

Informe Técnico Resultado del Proyecto de Investigación
“Propuesta de uso de energías limpias para el funcionamiento de centros de datos”

Elaborado por:

Cristian José Hernández Segura

Leonardo Peña Castro

Lidia Jaqueline Pérez Niño

Universidad EAN

Facultad de Ingeniería

Especialización en Gestión de sistemas y tecnologías de información para la empresa

Seminario de investigación

Bogotá

22/11/2024

Tabla de contenido

1. RESUMEN	4
2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	5
3. OBJETIVOS.....	8
3.1. Objetivo general.....	8
3.2. Objetivos específicos	8
4. JUSTIFICACIÓN.....	9
5. MARCO TEÓRICO	11
5.1. Centros de datos	11
5.1.1. Definición centros de datos	11
5.1.2. Clasificación centros de datos	12
5.1.3. Consumo energético centro de datos.....	13
5.2. Energías renovables	13
5.2.1. Energía eólica	14
5.2.2. Energía solar	14
5.2.3. Biomasa como fuente alternativa de energía.....	15
5.3. Zonas potenciales en Colombia para el uso de energías renovables.....	15
6. METODOLOGÍA	20
6.1. Primer nivel.....	20
6.1.1. Enfoque, alcance y diseño de la investigación	20
6.1.2. Definición de variables.....	20
6.1.3. Población y muestra.....	22
6.2. Segundo nivel	23
6.2.1. Selección de métodos o instrumentos para recolección de información	23
6.2.2. Grupo de expertos entrevistados	23
6.2.3. Recopilación de información de los entrevistados	25
6.2.4. Técnicas de análisis de datos.....	25
7. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	27
7.1. Resultados obtenidos	27
7.1.1. Respuestas a entrevistas aplicadas	27
7.1.2. Requerimientos energéticos de un datacenter	30
7.1.3. Tipos de energía a implementar para alimentar datacenter en Colombia	32
7.2. Interpretación de resultados	33
7.2.1. Análisis de Resultados obtenidos	33
7.2.2. Escenarios propuestos para alimentación energética renovable para datacenter	34
8. CONCLUSIONES	43
9. ANEXOS	45
10. LISTA DE REFERENCIAS	47

Tabla de tablas

Tabla 1. Zonas potenciales en Colombia para el uso de energías renovables.....	16
Tabla 2. Perfiles entrevistados.....	24
Tabla 3. Fuentes de energía renovable y su requerimiento energético en las ubicaciones de Colombia.	32
Tabla 4. Ponderación a cada escenario planteado.	37
Tabla 5. Calificación Península de la Guajira.	38
Tabla 6. Calificación Llanos Orientales.....	39
Tabla 7. Calificación cañón del Chicamocha.....	40
Tabla 8. Calificación cercanías a las ciudades.....	41
Tabla 9. Resumen por Ubicación.....	42

Tabla de ilustraciones

Ilustración 1. Pronóstico de energía demandada por tecnologías de información y comunicaciones.....	18
Ilustración 2. Requisitos principales para la implementación de un datacenter.....	27
Ilustración 3. Beneficios principales en el uso de energías renovables en un centro de datos.	28
Ilustración 4. Desafíos principales.	28
Ilustración 5. Impacto ambiental.	29
Ilustración 6. Viabilidad en la implementación.....	29
Ilustración 7. Ubicaciones posibles para la implementación de un centro de datos.	30

1. RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene por objeto validar si una alternativa de suministro de energía limpia, sirve para suplir los requerimientos energéticos de un centro de datos (o datacenter), considerando que el número de estos sitios se está incrementando a diario y que además, tienen una alta demanda de energía debido a la cantidad de equipos que poseen, los cuales funcionan a base de energías no renovables, generando así un mayor impacto al medio ambiente cada día. Lo anterior, pretende llevarse a cabo mediante el desarrollo de una investigación cualitativa de carácter descriptivo, en la cual, mediante la consulta a expertos en el tema, se explorarán y profundizarán las características de los datacenter, así como también de algunas fuentes de energía renovable y consecuentemente, sobre la viabilidad de la alternativa planteada.

Palabras clave: Centro de datos, Fuente de energía renovable, Energía eólica, Energía solar, Energía de la biomasa.

2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Actualmente y con el paso de los días, el mundo ha venido y seguirá cambiando su manera de funcionar, siendo ahora cada vez más rápido y dinámico, además de iniciar una constante migración y evolución hacia entornos digitales, de modo que “El uso cada vez mayor de servicios o aplicaciones en línea ejecutados desde terminales como teléfonos móviles, computadores portátiles o computadores de escritorio, conduce a una necesidad cada vez más grande de instalaciones informáticas, lo que deriva en la construcción de nuevos centros de datos y la ampliación de los existentes. Estos centros de datos generan emisiones de carbono debido a su consumo de energía eléctrica” (Rostirolla, 2022); lo anterior, implica un aumento en la generación de gases de efecto invernadero, teniendo así un impacto considerable en el medio ambiente.

En relación con la necesidad descrita en el párrafo anterior, desde los primeros años de la década 2000-2010, el funcionamiento de los centros de datos se consideró un asunto de interés particular, ya que en su momento consistió en un elemento innovador y se proyectó que “los estimados para 2010, indican que su consumo energético equivale al 1,5% de la electricidad utilizada en todo el planeta” (Goiri, 2015), dejando así ver desde hace años tanto el potencial uso e incremento en la demanda de los centros de datos, como su posible demanda energética, a partir de lo cual se inició una búsqueda continua de nuevas fuentes de energía alternativas, que a la fecha sigue aún vigente.

Dada la importancia de aterrizar las proyecciones y mejorar las tecnologías referenciadas previamente, nunca se dejó de investigar acerca de nuevas fuentes de energía

alternativa y además se integró cada vez una mayor cantidad de variables y situaciones cotidianas que deben enfrentar las personas, empresas y medio ambiente; también, al considerar que la demanda de espacios de almacenamiento aumenta a diario en todo el mundo, continuamente “se realizan enormes esfuerzos para aumentar la capacidad de los centros de datos, lo que genera importantes desafíos eléctricos y ambientales. De hecho, el uso de electricidad de los centros de datos globales en 2020 fue igual a 200-250 TWh, o el 1% del consumo mundial de electricidad” (Gnigba, 2024).

Como consecuencia de lo anterior, grandes empresas de tecnología han encaminado sus esfuerzos hacia la investigación y desarrollo de nuevas alternativas para el suministro eléctrico de los centros de datos; a partir de ello, “Greenpeace ha elaborado un informe medioambiental para estos centros de datos, en el cual aprueba a Google y Facebook, pero señala a Apple, Amazon y Microsoft” (Aldhous, 2012), pues aunque todas las empresas mencionadas han avanzado con desarrollos en el tema de energías alternativas, la brecha entre ellas se considera un poco amplia y Google es la que parece estar a la vanguardia del tema. Como consecuencia de esta búsqueda de fuentes de energía renovable, “Google solicitó patente para un datacenter basado en el mar. En la solicitud de patente se describe un datacenter sobre una plataforma flotante, que obtiene su corriente eléctrica desde las olas del mar (energía undimotriz)” (Reporte Delta, 2008), lo que permite evidenciar una continua y fuerte competencia de los gigantes de tecnología, por el liderazgo en el desarrollo de nuevas fuentes de energía.

Sin embargo, a pesar de los esfuerzos realizados y los logros alcanzados a la fecha, aún queda mucho camino por recorrer, pues el costo de implementar energías alternativas

requiere inversiones altas, por lo que las empresas tienen que tomar la decisión de si les es rentable y están dispuestas a incursionar en un desarrollo de energías alternativas.

Finalmente, tras considerar el continuo incremento diario en el consumo energético de los centros de datos, dado el aumento en la cantidad de éstos, el presente estudio propone validar si: ¿Es posible utilizar energías limpias para el funcionamiento de los centros de datos?

3. OBJETIVOS

Los objetivos planteados para el desarrollo del siguiente trabajo de investigación contemplan un objetivo general y tres (3) específicos que se desprenden de él.

3.1. Objetivo general

Generar una propuesta de uso de energías limpias para el funcionamiento de un centro de datos.

3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar los requerimientos energéticos para el funcionamiento de un centro de datos.
- Caracterizar los tipos de energías alternativas que podrían suplir los requerimientos anteriores.
- Elaborar una propuesta para el uso de energías alternativas seleccionadas, que responda a la necesidad planteada.

4. JUSTIFICACIÓN

La necesidad de generar energías alternativas que permitan disminuir el incremento en la emisión de gases de efecto invernadero, constituye en la actualidad un desafío para muchas universidades, empresas y otras entidades de distintos sectores económicos, las cuales se han volcado a investigar sobre nuevas opciones para suplir las necesidades energéticas de la población en todo el mundo. Para el caso particular de los centros de datos, cobra una gran relevancia el desarrollo de nuevas fuentes de energías alternativas que puedan suplir su demanda energética, toda vez que su consumo es muy elevado y ello conlleva un alto costo, sumado al riesgo de posible desabastecimiento por efectos climáticos, además del impacto medioambiental causado por la emisión de gases de efecto invernadero.

De lo anterior, es posible inferir que se tendrían distintas ventajas a partir de la investigación y desarrollo de energías alternativas para suplir la demanda energética de los centros de datos, pues aparte del beneficio medio ambiental por la reducción en la generación de gases de efecto invernadero, la empresa dueña y/o desarrolladora de la energía generada tendría beneficios económicos considerables por cuenta de la aplicación de un modelo operativo innovador y escalable, que podría cambiar la manera en que se suplen las necesidades energéticas.

Sumado a los beneficios mencionados, también se vería una mejora considerable a nivel social, pues se tendría la posibilidad de extrapolar la generación de energías limpias para centros de datos, a otros ámbitos que podrían impactar positivamente a cualquier

comunidad a donde se llevara energía; por ejemplo, cualquier país que cuente con una ubicación privilegiada, podría generar energías alternativas de bajo costo, lo cual repercutiría principalmente en beneficios económicos y en la posibilidad de generar mayor cantidad de empleos, de conocimiento, de desarrollo, o también, se podría llevar energías limpias a sitios en donde no se cuenta con tendido de redes eléctricas.

Por otra parte, a nivel teórico y metodológico, en caso de tener éxito en la generación de nuevas energías, se podrían establecer condiciones para replicar y/o mejorar el proceso en otros ámbitos, de tal manera que pueda transmitirse este conocimiento a quienes decidan recibirlo y consecuentemente, generarse más energía renovable en distintas locaciones, lo que definitivamente haría dar un salto en las condiciones de vida de la población. Todo lo anterior, conlleva a revalidar la importancia de las energías renovables y la necesidad de generar más, de modo que se protejan los recursos brindados por la naturaleza.

Por las razones anteriores, el presente trabajo de investigación guarda correspondencia con la línea de Desarrollo sostenible del grupo de Gestión ambiental, que se enmarca en el campo de Ciencia, Tecnología e Innovación, en la Universidad EAN, dado que su fin último consiste en explorar y ofrecer alternativas que permitan garantizar el crecimiento y desarrollo sostenido de la industria (en este caso de los centros de datos), soportándose en el uso de energías limpias.

5. MARCO TEÓRICO

5.1. Centros de datos

5.1.1. Definición centros de datos

Un centro de datos es una ubicación física que almacena máquinas de computación y sus equipos de hardware relacionados. Contiene la infraestructura computacional que requieren los sistemas de TI, como servidores, unidades de almacenamiento de datos y equipos de red. Es la instalación física que almacena los datos digitales de cualquier empresa (Amazon, 2023).

Los centros de datos funcionan las 24 horas al día, los 365 días al año. Además, las grandes organizaciones cuentan con centros alternos de datos como parte de su plan de continuidad de negocio. Algunos de estos servidores y centros de datos funcionan con combustible diésel. En 2021, Minos-Athanasios Karyotakis y and Nikos Antonopoulos estimaron que “los almacenes de datos consumen alrededor de 30 mil millones de vatios de electricidad, lo que equivale a la energía proporcionada por 30 plantas de energía nuclear” (p.5).

La ONU comenzó a promover a partir de 2015 la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, que fue adoptado por todos los Estados miembros de la ONU. Incorpora algunos de los principales objetivos de la informática y la cultura verde, como el consumo de energía y que “el progreso económico, social y tecnológico se produce en armonía con la naturaleza” (United Nations Department of Economic and Social Affairs,2020)

Así nace el concepto hosting ecológico como modelo sostenible, cuyo objetivo es reducir significativamente el consumo de energía usada en los servicios de TI mediante la energía eólica y solar.

GreenGeeks es una de las organizaciones que actualmente provee servicios de Hosting ecológico, tiene sedes en ciudades de diferentes países: Phoenix, Chicago, Toronto, Montreal y Ámsterdam ofreciendo plataformas de alojamiento diseñadas para ser energéticamente eficientes. Tienen como promesa de valor multiplicar por tres en forma de energía renovable cada amperio consumido a través de Bonneville Environmental Foundation (Greengeeks, 2020).

Existen normas y leyes que permiten regular y promover el uso de energías alternativas: la corte constitucional mediante la sentencia (C-332, 2014), genera el Estatuto de la Agencia Internacional de Energías Renovables, que se ajusta a la Constitución Política, tanto en su aspecto formal como en su contenido material; la (Ley 1715, 2014) cuyo objetivo es promover la eficiencia y la implementación de energías no convencionales o energías limpias, buscando reducir las emisiones de gases efecto invernadero (GEI).

5.1.2. Clasificación centros de datos

La norma TIA/942 creada por el American National Standards Institute y el Telecommunications Industry Association (ANSI y TIA, por sus siglas en inglés) regula los estándares de calidad para certificación de los centros de datos; a partir de ello, han sido clasificados en las siguientes categorías según su porcentaje de disponibilidad:

- Tier I: tipo más básico de centro de datos, con disponibilidad del 99,671% de tiempo, sensible a paradas planeadas y no planeadas.
- Tier II: tipo medio de centro de datos, con disponibilidad del 99,741% de tiempo, poco sensible a paradas planeadas y no planeadas.
- Tier III: tipo robusto de centro de datos, con una disponibilidad del 99,982% de tiempo, sensible solo a paradas no planeadas.
- Tier IV: tipo más robusto y avanzado de centro de datos, con una disponibilidad del 99,995% de tiempo, logrando manejar sus paradas adecuadamente.

5.1.3. Consumo energético centro de datos

De acuerdo con la información aportada por el experto consultado, el consumo energético mensual promedio de un rack de 42 espacios unitarios, de un centro de datos con clasificación Tier III, ubicado en Bogotá, Colombia, oscila entre 2,5 y 2,8 kVA; sin embargo, es claro que esta cantidad de energía puede variar en función de la ubicación seleccionada, la cantidad de equipos y la configuración de las instalaciones a utilizar

5.2. Energías renovables

Alrededor del 74 % de la energía primaria mundialmente consumida proviene de combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural), o sea, que la mayoría de la energía que consumimos se agotará en poco tiempo, ya que el consumo mundial aumenta un 2 % de media cada año. (Ediciones Canopina, 2023).

Este crecimiento del consumo, que aparentemente parece imparable, se está efectuando a un ritmo tal, que se prevé que en 100 años estos recursos se encuentren agotados (Ediciones Canopina, 2023).

Las fuentes principales de energía primaria no contaminante o renovable son: sol, viento, biomasa, geotérmica, hidráulica, aire y el mar.

5.2.1. Energía eólica

El funcionamiento de los parques eólicos es libre de emisiones de carbono y con ruido limitado.

Cada vez más operadores de centros de datos, como Amazon (Amazon, 2020) con 91 MW planeado en Suecia o Apple (Danko Pete, 2020) con 200 MW en Oregón, recurrir a Acuerdo de Compra Corporativa (CPPA) con parques eólicos conectados a la red asegura el suministro de energía eólica a un precio fijo, pero seguir conectados a la rejilla. Desde otra perspectiva, el proyecto WindCores (Moss, 2018) en Alemania tiene como objetivo instalar pequeños centros de datos dentro de turbinas eólicas, permitiendo que se alimentará en un 92% con energía eólica local.

El desafío de la energía eólica es que los recursos eólicos dependen de la ubicación (y no están cerca del lugar de consumo) y a veces es muy variable, además de una baja densidad energética en cuanto al área utilizada (G. Rostirolla et al, 2022).

5.2.2. Energía solar

La energía fotovoltaica suele ser utilizada para abastecer centros de datos a través de CPPA, ya sea desde grandes empresas de plantas de servicios públicos (100 MW para

Facebook en Nuevo México (Roselund, 2018), 413 MW para Google en Alabama y Tennessee (Ranger, 2019) o desde un gran número de instalaciones fotovoltaicas en tejados (50 MW para Facebook (Bellini, 2018)). La energía eléctrica sufre desafíos similares a los de la energía eólica, especialmente en términos de intermitencia y densidad. Hay varias diferencias, incluyendo baja eficiencia, ausencia de ruido, contaminación visual limitada, radiación solar en todo el mundo (aunque a veces con baja intensidad) y que los patrones diarios de generación se pueden observar por los ciclos día/noche.

5.2.3. Biomasa como fuente alternativa de energía

Esta tecnología corresponde al uso de material orgánico proveniente de animales o plantas para generar calor o electricidad.

Los ejemplos comunes incluyen madera, cultivos, estiércol o desechos humanos. Este material puede quemarse directamente o convertirse en biocombustibles o biogás que a su vez puede almacenarse, transportarse o quemarse (Tewfik SR, 2004).

5.3. Zonas potenciales en Colombia para el uso de energías renovables

Por otro lado, existen documentos que representan herramientas para evaluar las zonas potenciales en Colombia para el uso de energías renovables para el abastecimiento de energía, entre los que se menciona:

Tabla 1. Zonas potenciales en Colombia para el uso de energías renovables

ESTUDIOS MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA	ZONAS POTENCIALES DE IMPLEMENTACIÓN SEGÚN EL TIPO DE ENERGÍA RENOVABLE
<p><i>Atlas de biomasa residual en Colombia</i></p> <p>Evalúa la oferta energética de la biomasa contenida en algunas especies representativas de los sectores agrícola, pecuario y de los residuos sólidos orgánicos</p> <p>(Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia)</p>	<p>El estudio permite evidenciar el potencial energético para los tres sectores, sin embargo, si nos enfocamos en residuos sólidos orgánicos, se presenta un potencial energético en los centros de acopio, mayor en ciudades principales como: Bogotá -35.96 (TJ/año)² con una generación promedio de residuos de 36.912; Medellín -11.70 (TJ/año)² con una generación promedio de residuos de 15.754 y Cali -17.74 (TJ/año)² con una generación promedio de residuos de 19.451</p>
<p><i>Atlas de viento y energía eólica de Colombia</i></p> <p>Representa la distribución espacial del viento en superficie y el potencial eólico en Colombia</p> <p>(Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia, 2006)</p>	<p>En algunos sectores de Colombia prevalecen vientos con intensidades iguales o superiores a 5 m/s y persistentes a lo largo del año. Por lo tanto, existe un buen potencial de energía eólica a lo largo de la península de La Guajira, Isla de San Andrés, sectores de Boyacá y, centro del litoral Caribe en el departamento de Bolívar.</p>

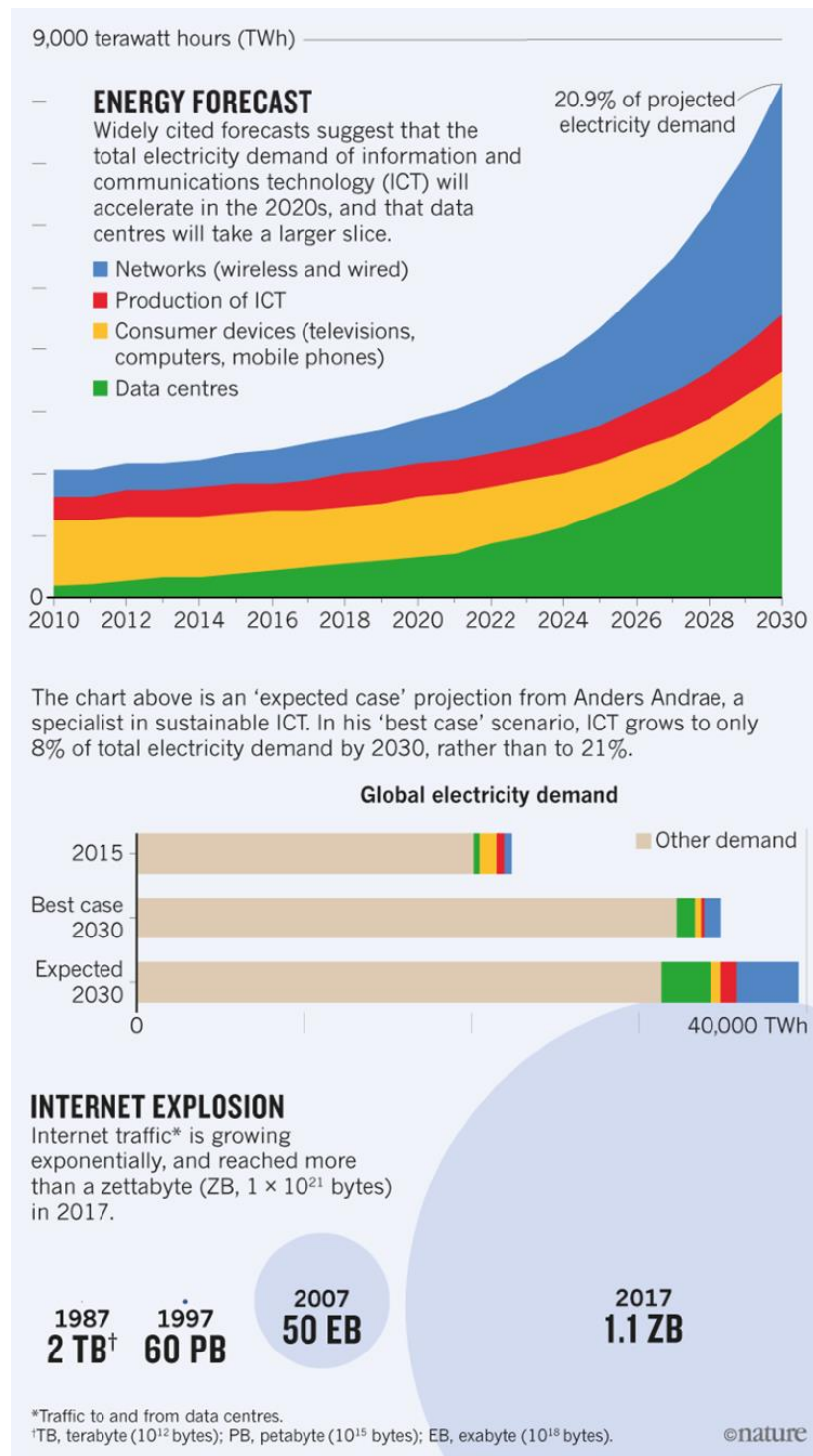
ESTUDIOS MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA	ZONAS POTENCIALES DE IMPLEMENTACIÓN SEGÚN EL TIPO DE ENERGÍA RENOVABLE
<p><i>Atlas de radiación solar en Colombia</i></p> <p>Representa la distribución espacial del potencial energético solar de Colombia</p> <p>(Atlas de Radiación Solar de Colombia,2005)</p>	<p>Colombia tiene un buen potencial energético solar en todo el territorio, con un promedio diario multianual cercano a 4.5kWh/m2 (destacándose la península de la Guajira, con un valor promedio de 6.0kWh/m2 y la Orinoquia, con un valor un poco menor), propicio para un adecuado aprovechamiento.</p>

Fuente: Elaboración propia a partir de información recopilada de los Atlas de biomasa residual en Colombia, Atlas de radiación solar en Colombia y Atlas de viento y energía eólica de Colombia

Aunque el mercado global de centros de datos no ha crecido mucho, ha tenido un impacto notable en países con mercados emergentes y en expansión. Las proyecciones sugieren que el consumo de energía en estos centros de datos podría aumentar entre 3 y 6 veces en comparación con los niveles actuales.

“El consumo de electricidad global estimado de los centros de datos en 2022 fue de 240-340 TWh¹, o alrededor del 1-1,3% de la demanda final mundial de electricidad. Esto excluye la energía utilizada para la minería de criptomonedas, que se estimó en alrededor de 110 TWh en 2022, lo que representa el 0,4% de la demanda anual mundial de electricidad.”

Ilustración 1. Pronóstico de energía demandada por tecnologías de información y comunicaciones



Fuente: Jones, N. (2018). How to stop data centres from gobbling up the world's electricity. *Nature*, 561(7722), 163–

La operación y puesta en marcha de centros de datos están reguladas por diversas normativas eléctricas, tanto internacionales como nacionales. Para asegurar una implementación adecuada y estandarizada, se han desarrollado normas internacionales específicas para el despliegue de estos centros. Además, existen normativas locales que regulan su implementación en cada país. En el caso de Colombia, las normativas relevantes incluyen la ISO 50001 para la gestión de la energía, la IEC 60364 para instalaciones eléctricas en edificios y el RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas) que establece parámetros para la seguridad y eficiencia de las instalaciones eléctricas.

El consumo eléctrico de un centro de datos puede variar significativamente dependiendo de su propósito y la carga de trabajo que maneje. Por ejemplo, un rack en operación normal puede consumir entre 7 y 10 kW, mientras que un rack destinado a proyectos de inteligencia artificial (IA) puede requerir hasta 50 kW. Por esta razón, es crucial garantizar una infraestructura energética capaz de soportar estas demandas, asegurando un suministro eléctrico fiable y suficiente para mantener la operación continua y eficiente del centro de datos.

6. METODOLOGÍA

6.1. Primer nivel

6.1.1. Enfoque, alcance y diseño de la investigación

El enfoque del presente trabajo de investigación es cualitativo, dado que a partir de la revisión realizada desde fuentes secundarias, así como también de la consulta a expertos, se pretende estudiar y validar la posibilidad de alimentar un centro de datos con energías limpias y renovables; de igual manera, el alcance de la investigación es de tipo descriptivo por cuanto se contempla abordar el funcionamiento de los centros de datos y los factores energéticos, tal como se da en la actualidad, para desde ahí, concluir el estudio.

6.1.2. Definición de variables

Al ser este un estudio de tipo cualitativo, las variables fueron consideradas en función de la posibilidad de conseguir mayor cantidad de información que aporte a la comprensión del funcionamiento de los datacenter y el uso de energías renovables. Por lo anterior, se consideraron las siguientes variables cualitativas:

- Equipos necesarios para el funcionamiento de un datacenter: la indagación de esta información tiene por objeto entender cómo es el funcionamiento de un datacenter, cuáles son sus posibles clasificaciones de acuerdo con sus características y cuál es la función cumplida por cada uno de los equipos que lo conforman.

- Infraestructura y servicios requeridos para el funcionamiento de un datacenter: esta información adquiere gran relevancia, al entender que un datacenter no se compone solamente de un conjunto de equipos y periféricos, sino que los anteriores deben ser dispuestos de una manera específica (ambiente, condiciones climáticas y condiciones físicas) en una infraestructura específica, para garantizar su permanente cuidado, adecuado funcionamiento y mantenimiento periódico.
- Demanda energética de un datacenter: a partir de esta información y la de los equipos (registrada en una variable anterior), se pretende realizar una aproximación para determinar cuál sería el posible consumo energético promedio de un datacenter.
- Tipos de energía renovable: a través de esta variable, se pretende identificar, conocer y caracterizar distintos tipos de energías renovables, estableciendo con claridad cuáles son sus fuentes, sus requerimientos de implementación, las ventajas y desventajas de su uso, así como su capacidad de generación para alimentar un datacenter, entre otros.
- Impactos ambientales de la operación de datacenter: este punto es muy importante para validar los diferentes escenarios en los que se podría proponer la alimentación de un datacenter con energías renovables, pues su funcionamiento demanda un gran esfuerzo energético para temas de enfriamiento y esto implica un manejo ambiental para recursos como el agua; adicionalmente, las emisiones de energía en forma de calor, también generan un impacto medioambiental que se pretende dimensionar y tratar adecuadamente durante el presente estudio.

- Posibles ventajas y desventajas del uso de energía renovable en datacenter: a partir de las respuestas emitidas por parte de los expertos consultados, se determinarán y ponderarán diversos criterios para establecer la viabilidad técnica de la propuesta de suplir los requerimientos energéticos de datacenter con energías renovables, así como las especificaciones propias de los diferentes escenarios que se considerarán como conclusión del presente estudio.
- Viabilidad de implementar datacenter alimentado por energía renovable en el país: parte de la viabilidad técnica de los posibles escenarios propuestos para alimentar datacenter con energías renovables en el país, depende de la información obtenida en este apartado; adicional a las características técnicas de los equipos y la infraestructura de datacenter, la geografía y condiciones económicas, sociales, culturales y climáticas (entre otras) del país jugarán un papel fundamental, junto con la opinión de los expertos, dado su conocimiento de todos los elementos anteriores.

6.1.3. Población y muestra

Para el presente estudio, se tomará como marco de referencia un grupo conformado por diferentes personas que son consideradas como expertas en los temas de uso de energías limpias y funcionamiento de datacenter, que atendieron la solicitud de ayuda tras ser contactadas, con base en su formación académica y el tiempo de su experiencia relacionada en el sector y/o con los temas previamente referidos; para este caso, el modelo utilizado, en el cual la muestra está conformada por la totalidad de los sujetos existentes en el ambiente, se le conoce como censo poblacional.

Es decir, esta investigación no se trabajará con una muestra poblacional, sino que debido a la limitación en la consecución de información, se utilizará al grupo conformado por varias personas catalogadas como expertas en los temas previamente indicados, de Energías limpias y Funcionamiento de datacenter.

6.2. Segundo nivel

6.2.1. Selección de métodos o instrumentos para recolección de información

Considerando la poca existencia y disponibilidad de fuentes primarias de información sobre el tema elegido (puntualmente en el país), el estudio se realizará combinando el levantamiento de información con expertos en los temas, a través de la aplicación de entrevistas dirigidas que permitan obtener la información deseada, con la consulta de las fuentes secundarias de información existente.

Por lo anterior y con el objetivo de conseguir de primera mano la información más precisa posible, se optó por realizar una entrevista a los expertos disponibles, de manera que se pudiera indagar por la información puntual que permitiera avanzar el estudio.

6.2.2. Grupo de expertos entrevistados

Durante el desarrollo de la investigación, se logró contactar a varios expertos en los temas objeto del presente estudio, quienes atendieron a la solicitud realizada y respondieron la entrevista anterior. A continuación, se indica el perfil e información relacionada con la experiencia de quienes respondieron la entrevista, de manera que se valide su idoneidad como expertos para pronunciarse acerca del tema.

Caracterización general del Grupo de expertos: en total, respondieron al llamado ocho profesionales con entre 8 y 30 años de experiencia en sectores de infraestructura tecnológica. Todos poseen títulos de posgrado y se incluyeron seis hombres y dos mujeres, con experiencia además en otros sectores, enriqueciendo significativamente el estudio. Su conocimiento se utilizó para validar los requisitos de implementación de datacenter y sus opiniones respecto a alimentarlos con energías limpias.

Tabla 2. Perfiles entrevistados

EXPERTO	PERFIL
Experto 1	<i>Líder de infraestructura de Aval Digital Labs.</i> Ingeniera de sistemas con más de 20 años De experiencia en consultoría empresarial en el área de infraestructura y servicios.
Experto 2	<i>Ingeniero especializado en ciberseguridad Fidubogota.</i> Ingeniero de sistemas con más de 8 años de experiencia en cargos relacionados con infraestructura y ciberseguridad.
Experto 3	<i>Líder especializado en datacenter Fidubogota.</i> Ingeniero de sistemas especializado en infraestructura tecnológica. Cuenta con más de 15 años de experiencia en implementación y mantenimiento de centros de datos.
Experto 4	Magister en gerencia organizacional de Proyectos. Especialista en gerencia de proyectos, ingeniería de telecomunicaciones, tecnólogo en administración de redes de computadores. Cuenta con más de quince años de experiencia en la administración, configuración, diseño, instalación e implementación de redes LAN y WAN. Manejo de dispositivos activos de red CISCO y Fortined.

Experto 5	Ingeniera electricista, especialista en Gerencia de proyectos de tecnología, Investigadora en fuentes de energías renovables, con experiencia de 12 años en implementación de plantas solares.
Experto 6	Ingeniero electrónico, especialista en telecomunicaciones, con experiencia de 8 años en puesta a punto de instalaciones TI y de más de 5 años en docencia.
Expertos 7, 8, 9	Tecnólogos en telecomunicaciones y sistemas, con más de 12 años de experiencia en montaje, mantenimiento y operación de datacenter.

Fuente: Elaboración propia

6.2.3. Recopilación de información de los entrevistados

La entrevista a los expertos se realizó mediante un cuestionario que combinó preguntas abiertas y preguntas de calificación de escala tipo Likert, para conocer tanto el detalle de la información técnica, como una aproximación a una escala numérica de algunas preguntas en las cuales se busca conocer una posición frente a algún tema, más que un tema técnico en particular. Para mayor facilidad, se envió un formulario de Microsoft Forms a los distintos expertos que estuvieron dispuestos a colaborar.

En el Anexo 1. Formulario a expertos. Implementación de Centros de Datos con Energías Renovables se encuentra el detalle de las preguntas realizadas a los entrevistados.

6.2.4. Técnicas de análisis de datos

Con el fin de organizar la información recopilada en el desarrollo de la investigación, se usó un análisis temático para contrastarla con la información del estado del arte. Las seis

fases a través de las cuales se desarrolla el proceso del análisis temático con rigor científico (Braun y Clarke, 2006), son:

- Fase 1: Familiarización con los datos –información–.
- Fase 2: Generación de categorías o códigos iniciales.
- Fase 3: Búsqueda de temas.
- Fase 4: Revisión de temas.
- Fase 5: Definición y denominación de temas.
- Fase 6: Producción del informe final.

Para adaptar el análisis temático a la investigación, se ajustaron las etapas mencionadas a la realidad del contexto; por lo anterior, la metodología del análisis realizado constó de las siguientes etapas:

- Fase 1: Definición de categorías y/o variables (diseño de encuesta).
- Fase 2: Recopilación de información (aplicación de encuesta).
- Fase 3: Contraste de encuestas con estado del arte para las variables definidas.
- Fase 4: Análisis y generación de conclusiones e informe final.

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

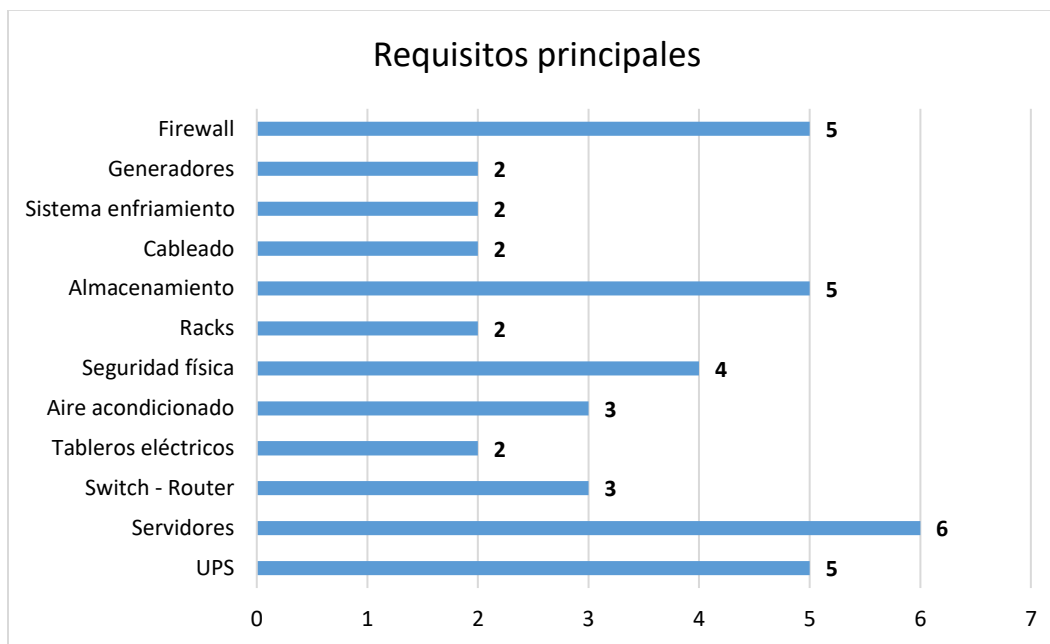
7.1. Resultados obtenidos

7.1.1. Respuestas a entrevistas aplicadas

La información recopilada desde fuentes expertas (Peña, Leonardo et. al, 2024) permitió aterrizar en detalle los mínimos de cada variable definida, para implementar exitosamente un centro de datos; a continuación, se presentan consolidadas para cada variable las respuestas de los expertos.

Los principales requisitos a nivel de equipos, son:

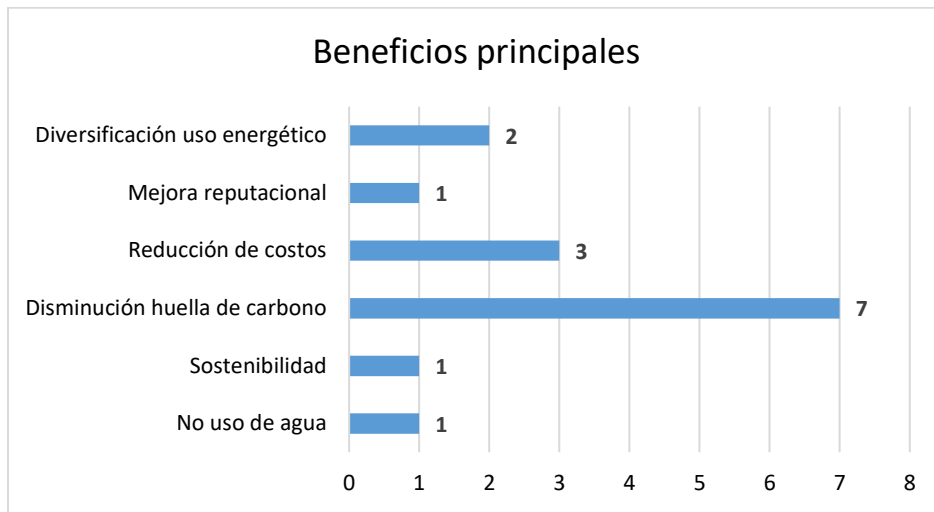
Ilustración 2. Requisitos principales para la implementación de un centro de datos



Fuente: Elaboración propia

A nivel de beneficios percibidos, el ambiental es el principal, seguido del financiero.

Ilustración 3. Beneficios principales en el uso de energías renovables en un centro de datos.

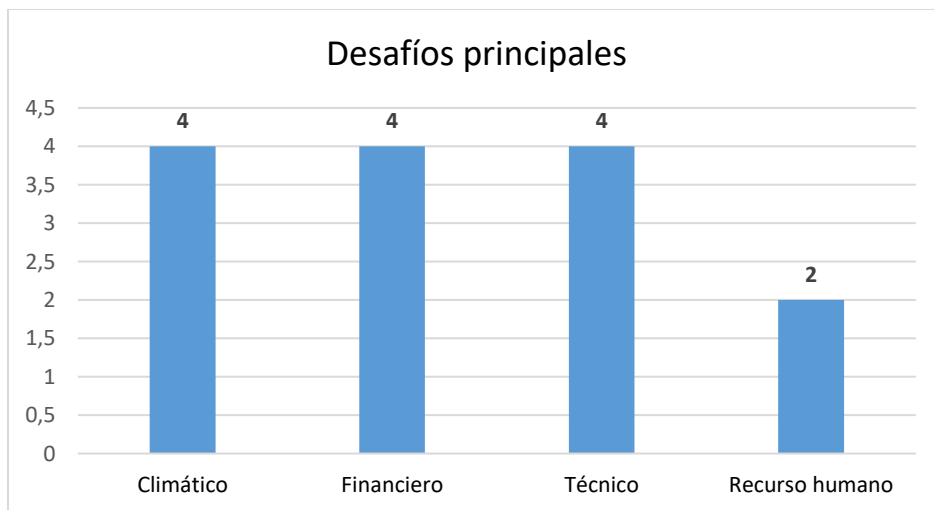


Fuente: Elaboración propia

Los desafíos se resumen en las siguientes categorías:

- Climática: condiciones y disponibilidad de generación de energía
- Financiera: costos para transformar y almacenar la energía
- Técnica: transformación y almacenamiento seguro de electricidad
- Recurso humano: personal calificado para implementación y mantenimiento

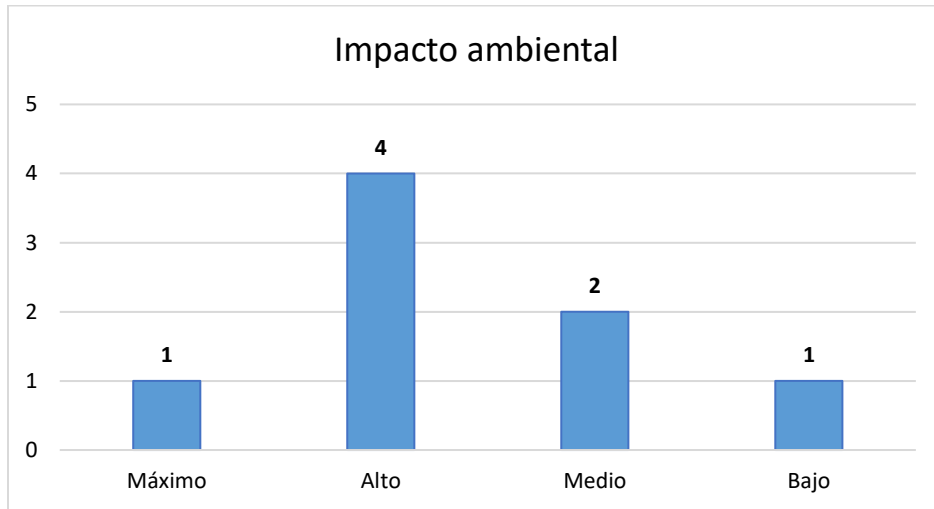
Ilustración 4. Desafíos principales.



Fuente: Elaboración propia

El impacto ambiental desde la opinión de expertos, para un datacenter en las condiciones actuales es:

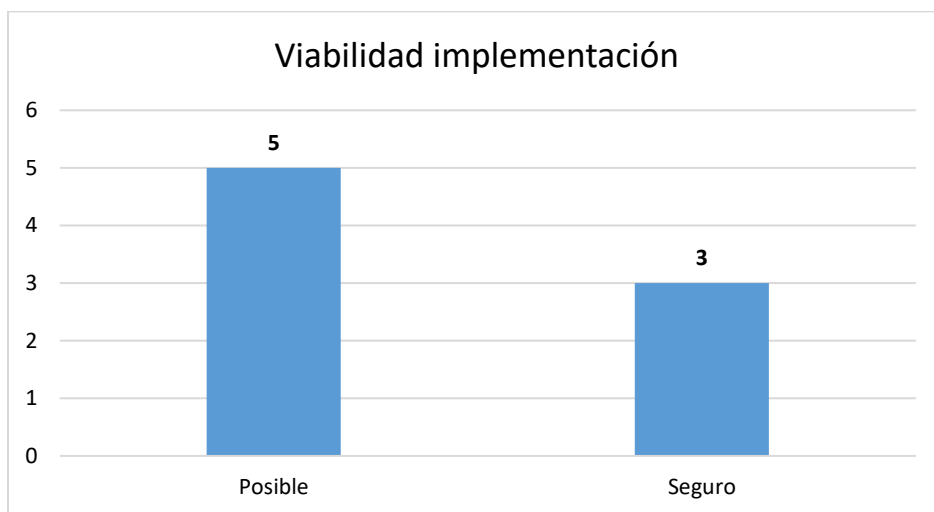
Ilustración 5. Impacto ambiental.



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con el concepto de los expertos consultados, la viabilidad sería:

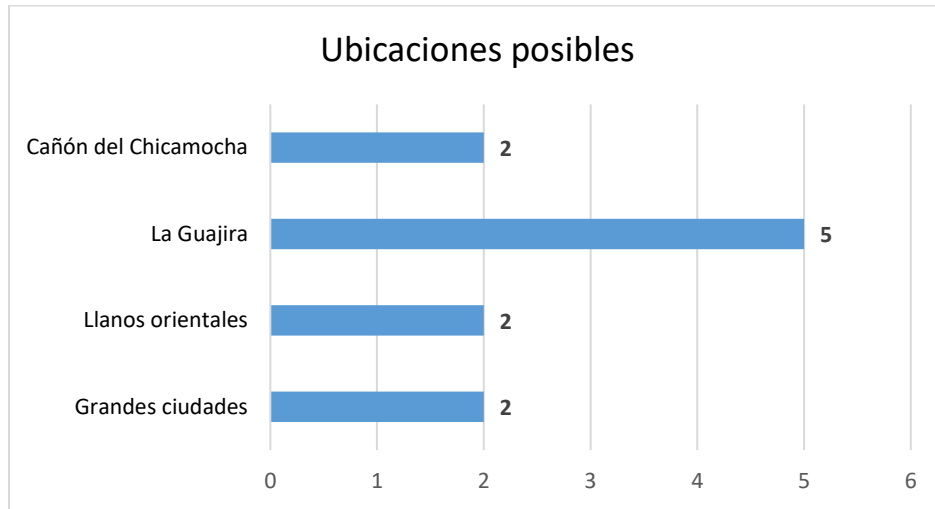
Ilustración 6. Viabilidad en la implementación



Fuente: Elaboración propia

Finalmente, según los expertos, las zonas que por su disponibilidad de recursos energéticos alternativos consideran como atractivas en Colombia son:

Ilustración 7. Ubicaciones posibles para la implementación de un centro de datos.



Fuente: Elaboración propia

7.1.2. Requerimientos energéticos de un datacenter

Para responder al primer objetivo específico del presente estudio, a partir de las fuentes consultadas se calculó el consumo energético diario promedio de un datacenter propuesto, el cual estaría conformado por:

- Equipos de Rack: servidores, sistemas de almacenamiento y equipos de red, que son los principales consumidores de energía, variando según su tipo y modelo.
 - Servidores: pueden consumir 1 kW por unidad.
 - Unidades de almacenamiento: pueden consumir aproximadamente 2kW para un conjunto pequeño de discos.

- Equipos de red: Routers, switches y demás equipos suelen consumir 300 W.

Cálculo para equipos TI: supongamos que el datacenter propuesto tiene:

- 100 servidores Dell PowerEdge R640. Consumo promedio unitario de 1 kW.
- 10 switches Cisco Catalyst 2960-X Series. Consumo promedio unitario de 300 W.
- Dispositivos de almacenamiento, con consumo total aproximado de 10 kW.

De lo anterior, el consumo total sería.

Consumo total = (100 servidores x 1kW) + (10 switches x 300 W) + 10kW = 113kW

- Sistema de enfriamiento: los sistemas de climatización (HVAC) son esenciales para mantener una temperatura óptima en el datacenter y suelen consumir entre el 30% y el 50% del consumo total de los equipos anteriores. Para el caso, con consumo de equipos TI de 113 kW, el sistema de enfriamiento consumiría entre 34 kW (30%) y 56.5 kW (50%).
- Sistema de respaldo de energía: las UPS (Unidades de alimentación ininterrumpida) consumen generalmente entre un 2% y 5% del consumo de los equipos TI, con una eficiencia del 95% al 98%. Si los equipos TI consumen 113 kW, al considerar 3% por la UPS, entonces sería 3.4kW

Sumando los consumos se tendría aproximadamente $113 + 56.5 + 3.4 = 173$ kW/día.

7.1.3. Tipos de energía a implementar para alimentar datacenter en Colombia

En respuesta al segundo objetivo específico planteado, se analizaron diferentes ubicaciones propuestas, validando cual ofrece unas condiciones interesantes para suplir los requerimientos energéticos descritos en el numeral anterior.

Buscando identificar áreas con las mejores condiciones para generar energías renovables, se analizaron diferentes fuentes (mapas de vientos y radiación solar, informes de entidades), obteniendo la siguiente información:

Tabla 3. Fuentes de energía renovable y su requerimiento energético en las ubicaciones de Colombia.

Ubicación	Fuente de energía renovable (promedio diario)			
	Radiación solar (kWh/m ²)	Vel. viento (m/s)	Biomasa * (Ton residuos)	Recursos hídricos
La Guajira	5.5 - 6.5	7 - 15	110 - 115	Medio
Llanos orientales	4.5 - 5.5	3 - 5	600 - 800	Medio
Cañón del Chicamocha	5 - 6	7 - 9	25 -30	Bajo
Grandes ciudades				
Bogotá	4.5 - 5	2 - 5	6.000 - 6.300	No
Medellín	4.5 - 5	2 - 4	1.900 - 2.000	Bajo
Barranquilla	5.5 - 6	5 - 7	1.500 - 1.600	Bajo
Cali	5.5 - 6	2 - 4	2.000 - 2.100	Bajo

Fuente: Elaboración propia

Considerando los datos anteriores, hay áreas con condiciones óptimas para generar diferentes energías renovables. Según datos del Atlas Eólico de Colombia, las zonas con velocidades de viento superiores a los 4 m/s, son ideales para el funcionamiento eficiente de turbinas eólicas; en cuanto a la radiación solar se debe presentar una radiación superior a 4 kWh/m² para que esta pueda ser eficiente; respecto a la biomasa,

aproximadamente solo del 25% al 30% de los residuos sólidos es aprovechable y por último, las fuentes hídricas deben tener un caudal grande para generar energía, pero las disponibles cerca de las ciudades no lo alcanzan.

Sin embargo, se aclara que no es factible depender exclusivamente de un tipo de energía, considerando las características de disponibilidad descritas para estos proyectos. Por ello, diversificar la matriz energética es crucial para garantizar la estabilidad y seguridad energética a largo plazo. El Plan de Expansión de Referencia 2020-2034 de UPME resalta la importancia de integrar energías renovables, para reducir la dependencia de fuentes no renovables y vulnerables a las fluctuaciones del mercado. Incorporar energía renovable, aseguraría electricidad constante y sostenible, además de contribuir a la diversificación energética del país.

En resumen, el uso de recursos energéticos renovables podría ser viable técnicamente y contribuiría a suplir los requerimientos energéticos y de disponibilidad necesarios para el desarrollo sostenible.

7.2. Interpretación de resultados

7.2.1. Análisis de Resultados obtenidos

La información obtenida de los expertos consultados permitió entender más profundamente los retos de implementar un datacenter alimentado por energías renovables en el país. Como principal resultado, destacan la importancia y la dificultad (logística, financiera y otras) de realizar la implementación, necesaria para contribuir con

el cuidado del medio ambiente y enfrentar responsablemente la creciente demanda de estos servicios por parte de las organizaciones públicas y privadas.

Considerando el impacto de implementar la propuesta objeto del estudio, se consideró pertinente generar diferentes escenarios que permitieran dimensionar esta posibilidad desde diferentes regiones, puesto que las diversas condiciones del país ofrecen diferentes opciones para llevar a cabo exitosamente la implementación.

7.2.2. Escenarios propuestos para alimentación energética renovable para datacenter

Para implementar un datacenter alimentado por energías renovables, teniendo en cuenta el estado del arte y la información suministrada por los expertos consultados, se plantearon diferentes escenarios, los cuales pueden ser escalables para aplicarse en centros de datos de diversas magnitudes:

1. Centro de datos híbrido: la energía eléctrica procedente de las redes convencionales se mantendría como la principal fuente de energía, pero se complementaría con una energía alternativa (solar o eólica, previamente capturada y almacenada), de manera que se pueda controlar la disponibilidad energética y así evitar intermitencias o fallas en el suministro. Sin embargo, el principal desafío que podría enfrentar la alternativa híbrida consistiría en tener sistemas avanzados que le permitieran monitorear el suministro energético, para así poderlo equilibrar y usar eficientemente la energía disponible de cada tipo.

2. Centro de datos modulares: la implementación de un diseño modular que permita agregar capacidades de generación de energía renovable en la medida que crece la demanda del servicio y por ende, el uso de equipos, se limitaría por la disponibilidad de energía renovable cerca de su ubicación; adicionalmente, el diseño modular requeriría que la integración de nuevos módulos (a medida que crezca el centro de datos) se realizara de manera eficiente y se adaptara a la infraestructura ya existente para no tener inconvenientes en su funcionamiento.
3. Centros de datos en red (Data centers as a service): en este caso se proveen los servicios de centro de datos por parte de un tercero, mediante el uso de una conexión de red que establece un enlace con instalaciones no propias, que usan energías renovables. Dentro de las ventajas de este esquema se destacan la optimización de costos y la escalabilidad en caso de crecimiento; no obstante, su principal desafío es la dependencia de terceros, pues no se tendría control alguno sobre la disponibilidad y mantenimiento del servicio. A pesar de ello, se ha convertido en una alternativa cada vez más usada; por ejemplo, en Colombia existen empresas como: Celsia (parte del grupo de energía de Colombia), ETB, KUBO e Inalámbrica, las cuales ofrecen este tipo de servicios.

Adicionalmente, las alianzas con entidades públicas y privadas permiten:

- Acceder a información gratuita y financiación especialmente destinada para el sector económico relacionado.

- Promover y lograr incentivos que permitan a empresarios o particulares, agilizar la puesta en marcha de la infraestructura requerida para la implementación, sustentando su aporte a la sostenibilidad.
- Encontrar el apoyo de mano de obra calificada y especializada, en la posible implementación de un datacenter alimentado por energías renovables.
- Promover la investigación y desarrollo del uso eficiente de diferentes energías renovables.

Como consecuencia del estudio realizado, se proponen diferentes escenarios para validar las alternativas para una posible implementación de datacenter alimentado por energías renovables en el país; para ello, se ponderaron diferentes criterios que permitieron analizar en profundidad las diferentes opciones, de manera que se planteen escenarios claros. Los criterios tenidos en cuenta para realizar la ponderación fueron:

- Localización: de ésta se desprenden características que inciden directamente en la posible implementación del datacenter, entre las más importantes se tienen: disponibilidad y costo de servicios (especialmente de la electricidad), así como la facilidad de generación de energías renovables (de acuerdo con la cantidad de radiación solar, flujo de viento, biomasa generada o flujo hídrico).
- Infraestructura física: los equipos y las condiciones de las instalaciones determinan su costo y vida útil, además de las necesidades de mantenimiento que deben solventarse para garantizar la sostenibilidad de la operación.

- Logística: teniendo en cuenta que la operación puede ampliarse (implicando consecución e instalación de nuevos equipos), o requerir visitas de los clientes para realizar auditorías con el fin de revisar el funcionamiento, se espera que sus accesos físicos y cercanía de los centros urbanos sean óptimos.

A partir de los puntos anteriores, se analizó bajo las recomendaciones de los expertos cuál sería la combinación de criterios que permitieran maximizar los beneficios para implementar un datacenter, a partir de la selección de la mejor ubicación. Cabe aclarar que, a partir de la información registrada en los puntos anteriores, cada dimensión incide directamente sobre las finanzas y los costos globales, repercutirían en la implementación; por lo anterior, sin considerar el presupuesto de implementación y enfocándose únicamente en las características técnicas previamente descritas, la ponderación definida para modelar los distintos escenarios es la siguiente:

Tabla 4. Ponderación a cada escenario planteado.

Dimensión	Característica	Porcentaje ponderado
Localización	Cercanía de red eléctrica	15%
	Disponibilidad de servicios	10%
	Costo de servicios	5%
	Facilidad de generación de energía renovable (solar, eólica, biomasa, hídrica)	30%
Infraestructura física	Costo de equipos	10%
	Mantenimiento de equipos	10%
	Adecuación de instalaciones	10%
Logística	Transporte de equipos	5%
	Desplazamiento de clientes	5%

Fuente: Elaboración propia

Ahora bien, para cada posible ubicación que podría ser seleccionada en el país, se realizó el análisis de todos los factores relacionados y la posterior calificación (en escala de 1 a 5, siendo 1 el puntaje de mínimo beneficio o de mayor afectación y 5 el puntaje de máximo máximo o menor afectación) de los criterios anteriores, dando como resultado los siguientes escenarios:

- Península de la Guajira: esta zona, cuenta con la mejor cantidad de radiación solar y fuertes vientos, por lo que para la generación de energías renovables sería la mejor opción; sin embargo, su lejanía de una red estable de servicios públicos, requeriría una mayor inversión en infraestructura para el enfriamiento y el mantenimiento de los equipos, además de elevados costos logísticos para transporte de equipos y desplazamiento de personal.

Tabla 5. Calificación Península de la Guajira.

Dimensión	Característica	Porcentaje ponderado	Calificación	Puntaje total
Localización	Cercanía de red eléctrica	15%	2	0,3
	Disponibilidad de servicios	10%	2	0,2
	Costo de servicios	5%	1	0,05
	Facilidad de generación de energía renovable (solar, eólica, biomasa, hídrica)	30%	5	1,5
Infraestructura física	Costo de equipos	10%	3	0,3
	Mantenimiento de equipos	10%	2	0,2
	Adecuación de instalaciones	10%	2	0,2
Logística	Transporte de equipos	5%	2	0,1
	Desplazamiento de clientes	5%	2	0,1
				2,95

Fuente: Elaboración propia

- Llanos orientales: esta zona tiene una cantidad de radiación solar menor a la de la Guajira, pero considerable para pensar en suplir la necesidad energética de un datacenter; adicionalmente, es necesario considerar las temporadas de estaciones climáticas que podrían afectar la radiación solar, pero también la cercanía a fuentes hídricas y potencial de vientos de la zona. Su distancia de las redes estables de servicios públicos no es tan lejana como en el caso anterior, por lo que el tema logístico podría facilitarse un poco, siempre y cuando factores climáticos y de orden público no afecten el transporte desde y hacia la zona.

Tabla 6. Calificación Llanos Orientales

Dimensión	Característica	Porcentaje ponderado	Calificación	Puntaje total
Localización	Cercanía de red eléctrica	15%	3	0,45
	Disponibilidad de servicios	10%	2	0,2
	Costo de servicios	5%	2	0,1
	Facilidad de generación de energía renovable (solar, eólica, biomasa, hídrica)	30%	4	1,2
Infraestructura física	Costo de equipos	10%	3	0,3
	Mantenimiento de equipos	10%	2	0,2
	Adecuación de instalaciones	10%	2	0,2
Logística	Transporte de equipos	5%	2	0,1
	Desplazamiento de clientes	5%	2	0,1
				2,85

Fuente: Elaboración propia

- Cañón del Chicamocha: tiene buena cantidad de radiación solar y la geografía de la región concentra los vientos con mayor fuerza y velocidad, generando un efecto

de túnel de viento que suma potencial eólico; no obstante, la misma geografía podría dificultar un poco la logística y el establecimiento de una infraestructura adecuada con acceso a servicios públicos estables en la zona.

Tabla 7. Calificación cañón del Chicamocha

Dimensión	Característica	Porcentaje ponderado	Calificación	Puntaje total
Localización	Cercanía de red eléctrica	15%	4	0,6
	Disponibilidad de servicios	10%	2	0,2
	Costo de servicios	5%	2	0,1
	Facilidad de generación de energía renovable (solar, eólica, biomasa, hídrica)	30%	5	1,5
Infraestructura física	Costo de equipos	10%	2	0,2
	Mantenimiento de equipos	10%	2	0,2
	Adecuación de instalaciones	10%	1	0,1
Logística	Transporte de equipos	5%	4	0,2
	Desplazamiento de clientes	5%	4	0,2
				3,3

Fuente: Elaboración propia

- Cercanía de grandes ciudades: las grandes ciudades y sus zonas perimetrales (afueras) como Bogotá, Medellín, Barranquilla y Cali, son grandes generadores de residuos, lo que posibilitaría contar con grandes cantidades de biomasa y utilizarla para generar energías renovables; también, aunque la posibilidad de generar energía desde el viento es menor que en otras regiones, no es nula; en contraste, aunque la radiación solar es buena en estas ubicaciones, faltaría espacio para los paneles solares. Por su cercanía a las redes de servicios públicos estables, estas ubicaciones serían buenas, al igual que para la logística. Sin

embargo, la afectación más grande es la inversión requerida para recolectar y procesar la biomasa, pues tendría que entrarse a revisar, negociar y/o implementar novedades en la recolección y el manejo de los residuos.

Tabla 8. Calificación cercanías a las ciudades

Dimensión	Característica	Porcentaje ponderado	Calificación	Puntaje total
Localización	Cercanía de red eléctrica	15%	5	0,75
	Disponibilidad de servicios	10%	4	0,4
	Costo de servicios	5%	4	0,2
	Facilidad de generación de energía renovable (solar, eólica, biomasa, hídrica)	30%	2	0,6
Infraestructura física	Costo de equipos	10%	3	0,3
	Mantenimiento de equipos	10%	3	0,3
	Adecuación de instalaciones	10%	3	0,3
Logística	Transporte de equipos	5%	5	0,25
	Desplazamiento de clientes	5%	4	0,2
				3,3

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, después de recopilada y consolidada la información aportada por los expertos consultados, desde la teoría se analizaron las diferentes opciones desde una aproximación con un enfoque técnico (de acuerdo con lo indicado en el numeral 6.2.4 de este trabajo), sin considerar los posibles costos de implementación que serían diferentes para cada una de las ubicaciones descritas y que, por supuesto, tendrían un impacto significativo en la decisión final.

Por ello, como respuesta al tercer objetivo específico planteado, se presenta un consolidado de los diferentes escenarios planteados, en el cual se indica la calificación obtenida para cada uno, a partir de la ponderación definida:

Tabla 9. Resumen por Ubicación.

Dimensión	Característica	Porcentaje ponderado	Ubicación			
			La Guajira	Llanos orientales	Cañón del Chicamocha	Grandes ciudades
Localización	Cercanía de red eléctrica	15%	0,3	0,45	0,6	0,75
	Disponibilidad de servicios	10%	0,2	0,2	0,2	0,4
	Costo de servicios	5%	0,05	0,1	0,1	0,2
	Facilidad de generación de energía renovable (solar, eólica, biomasa, hídrica)	30%	1,5	1,2	1,5	0,6
Infraestructura física	Costo de equipos	10%	0,3	0,3	0,2	0,3
	Mantenimiento de equipos	10%	0,2	0,2	0,2	0,3
	Adecuación de instalaciones	10%	0,2	0,2	0,1	0,3
Logística	Transporte de equipos	5%	0,1	0,1	0,2	0,25
	Desplazamiento de clientes	5%	0,1	0,1	0,2	0,2
Puntaje total			2,95	2,85	3,3	3,3

Fuente: Elaboración propia

8. CONCLUSIONES

La idea de implementar en Colombia un datacenter alimentado por energías renovables, enfrenta diferentes desafíos, combinando algunos que pueden ser resueltos con intervención humana, con otros más complejos que por su origen natural, se prevé difícil lograr controlar.

Colombia es un país favorecido por su naturaleza, pues sus condiciones climáticas y geográficas ofrecen un potencial de generación de energías renovables que, de saber aprovecharse, podría ayudar a suplir una parte considerable de la demanda energética del país y no únicamente de datacenter, como se planteó en el presente estudio.

El aprovechamiento de las fuentes de energía renovables en Colombia depende en gran medida de contar con personal calificado, a nivel de mano de obra y a nivel intelectual, de manera que no solamente se cuente con personas capacitadas para implementar su uso, sino también con personal dedicado a la investigación y desarrollo de temas energéticos, logrando así sacar el máximo provecho posible de estas fuentes.

En respuesta al primer objetivo específico, a partir de las fuentes consultadas se calculó el consumo energético diario promedio de un datacenter propuesto, en 173 kW/día; sin embargo, a nivel técnico también se plantean grandes desafíos que deben ser resueltos previamente, tal como lo son la transformación, estabilización y almacenamiento de la energía capturada, así como su transporte y distribución a través de las redes energéticas.

Frente al segundo objetivo específico planteado, se analizaron diferentes ubicaciones en el país, estudiando y caracterizando sus fuentes de energías renovables disponibles, encontrando potencial de radiación solar, fuerza eólica, corrientes hídricas y aprovechamiento de biomasa entre otras; adicionalmente, las fuentes anteriores están disponibles a nivel individual o combinadas, de manera que en prácticamente todo el país se tiene potencial de implementación de estas tecnologías.

Para el tercer objetivo específico, se compararon las ubicaciones que podrían suplir el consumo energético requerido por el datacenter propuesto, para que la decisión final sea tomada al considerar los demás factores no incluidos en este trabajo.

Para efectos de un datacenter, tal como se contempló inicialmente desde el objetivo general de este trabajo, a nivel técnico sería viable realizar la implementación propuesta, siempre y cuando se cuente con el equipo de personal calificado y con recursos financieros considerables; lo anterior, considerando que en la actualidad esta implementación es costosa y sus beneficios financieros no se dan de inmediato.

Adicional al aspecto financiero, en algunos casos también se prevén obstáculos de índole política y/o cultural entre otros, pues en algunas regiones del país hay presencia de comunidades y/o grupos que pueden retrasar o impedir cualquier implementación, generando así riesgos para las personas y empresas interesadas en hacerlo.

Finalmente, este trabajo constituye un punto de partida para futuras investigaciones y/o desarrollos que pretendan materializar las propuestas realizadas, tras lograr superar los desafíos descritos.

9. ANEXOS

Anexo 1. Formulario a expertos. Implementación de Centros de Datos con Energías Renovables

1. ¿Qué tipo de infraestructura y condiciones son esenciales para el funcionamiento eficiente de un centro de datos?
2. ¿Qué equipos y servicios son imprescindibles para la operación de un centro de datos?
3. Desde su perspectiva, ¿cuál es el impacto ambiental asociado a la operación de un centro de datos?
4. En una escala del 1 al 5 (siendo 1 mínimo y 5 máximo), ¿cómo evaluaría el impacto ambiental de un centro de datos en su entorno local?
5. En una escala del 1 al 5 (siendo 1 imposible y 5 seguro), ¿cuál es su opinión sobre la posibilidad de que un centro de datos sea alimentado exclusivamente por energías renovables?
6. ¿Qué beneficios identifica en el uso de energías renovables para la alimentación de un centro de datos?
7. ¿Cuáles serían los principales desafíos o inconvenientes de alimentar un centro de datos con energías renovables?

8. En una escala del 1 al 5 (siendo 1 imposible y 5 seguro), ¿cómo calificaría la viabilidad de implementar un centro de datos alimentado por energías renovables en el país?

9. Desde su experiencia, ¿qué región del país considera más adecuada para establecer un centro de datos que funcione con energías renovables?

10. LISTA DE REFERENCIAS

Íñigo Goiri, Md E. Haque, Kien Le, Ryan Beauchea, Thu D. Nguyen, Jordi Guitart, Jordi Torres, Ricardo Bianchini, Ad Hoc Networks, Volume 25, Part B. Matching renewable energy supply and demand in green datacenters, 2015.

Gnibga, W.E., Blavette, A., Orgerie, A.-C., IEEE Transactions on Sustainable Computing, 9 (3), pp. 315-328. Renewable Energy in Data Centers: The Dilemma of Electrical Grid Dependency and Autonomy Costs, 2024.

Aldhous, Peter. NewScientist, (2012, Abril 25). Recuperado de: <https://www.newscientist.com/article/mg21428625-800-clean-up-the-cloud-making-data-storage-greener/>

Datacenter Flotante, Reporte Delta. (2008, Septiembre 23). Recuperado de: <https://www-proquest-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/newspapers/datacenter-flotante/docview/213913978/se-2?accountid=34925>

Karyotakis, M.A.Antonopoulos, N. Web Communication (2021, Enero 07), A Content Analysis of Green Hosting Companies. Sustainability 2021, 13, 495.

¿Qué es un centro de datos?. (2023). Recuperado de: <https://aws.amazon.com/es/what-is/data-center/>

United Nations Department of Economic and Social Affairs: Sustainable Development. Available online: <https://sdgs.un.org/2030agenda> (accessed on 28 August 2020).

Greengeeks.com. (2020, Agosto 31). Recuperado de: <https://www.greengeeks.com/>

LEY 1715 (2014, 13 de Mayo). Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional. Congreso de la Republica. Diario Oficial 49150.

C-332 (2014, 4 de junio) Estatuto de la agencia internacional de energías renovables. Constitución política.

Ediciones Canopina (2023). Energía solar térmica. Bogotá: Ediciones de la U, <https://www-ebooks7-24-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/?il=29484>

Amazon, 2020. Datacenter Forum. Amazon's first operational wind farm in Europe delivers clean energy to Sweden. Recuperado de: <https://www.aboutamazon.eu/news/sustainability/amazons-first-operational-wind-farm-in-europe-delivers-clean-energy-to-sweden>

Danko Pete (2020). How Oregon projects are helping Apple reach its green goals. Recuperado de: <https://www.bizjournals.com/portland/news/2020/07/21/applesoregon-renewable-energy-projects.html>.

Moss Sebastian (2018). WindCores project deploys small data centers inside wind turbines. <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/windcoresproject-deploys-small-data-centers-inside-wind-turbines/>.

Roselund Christian (2018). New Mexico prepares to approve 100 MW-AC of solar for facebook data centers. <https://www.pv-magazine.com/2018/09/07/newmexico-prepares-to-approve-100-mw-ac-of-solar-for-facebook-data-centers>.

Ranger Steve (2019). Google: 1.6 million solar panels will power these new data centres. 2019, <https://www.zdnet.com/article/google-1-6-million-solar-panelswill-power-these-new-data-centres/>.

Bellini Emiliano (2018). Another Facebook data center goes solar. <https://www.pv-magazine.com/2018/09/18/another-facebook-data-center-goes-solar/>

Tewfik SR (2004). Biomass utilization facilities and biomass processing technologies. *Energy Educ Sci Technol* 2004;14:1–19.

(2006). *Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia*. Disponible en: http://www.upme.gov.co/atlas_viento.htm

(2005) *Atlas de Radiación Solar de Colombia*. Disponible en: <https://repositoriobi.minenergia.gov.co/handle/123456789/2414>

Hernández Hernández, H, Orduz Prada, J, Zapata Lesmes, H, y Duarte Ortega, M. (.). *Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia* /. [Bogotá] : Unidad de Planeación Minero Energética,. URN:ISBN:9789588504599

Frick, T. *Designing for Sustainability: A Guide to Building Greener Digital Products and Services*, 1st ed.; O' Reilly Media: Sebastopol, CA, USA, 2016.

L. Hincapié, “Caracterización, impacto e implementación de las energías alternativas en Colombia en empresas públicas y privadas. Estudio preliminar”, *Inventum*, vol. 13, no. 25, pp. 17-28, julio - diciembre, 2018. doi:10.26620/uniminuto.inventum.13.25.2018. 17-28

G. Rostirolla, L. Grange, T. Minh-Thuyen, P. Stolf, J.M. Pierson, G. Da Costa, G. Baudic, M. Haddad, A. Kassab, J.M. Nicod, L. Philippe, V. Rehn-Sonigo, R. Roche, B. Celik, S. Caux, J. Lecuivre, A survey of challenges and solutions for the integration of renewable energy in datacenters, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 155, 2022, 111787, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111787>.

Rozite, V., Bertoli, E., & Reidenbach, B. (s/f). *Data centres & networks*. IEA. Recuperado el 6 de septiembre de 2024, de <https://www.iea.org/energy-system/buildings/data-centres-and-data-transmission-networks>

DATACENTER UNA MIRADA POR DENTRO (1.a ed.). (2014). [Impresa]. Ediciones Índigo.

Guo, D. (2022). *Data center networking: Network topologies and traffic management in large-scale data centers* (1a ed.). Springer.

Jones, N. (2018). How to stop data centres from gobbling up the world's electricity. *Nature*, 561(7722), 163–166. <https://doi.org/10.1038/d41586-018-06610-y>

Gnibga, W.E., Blavette, A., Orgerie, A.-C. (2024), Renewable Energy in Data Centers: The Dilemma of Electrical Grid Dependency and Autonomy Costs. <https://ieeexplore.ieee.org/document/10227588> IEEE Transactions on Sustainable Computing, 9 (3), pp. 315-328.

Braun, V. y Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3 (2), 77-101. doi:10.1191/1478088706qp063oa

https://www1.upme.gov.co/PlanEnergia/Documents/Plan_Expansion_2020_2034.pdf

<https://repositoriobi.minenergia.gov.co/handle/123456789/2249>

Peña, Leonardo; Pérez, Lidia; Hernandez, Cristian. (2024). Resultados de encuestas a expertos.