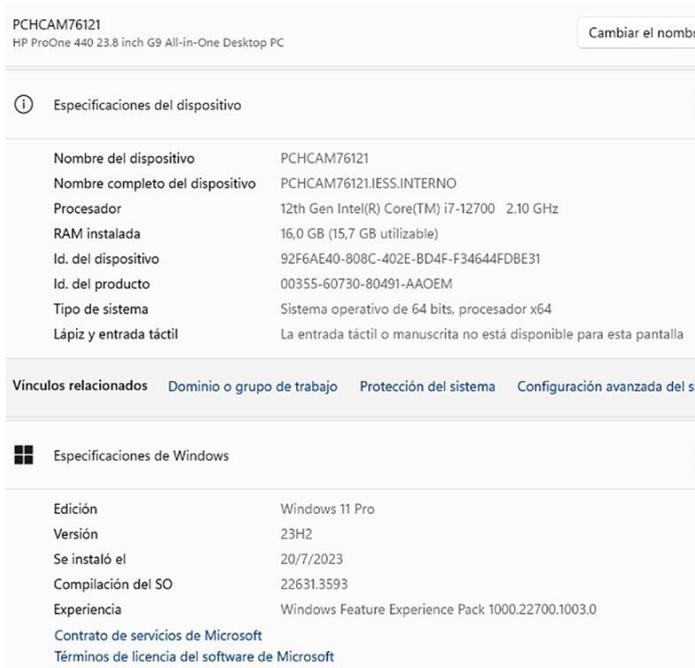


Figura 1: Captura de las características obtenidas del sistema operativo y hardware

A continuación se muestran las características de la máquina clúster instalada:

Acerca de

Especificaciones del dispositivo

Nombre del dispositivo	VM-TESIS-DROBLES-W10
Procesador	Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2683 v4 @ 2.10GHz 2.10 GHz (2 procesadores)
RAM instalada	16,0 GB
Id. del dispositivo	76CBF8B0-B57F-4F17-A93F-6D4E28A4E973
Id. del producto	00330-80000-00000-AA183
Tipo de sistema	Sistema operativo de 64 bits, procesador x64
Lápiz y entrada táctil	La entrada táctil o manuscrita no está disponible para esta pantalla

Copiar

Cambiar el nombre de este equipo

Especificaciones de Windows

Edición	Windows 10 Pro
Versión	21H2
Se instaló el	2/6/2022
Compilación del SO	19044.1415

Figura 2: Características de máquina virtual

Tanto para la máquina física como virtual, se ha instalado VMWare Player.

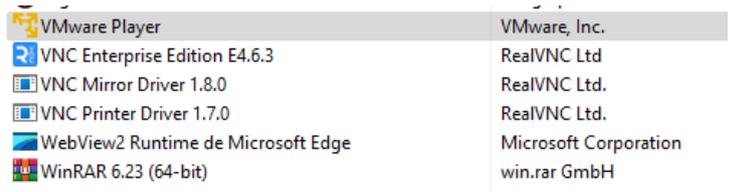


Figura 3: Instalación de VMWare player en máquina local

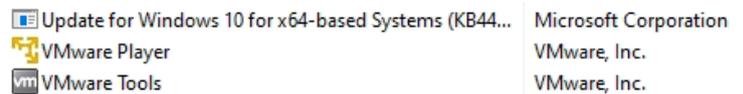


Figura 4: Instalación de VMWare player en clúster

Partiendo del estado del arte, se ha tomado como prueba, instalar en máquina virtual, el sistema operativo Ubuntu 22.0.4, con el fin de probar el consumo energético en dos sistemas diferentes, así también en clúster, para el análisis de la técnica que está empleando el procesador en la máquina física.

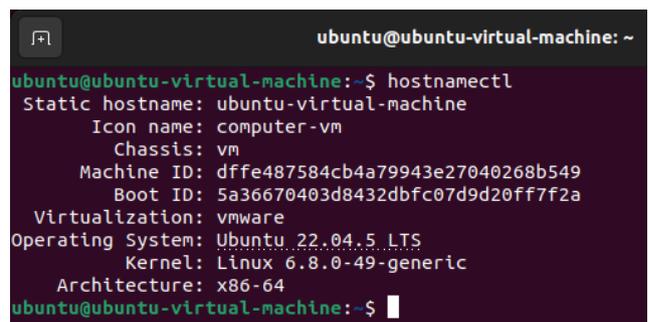


Figura 5: Detalle de la máquina virtual instalada en localhost

Así también se instala el sistema operativo Ubuntu en el clúster.

```
ubuntu@ubuntu-virtual-machine:~$ hostnamectl
Static hostname: ubuntu-virtual-machine
Icon name: computer-vm
Chassis: vm
Machine ID: 783b97234baa4c5b91e979140a8e3251
Boot ID: 710de631db9742969e842ef8d13f6d24
Virtualization: vmware
Operating System: Ubuntu 22.04.5 LTS
Kernel: Linux 6.8.0-49-generic
Architecture: x86_64
```

Figura 6: Detalle de la máquina virtual instalada en clúster

2.1 Algoritmo utilizado para la investigación

Con el fin de lograr adquirir los datos de consumo energético, tanto en máquina física como virtual, se ha conseguido un algoritmo en java, por lo que, para que pueda ser ejecutado, debe estar instalada la versión Java Api superior a 6.0, en todos los escenarios:



Figura 7: Java API instalado en Windows 11 pro (local host)

```
ubuntu@ubuntu-virtual-machine:~$ java -version
openjdk version "11.0.25" 2024-10-15
OpenJDK Runtime Environment (build 11.0.25+9-post-Ubuntu-1ubuntu122.04)
OpenJDK 64-Bit Server VM (build 11.0.25+9-post-Ubuntu-1ubuntu122.04, mixed mode, sharing)
ubuntu@ubuntu-virtual-machine:~$
```

Figura 8: Java instalado en Ubuntu (local host)



Figura 9: Java API instalado en Windows 11 pro (clúster)

```
ubuntu@ubuntu-virtual-machine:~$ java -version
openjdk version "11.0.25" 2024-10-15
OpenJDK Runtime Environment (build 11.0.25+9-post-Ubuntu-1ubuntu122.04)
OpenJDK 64-Bit Server VM (build 11.0.25+9-post-Ubuntu-1ubuntu122.04, mixed mode, sharing)
```

Figura 10: Java instalado en Ubuntu (clúster)

El mencionado algoritmo permite obtener los valores de consumo energético, tanto en máquina virtual como física:

//nombre del paquete
package verificador;

//las bibliotecas OSHI permiten acceder a la información del hardware y sistema operativo.

```
import oshi.SystemInfo;
import oshi.hardware.CentralProcessor;
import
oshi.hardware.HardwareAbstractionLayer;
import oshi.hardware.Sensors;
import
oshi.hardware.CentralProcessor.TickType;
```

```
//clase principal
public class Principal {
    public static void main(String[] args) {
        // Crear instancia de SystemInfo11
        SystemInfo systemInfo = new
SystemInfo();
        HardwareAbstractionLayer hal =
systemInfo.getHardware();
        CentralProcessor processor =
hal.getProcessor();
```

```
// Obtener las peticiones del CPU antes
long[] prevTicks =
processor.getSystemCpuLoadTicks();
```

// ticks representa el tiempo que la CPU ha pasado por diferentes estados: usuario, sistema, IRQ, etc.

```
try {
    Thread.sleep(1000);
} catch (InterruptedException e) {
    e.printStackTrace();
}
```

```
// Obtener los ticks del CPU después
long[] ticks =
processor.getSystemCpuLoadTicks();
```

```
// Calcular la carga del CPU entre ticks
double load =
processor.getSystemCpuLoadBetweenTicks(prevTicks) * 100;
```

```
System.out.printf("Carga actual del CPU:
%.2f%%\n", load);
```

// Calcular los tiempos de IRQ y SoftIRQ

¹¹ SystemInfo, muestra la información general sobre el sistema o el equipo, como configuración, sistema

operativo, hardware, seguridad, entre otros parámetros.

```

    long irqTime =
ticks[TickType.IRQ.getIndex()] -
prevTicks[TickType.IRQ.getIndex()];
    long softIrqTime =
ticks[TickType.SOFTIRQ.getIndex()] -
prevTicks[TickType.SOFTIRQ.getIndex()];

    System.out.println("Tiempo en IRQ: " +
irqTime + " ms");
    System.out.println("Tiempo en SoftIRQ: "
+ softIrqTime + " ms");

    // Obtener la frecuencia actual y máxima de
la CPU
    long maxFreq = processor.getMaxFreq();
    System.out.println("Frecuencia máxima de
la CPU: " + maxFreq + " Hz");

    long[] currentFreq =
processor.getCurrentFreq();
    for (int i = 0; i < currentFreq.length; i++) {
        System.out.println("Frecuencia actual del
Núcleo " + i + ": " + currentFreq[i] + " Hz");
    }
    Sensors sensors = hal.getSensors();

    // Obtener la temperatura de la CPU
    double    cpuTemperature    =
sensors.getCpuTemperature();
    System.out.printf("Temperatura de la CPU:
%.1f°C\n", cpuTemperature);
    // OSHI no proporciona temperaturas por
núcleo, pero puede mostrar las temperaturas de
los discos y voltajes si así se desea

    // Obtener el voltaje del CPU (Nota:
generalmente devuelve 0.0 si no está
disponible)
    double    cpuVoltage    =
sensors.getCpuVoltage();
    System.out.printf("Voltaje de la CPU: %.1f
V\n", cpuVoltage);
}
}

```

Para poder ejecutar el verificador y obtener el consumo tanto de la máquina local como de las virtualizadas, se debe descargar el archivo “verificador-0.0.1-SNAPSHOT.jar”, el cual se ejecuta desde “Símbolo de Sistema” en Windows o en una “Terminal”, de la siguiente manera:

```
java -jar verificador-0.0.1-SNAPSHOT.jar
```

Con el fin de mostrar el consumo de la máquina física y máquinas virtuales, se ha puesto tráfico de video y audio, tanto en la máquina física, virtual y clúster, a continuación, se muestra los resultados:

Localhost:

```

Carga actual del CPU: 1,43%
Tiempo en IRQ: 16 ms
Tiempo en SoftIRQ: 0 ms
Frecuencia máxima de la CPU: 0 Hz
Frecuencia actual del Núcleo 0: 0 Hz
Frecuencia actual del Núcleo 1: 0 Hz
Frecuencia actual del Núcleo 2: 0 Hz
Frecuencia actual del Núcleo 3: 0 Hz
Frecuencia actual del Núcleo 4: 0 Hz
Frecuencia actual del Núcleo 5: 0 Hz
Frecuencia actual del Núcleo 6: 0 Hz
Frecuencia actual del Núcleo 7: 0 Hz
Frecuencia actual del Núcleo 8: 0 Hz
Frecuencia actual del Núcleo 9: 0 Hz
Frecuencia actual del Núcleo 10: 0 Hz
Frecuencia actual del Núcleo 11: 0 Hz
Frecuencia actual del Núcleo 12: 0 Hz
Frecuencia actual del Núcleo 13: 0 Hz
Frecuencia actual del Núcleo 14: 0 Hz
Frecuencia actual del Núcleo 15: 0 Hz
Frecuencia actual del Núcleo 16: 0 Hz
Frecuencia actual del Núcleo 17: 0 Hz
Frecuencia actual del Núcleo 18: 0 Hz
Frecuencia actual del Núcleo 19: 0 Hz
Temperatura de la CPU: 0,0°C
Voltaje de la CPU: 0,0 V

```

Figura 11: Ejecución de algoritmo en máquina física

Como se muestra en la figura anterior, el algoritmo mencionado, permite visualizar los datos de carga actual que tiene el CPU: tiempo de las IRQ, frecuencias por núcleos, temperatura y voltaje del CPU. Sin embargo, cuando el voltaje no está disponibles debido a la configuración del sistema operativo, marcan 0.0%.

En cuanto a la temperatura y carga del computador en la máquina física es menor, debido a las tecnologías que incorporan actualmente los procesadores Intel [15].

VMPlayer localhost:

```

Carga actual del CPU: 42.35%
Tiempo en IRQ: 0 ms
Tiempo en SoftIRQ: 20 ms
Frecuencia máxima de la CPU: 2112000000 Hz
Frecuencia actual del Núcleo 0: 2112000000 Hz
Frecuencia actual del Núcleo 1: 2112000000 Hz
Temperatura de la CPU: 0.0°C
Voltaje de la CPU: 3.0 V

```

Figura 12: Ejecución de algoritmo en VMPlayer en máquina física

En el detalle de la imagen anterior, se pueden observar los valores de consumo energético en la máquina virtual del ordenador físico, el cual es bajo conforme a la carga del CPU que actualmente tiene.

Clúster:

```
Carga actual del CPU: 59,87%
Tiempo en IRQ: 15 ms
Tiempo en SoftIRQ: 32 ms
Frecuencia máxima de la CPU: 0 Hz
Frecuencia actual del Núcleo 0: 0 Hz
Frecuencia actual del Núcleo 1: 0 Hz
Frecuencia actual del Núcleo 2: 0 Hz
Frecuencia actual del Núcleo 3: 0 Hz
Temperatura de la CPU: 0,0°C
Voltaje de la CPU: 3,3 V
```

Figura 13: Ejecución de algoritmo en clúster

En cuanto a los valores de consumo energético del clúster, la gráfica anterior nos muestra que son bajos, en conformidad a la carga que tiene el CPU.

VMPlayer clúster:

```
Carga actual del CPU: 82.63%
Tiempo en IRQ: 0 ms
Tiempo en SoftIRQ: 10 ms
Frecuencia máxima de la CPU: 2097571000 Hz
Frecuencia actual del Núcleo 0: 2097571000 Hz
Frecuencia actual del Núcleo 1: 2097571000 Hz
Temperatura de la CPU: 0.0°C
Voltaje de la CPU: 10.0 V
```

Figura 14: Ejecución de algoritmo en VMPlayer del clúster

En cuanto a la máquina virtual que se encuentra ejecutándose en el clúster, nos muestra que el CPU tiene un porcentaje mayor de carga, sin embargo, los valores energéticos son bajos.

3. Resultados y discusión

Para mostrar los resultados finales, se obtiene la aplicación HWinFO 64, para poder visualizar los datos de consumo que cuenta el CPU actualmente. Es necesario indicar, que la aplicación se ejecuta en Windows, tanto de la máquina física como clúster a continuación, se detalla:

Máquina física:

SA VID	0.928 V	0.926 V	0.928 V	0.928 V
Relojes núcleo	3,416.6 MHz	798.0 MHz	4,788.3 MHz	3,100.7 MHz
Reloj del bus	99.8 MHz	99.8 MHz	99.8 MHz	99.8 MHz
Ring/LLC Reloj	3,591.2 MHz	2,394.1 MHz	4,289.5 MHz	3,371.8 MHz
Relojes efectivos núcleo	47.7 MHz	0.1 MHz	1,955.0 MHz	83.1 MHz
Reloj efectivo promedio	50.6 MHz	38.5 MHz	205.2 MHz	86.6 MHz
Uso núcleo	2.7 %	0.0 %	42.7 %	3.7 %
P-core 0 T0 Uso	9.8 %	0.0 %	9.8 %	5.3 %
P-core 0 T1 Uso	0.5 %	0.0 %	1.2 %	0.5 %
P-core 1 T0 Uso	3.0 %	1.6 %	5.2 %	2.9 %
P-core 1 T1 Uso	0.5 %	0.0 %	0.5 %	0.2 %
P-core 2 T0 Uso	0.4 %	0.0 %	1.3 %	0.6 %
P-core 2 T1 Uso	0.0 %	0.0 %	4.1 %	1.0 %
P-core 3 T0 Uso	0.0 %	0.0 %	0.8 %	0.3 %
P-core 3 T1 Uso	0.0 %	0.0 %	0.7 %	0.1 %
P-core 4 T0 Uso	14.5 %	14.5 %	42.7 %	22.4 %
P-core 4 T1 Uso	0.0 %	0.0 %	0.5 %	0.1 %
P-core 5 T0 Uso	11.8 %	0.7 %	15.4 %	8.2 %
P-core 5 T1 Uso	1.7 %	1.7 %	17.7 %	10.1 %
P-core 6 T0 Uso	0.0 %	0.0 %	2.4 %	0.5 %
P-core 6 T1 Uso	0.0 %	0.0 %	4.1 %	0.8 %
P-core 7 T0 Uso	0.0 %	0.0 %	4.2 %	1.1 %
P-core 7 T1 Uso	0.0 %	0.0 %	16.9 %	5.1 %
E-core 8 T0 Uso	4.3 %	2.6 %	10.0 %	5.6 %
E-core 9 T0 Uso	2.8 %	0.0 %	6.5 %	3.5 %
E-core 10 T0 Uso	2.6 %	1.5 %	5.2 %	3.4 %
E-core 11 T0 Uso	1.2 %	0.0 %	5.2 %	2.5 %
Uso máximo de CPU / subproceso	14.5 %	14.5 %	42.7 %	22.4 %
Uso total de CPU	2.7 %	2.7 %	6.0 %	3.7 %
Modulación de reloj bajo demanda	100.0 %	100.0 %	100.0 %	100.0 %
Utilización núcleo	2.5 %	0.0 %	95.8 %	4.7 %
Utilización total de la CPU	2.5 %	2.0 %	11.5 %	4.7 %
Multiplicadores de reloj de nú...	34.2 x	8.0 x	48.0 x	31.1 x
Uncore Relación	36.0 x	24.0 x	43.0 x	33.8 x
CPU [#0]: Intel Core i7-12700: DTS				
Temperaturas núcleo	49 °C	43 °C	63 °C	50 °C
Distancia del núcleo a TJMAX	51 °C	37 °C	57 °C	50 °C
CPU Entera	59 °C	51 °C	62 °C	57 °C
Máximo de Núcleo	62 °C	60 °C	63 °C	61 °C
Desaceleración térmica del nú...	No	No	No	0 %
Temperatura crítica núcleo	No	No	No	0 %
CPU [#0]: Intel Core i7-12700: Enhanced				
CPU Entera	54 °C	48 °C	70 °C	58 °C
Núcleos IA de CPU	54 °C	47 °C	70 °C	58 °C
Núcleos de CPU GT (gráficos)	51 °C	46 °C	54 °C	50 °C
iGPU VID	0.312 V	0.297 V	0.405 V	0.311 V
Compensación de voltaje		0.000 V	0.000 V	
VDDQ TX Voltaje	1.200 V	1.200 V	1.200 V	1.200 V
VR VCC Corriente (SVID IOOUT)	18.211 A	2.953 A	46.266 A	19.608 A

Figura 15: Valores de consumo energético ejecutados en HWinFO64

Como se visualiza en la gráfica, HWinFO64 nos detalla los valores de potencia, amperaje, consumo, entre otros valores, detallado por cada núcleo del procesador.

Clúster:

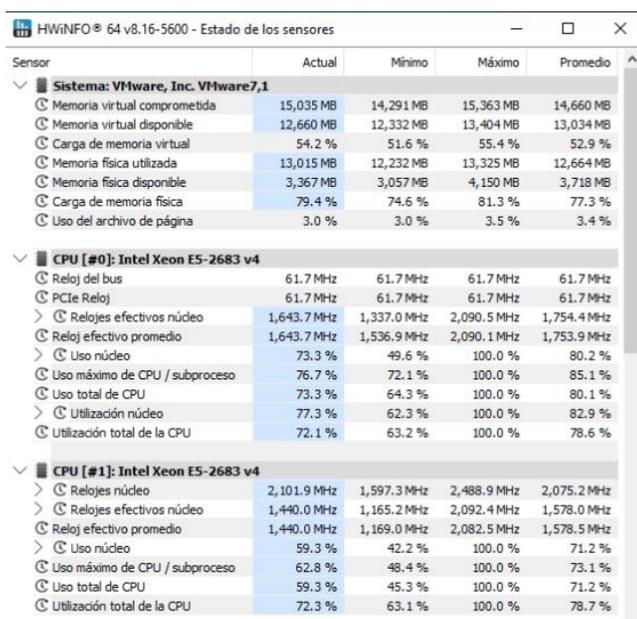


Figura 16: Valores de consumo energético ejecutados en HWINFO64 en clúster

Como se muestra en la gráfica, los valores de consumo energético, no son extraíbles debido a que son valores que se extraen del hardware.

Tabla 2: Resultados obtenidos con algoritmo y aplicación

Computadora física		Clúster	
Voltaje	0.928 V	Voltaje	3.3 V
Amperaje	19.608 A	Amperaje	0.0 A
Tiempo de ejecución	de 72 horas	Tiempo de ejecución	de 72 horas
Frecuencia	83.1 MHz	Frecuencia	1.754.4 MHz

Como se puede visualizar en la tabla 2, para obtener los valores de consumo energético; en un tiempo de ejecución a 72 horas, mediante el cual, tanto la máquina física como virtuales, estuvieron con tráfico de video y audio constante para obtener los resultados presentados. Los cuales indican que el consumo energético es menor

debido a las tecnologías que los procesadores modernos Intel incorporan. Donde muestra que los valores de voltaje aumentaron en el la máquina virtual de la nube (clúster), sin embargo, el aumento no es considerable teniendo en cuenta el consumo del CPU. En cuanto al amperaje, no se puede visualizar en clúster debido a que es un dato de abstracción de hardware.

4. Conclusiones

La virtualización es eficiente puesto que, el consumo energético en procesadores es menor al permitir la ejecución de varias máquinas virtuales, así como la demanda del equipo físico como tal, o que hace imprescindible el uso de tecnologías avanzadas de ahorro de energía para garantizar la eficiencia operativa.

Las tecnologías desarrolladas en los procesadores modernos[16], tienen un rol esencial en la reducción de consumo energético en los procesadores modernos, puesto que cada técnica se adapta a las necesidades de carga de trabajo que tiene el CPU, permitiendo el equilibrio entre el rendimiento y consumo energético en entornos virtualizados.

Las tecnologías de los procesadores modernos, permiten que el CPU ajuste dinámicamente su frecuencia y voltaje, en función de la carga de trabajo, especialmente en máquinas virtuales, donde la carga del CPU fluctúa drásticamente.

Durante los periodos de estado de reposo o donde el CPU se encuentra inactivo o cuando desactiva los núcleos inactivos [17], proporciona un ahorro energético considerable, permitiendo la sostenibilidad de la infraestructura de TI.

Las tecnologías de los procesadores modernos, garantizan la estabilidad de los sistemas, permitiendo controlar la temperatura interna de los procesadores cuando la carga del CPU se intensifica, incluyendo los recursos que consumen los entornos virtualizados.

A través de la supervisión y control de los límites de energía del CPU y memoria, permite una gestión de consumo eficiente, tanto en física como entornos virtualizados,

evitando el desperdicio energético y disminuyendo costos operativos.

El uso de las tecnologías en procesadores modernos, brindan una monitorización constante de la temperatura y consumo energético mediante sensores, cumplan los límites de eficiencia energética establecidos por las políticas internas de sostenibilidad.

La aplicación de técnicas de ahorro de energía en procesadores no solo reduce los costos operativos, también contribuye en la disminución de carbono en los centros de datos, el cual es una prioridad en organización que operan con entornos virtualizados, por lo que, las tecnologías Intel analizadas, son una respuesta eficaz para este desafío global energético actual.

Referencias

- [1] Z. Imanol, «Qué es la virtualización y sus beneficios para las empresas,» Orbetec, 29 agosto 2024. [En línea]. Available: <https://orbetec.com/que-es-la-virtualizacion/> [Último acceso: 30 noviembre 2024].
- [2] M. Marina, B. Javier, R. Dolores y L. Emilio, «Factores que afectan el consumo energético de operaciones de I/O en clusters,» Buenos Aires, 2018.
- [3] V. M. Carlos, Sistemas informáticos y redes locales, Madrid - España: Paraninfo SA, 2020.
- [4] Intel, «Intel 64 and IA-32 Architectures Software Developer’s Manual,» 31 agosto 2023. [En línea]. Available: <https://www.intel.com/content/dam/public/us/en/documents/manuals/64-ia-32-architectures-software-developer-vol-3b-part-2-manual.pdf>. [Último acceso: 30 noviembre 2024].
- [5] A. A.-E. E. C.-O. Ö. E. Jakub Krzywda, «Power-Performance Tradeoffs in Data Center Servers: DVFS, CPU pinning, Horizontal, and Vertical Scaling,» 19 marzo 2024. [En línea]. Available: <https://arxiv.org/html/1903.05488>. [Último acceso: 25 noviembre 2024].
- [6] AMD, «AMD EPYC™ 9004 AND 8004 SERIES CPU POWER MANAGEMENT,» 21 02 2024. [En línea]. Available: <https://www.amd.com/content/dam/amd/en/documents/epyc-business-docs/white-papers/amd-epyc-8004-and-9004-series-cpu-power-management-white-paper.pdf>. [Último acceso: 25 noviembre 2024].
- [7] C. D. J. C. J. V. D. B. J. Caballero E. Pablo, Montaje y Mantenimiento de Sistemas y Componentes Informáticos, Barcelona: Editex, 2022.
- [8] P. S. Sheldon Robert, «RAM (random access memory),» TechTarget, febrero 2024. [En línea]. Available: <https://www.techtarget.com/searchstorage/definicion/RAM-random-access-memory>. [Último acceso: 25 noviembre 2024].
- [9] G. S. Mario, Análisis Forense Informático, Bogotá - Colombia: Ra-ma, 2022.
- [10] M. E. Augusto, Administrador de Servidores, Buenos Aires: Fox Andina, 2011.
- [11] L. J. Prax Guillemin, «GPU computing in medical physics: A review,» 09 mayo 2011. [En línea]. Available: <https://aapm.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1118/1.3578605>. [Último acceso: 2024 noviembre 30].
- [12] Intel, «Why Data Center GPUs Are Essential to Innovation,» Intel, 31 agosto 2023. [En línea]. Available: <https://www.intel.com/content/www/us/en/products/docs/discrete-gpus/data-center-gpu/what-is-data-center-gpu.html>. [Último acceso: 23 noviembre 2024].
- [13] L. Alberto, «Aprende todo sobre las bandas de frecuencia Wi-Fi: 2.4GHz, 5GHz y 6GHz,» 13 noviembre 2024. [En línea]. Available: <https://www.redeszone.net/tutoriales/redes-wifi/bandas-frecuencias-wi-fi/>. [Último acceso: 30 noviembre 2024].
- [14] V. Eugenio y G. Julio, «Introducción a la virtualización,» 2018.
- [15] Intel, «Procesadores Intel Core de 12va Generación para Equipos de Desktop,» 31 agosto 2023. [En línea]. Available: <https://www.intel.la/content/www/xl/es/privacy/intel-privacy-notice.html>. [Último acceso: 30 noviembre 2024].
- [16] Intel, «Running Average Power Limit Energy Reporting SA-00389,» 02 08 2022. [En línea]. Available: <https://developer/articles/technical/software-security-guidance/advisory-guidance/running-average-power-limit-energy-reporting.html>. [Último acceso: 30 noviembre 2024].
- [17] Intel, «12th Generation Intel Core Processors,» 31 agosto 2023. [En línea]. Available: <https://edc.intel.com/content/www/us/en/design/ipla/software-development-platforms/client/platforms/alder-lake-desktop/12th-generation-intel-core-processors-datasheet-volume-1-of-2/009/ddr-electrical-power-gating/>. [Último acceso: 30 noviembre 2024].
- [18] S. Schoffstall, «Los Centros de Revolución

- y Datos de AI: Una nueva frontera en demanda de energía,» Sprott, 12 agosto 2024. [En línea]. Available: <https://www.sprott.com/insights/the-ai-revolution-and-data-center-interventions-2024/>. [Último acceso: 11 octubre 2024].
- [19] M. Rouse, «Techopedia,» Tower Financial Centre, 28 septiembre 2024. [En línea]. Available: <https://www.techopedia.com/es/definicion/procesador>. [Último acceso: 25 noviembre 2024].
- [20] A. C. T. George Contopoulos, «Classical and Bohmian Trajectories in Integrable and, » 24 septiembre 2024. [En línea]. Available: <file:///C:/Users/daniela.robles/Downloads/particles-07-00064.pdf>. [Último acceso: 25 noviembre 2024].
- [21] PRISMECS, «Tecnologías de corte de eficiencia energética en centros de datos,» 12 junio 2024. [En línea]. Available: <https://prismecs.com/blog/energy-efficiency-in-data-centers>. [Último acceso: 25 noviembre 2024].
- [22] M. M. I. Andrés y L. B. J. Antonio, «Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana,» 06 julio 2024. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/28127/4/UPS-GT005508.pdf>. [Último acceso: 30 noviembre 2024].
- [23] A. Raniwala y H. Alissa, «Discusión de exceso de costos en centros de datos refrigerados por inmersión-cooled,» IEEE Xplore, 04 agosto 2021. [En línea]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9499736/footnotes#footnotes>. [Último acceso: 30 noviembre 2024].