

Emisiones de CO2 equivalente generadas por actividades relacionadas a centros de datos en México

Arturo Yehoshuah Germán Totosaus

Resumen

El rápido crecimiento de las tecnologías de comunicación ha conllevado al desarrollo de grandes instalaciones de procesamiento de datos comúnmente denominadas centros de datos. El presente estudio a través de un análisis de coeficientes de localización con datos del Censo Económico 2017 del INEGI, así como del DENUE 2017 identifica la concentración, consumo de energía, consumo de agua y huella de carbono generadas por este sector a nivel nacional en los Estados Unidos Mexicanos. Nuevo León, Jalisco y Monterrey presentan el mayor consumo de energía y agua de este sector. Los niveles de consumo de energía hallados para el sector de centros de datos en México, 1.6% del total nacional, coinciden con los niveles reportados a nivel internacional para este mismo sector. Asimismo, se encontró un nivel de emisiones de CO2 del 0.41% del total generado a nivel nacional lo cual es cercano a lo reportado en otros países. Este estudio busca caracterizar la problemática ambiental que los centros de datos pudieran representar para México en el futuro cercano.

Palabras Clave: centros de datos, coeficiente de localización, huella de carbono.

Clasificación JEL (Journal of Economical Literature): Q52, Q53, Q56, Q58, R58, Y91.

Abstract

The Data Center industry is one of the industries with the highest annual growth worldwide. This industry supplies the intense demand of interconnection developed by our modern technologies and societies. This study identifies the concentration, energy consumption, water consumption and carbon footprint of the data center sector in Mexico using data from

the México Economic Census 2017 by INEGI and data from the DENU 2017. According to this study, regions like Nuevo Leon, Jalisco, and Mexico City, represent the top consumers of energy on the data center sector. This study found that the data center sector in México accounts for an energy consumption of 1.6% and a carbon footprint of 0.41% of the total energy consumption and emissions generated nationwide, this level of participation is similar to the figures reported in international literature. This study aims to provide empirical evidence of the current situation of the data center sector in México and to highlight the possible environmental implications of a deregulated growth in this sector.

Keywords: data centers, location coefficient, carbon footprint.

JEL classification: Q52, Q53, Q56, Q58, R58, Y91.

Introducción

El mundo cada día se hace más y más pequeño, pero no en kilómetros cuadrados de superficie. En realidad, la tierra sigue siendo el mismo punto azul de hace miles de años orbitando alrededor de una estrella en algún lugar de la vía láctea, en algún lugar de universo. Entonces, si esto no ha cambiado, cómo es posible que hoy un mensaje de Europa a América pueda llegar en minutos, o que se tenga acceso a los eventos que pasan en cualquier parte del mundo en cualquier momento en cuestión de horas o a veces tan solo de minutos. Esta impresionante reducción de las distancias se ha dado gracias a una extensa red de conexiones entre centros de datos a nivel mundial que permiten que miles de millones de usuarios se conecten entre sí. Tal desarrollo ha conllevado a un incremento notable en el consumo de energía y agua originado, en parte, por parte de estos centros de datos que trabajan incesantemente. A su vez, debido a la naturaleza actual de la generación de energía y obtención de agua, éstos han contribuido significativamente a la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), así como la afectación de ecosistemas acuáticos y terrestres aledaños a dichos complejos.

México, con sus más de 130 millones de habitantes y su creciente economía se encuentra experimentando los beneficios y desventajas de esta nueva industria. Ante este escenario, se torna relevante indagar sobre la cantidad de emisiones de GEI que se genera en el país para poder diseñar políticas públicas que guíen el crecimiento sustentable en este sector, que, sin duda, continuará desarrollándose no solo para proveer servicios a nivel nacional sino también internacionalmente en múltiples regiones de América Latina.

Este trabajo se estructura en cinco secciones. En la primera, denominada Antecedentes Conceptuales, se presentan los principales conceptos relacionados con centros de datos y las definiciones recuperadas para este trabajo. Posteriormente, se aborda el apartado metodológico del ensayo, lo que incluye la estrategia para delimitar las actividades económicas consideradas como centros de datos, el método de conversión de gasto en energía a CO₂eq, así como se aborda la teoría de análisis regional. Seguidamente, se procede a analizar los resultados de la investigación. En las dos últimas secciones se discuten y abordan las implicaciones de los hallazgos obtenidos.

Antecedentes Conceptuales

Un Centro de Datos (CD) es una edificación no muy distinta a una fábrica, en cuanto a dimensiones y diseño, en la que se procesan y almacenan datos generados por dispositivos electrónicos. IBM (2023) menciona que un centro de datos es un emplazamiento que, en su interior, resguarda equipamiento computacional que es utilizado para desarrollar, implementar y proveer servicios y aplicaciones que requiere de almacenar y gestionar información a través del equipamiento existente en estas instalaciones. Por otro lado, la Oficina de Eficiencia Energética y Energía renovable de los Estados Unidos (Office of Energy, 2007) menciona que un centro de datos es cualquier inmueble que en su interior alberga instrumentos electrónicos que son utilizados para la emisión de información, el resguardo de esta y su tratamiento. Esta estructura, se menciona, puede ser una unidad independiente o una sección de un conjunto de controles y sistemas dedicados a garantizar la operación de este tipo de instrumentos electrónicos. Chayan Sarkar (2010) describe un centro

de datos como un lugar de almacenamiento organizado en el que numerosos servidores procesan y almacenan una gran cantidad de datos y aplicaciones. El autor menciona que el fin principal objetivo de estas instalaciones es el proveer un servicio eficiente e ininterrumpido de administración de información y solicitudes de los usuarios.

Estas definiciones coinciden en que, un CD es un lugar físico en donde se almacena equipo electrónico, en su mayoría servidores, que procesan y guardan información. El tamaño, capacidad de almacenamiento y procesamiento puede variar, por lo que existen varias clasificaciones de los centros de datos dependiendo de sus características. Algunos CD pueden tener infraestructura adicional, como sistemas más elaborados de enfriamiento, que pueden llegar a tener un alto grado de complejidad, sin embargo, las mismas tres características principales que fueron mencionadas anteriormente se mantienen.

De manera específica, un servidor, el principal componente de un CD, es similar en sus componentes a un CPU (Unidad Central de Procesamiento, por sus siglas en inglés) de una computadora de escritorio. Los servidores generalmente están diseñados para mantener una operación ininterrumpida, así como para poder proveer una mayor capacidad de procesamiento y almacenamiento que las computadoras comerciales. Estos servidores, que pueden ir de unos pocos pares a cientos, requieren estar interconectados entre sí a través de cableado local, así como conexión a la red de internet. Durante cada segundo fluyen datos desde y hacia estos recintos. Esta constante e intensa comunicación requiere de equipos avanzados de conectividad para lograr evitar interrupciones del servicio y también requiere de grandes cantidades de energía eléctrica para mantener un nivel de temperatura estable dentro de las instalaciones, así como asegurar el funcionamiento de las actividades anexas a estas actividades. Todo este consumo se traduce en emisiones de energía calórica que, según estimaciones, llegan a alcanzar valores de entre 3.2 y 6.4 MW de calor al año (Huang et al 2019).

De acuerdo con la literatura en el área de la Ingeniería de la Energía, la tendencia actual el consumo de energía de los CD seguirá creciendo en los siguientes años impulsado

particularmente por los altos niveles de conectividad que hemos alcanzado como civilización (Brown et al., 2022). Así mismo, el reciente desarrollo y uso de Inteligencias Artificiales (IA) cada vez más potentes conllevará consigo el uso de cada vez más recursos energéticos y la expansión de los CD a nivel global (Hidalgo, 2022).

Como se ha mencionado, los centros de datos (CD) son intensivos en el uso de energía eléctrica, esto tanto por sus propias operaciones de procesamiento y almacenamiento de información como por el enfriamiento que requieren para mantenerse operando ininterrumpidamente. Esto ha incrementado preocupaciones tanto en el ámbito industrial como en el político alrededor del mundo (John Pflueger, 2010).

En el año 2021 México tenía alrededor de 88 millones de usuarios de internet (INEGI, 2022) lo que lo convierte en un mercado emergente y ávido por servicios de los CD, lo cual se ha reflejado en los últimos años en el establecimiento de centros de datos de los grandes competidores de la industria tales como Azure de Microsoft en Querétaro (Microsoft, 2023), así como Google Cloud en este mismo estado (DataCenter Dynamics, 2023).

El incremento en el consumo de productos y servicios digitales podría aumentar la participación en el consumo de energía por parte de los CD causando que México llegase a niveles de consumo de energía similares a los observados a nivel internacional para este sector, lo cual se encontraría entre el 1.3% de participación en el consumo eléctrico reportado a nivel mundial en 2014 y el 2% reportado para US en el mismo año (Capozzoli & Primiceri, 2015).

De ser esto cierto se estaría colocando a nuestro país en un punto medio entre las zonas de mayor desarrollo en este sector y la media mundial, lo cual indica un claro desarrollo de la industria y un potencial crecimiento que tendería a alcanzar porcentajes de economías como las de Estados Unidos, o incluso, a niveles como los reportados para Irlanda (14%), Dinamarca (7%) o China (3.7%) para el 2022 (Mar Hidalgo, 2022). El porcentaje del crecimiento de este consumo en México se encontrará intrínsecamente relacionado con la digitalización de los medios de comunicación y el desarrollo de nuevas tecnologías de

inmersión digital lo cual generará una mayor demanda de almacenaje y procesamiento que, de no ser regulada en términos de eficiencia energética, conllevaría a una mayor cantidad de energía utilizada (Masanet et al., 2020).

Además, el porcentaje podría incrementar si México es visto como punto logístico para proveer servicio a otras regiones de Latinoamérica, lo cual, por ejemplo justificaría el caso de Irlanda con un 14% de su uso de energía destinado a centros de datos puesto que aunque la población de Irlanda no es tan grande, su clima es idóneo para la localización de centros de datos que proveen servicios internacionalmente puesto que el clima frío de esta región permite reducir los gastos de enfriamiento a los que se enfrentan los CDs en regiones más cálidas.

En este contexto, el intenso consumo también existe una disparidad en cuanto a la utilización de los servicios de almacenamiento y procesamiento en la nube a nivel mundial. El mayor consumo de estos servicios proviene de los países desarrollados, así como de un pequeño número de empresas e instituciones, generando una brecha tanto tecnológica como de contaminación por el uso de estos recursos. Al respecto, Luitse & Denkena (2021) introducen el término “brecha computacional” para hablar sobre las condiciones actuales de la política económica de las IA lo cual incluye las desigualdades en cuanto a la capacidad de desarrollo de nuevos modelos, así como el monopolio de futuros desarrollos. Estas diferencias generan mayor desigualdad tanto en la repartición de los beneficios tecnológicos, así como en la distribución de equitativa de la cantidad de contaminación permitida por las naciones del mundo.

El posible incremento en la participación de los CD en el consumo eléctrico a nivel global es una situación relevante para las metas de reducción de emisiones de GEI a la atmosfera debido a su acelerado crecimiento y su intensidad en el consumo de estos recursos. En 2022, tan solo 11% de la energía fue generada por fuentes renovables a nivel mundial, mientras que en México solo 8.96% de la energía primaria se produjo mediante este tipo de fuentes (Ritchie et al., 2020).

En consecuencia, se puede plantear una relación entre el consumo de energía por parte de los CD y fuentes de energía no renovable para el caso mexicano, debido a la baja proporción de generación de energía renovable. Al respecto, Whitehead et al (2014) estiman que las actividades de los CD generan alrededor del 0.5% del total de emisiones de CO₂ a nivel mundial (Whitehead et al., 2014), tanto por su uso intensivo en agua como por el uso de energía eléctrica. Lo anterior se debe, en gran parte, a la energía destinada para las operaciones diarias de los servidores, pero un gran porcentaje está dedicado al funcionamiento de complejos sistemas de enfriamiento que pueden llegar a representar 40% del consumo total de energía de estas instalaciones (McKinsey & Company, 2023). Estos sistemas se pueden dividir en sistemas de enfriamiento basados en aire, mecánicos/rechazo de calor y basados en líquido. Los sistemas basados en agua son utilizados en los CD de mayor capacidad, debido a que entre mayor cantidad de calor los sistemas basados en aire se vuelven menos eficientes y los que se basan en flujo de líquido se vuelven más atractivos en cuanto a eficiencia en el uso de recursos y en cuanto a mejores resultados. Así, según el comportamiento de los CD propuesto por Ebrahimi et al., (2014), los CD irán creciendo en tamaño y potencia, así como en número, y, por lo tanto, serán necesarios mayor número de sistemas de enfriamiento líquido y con ello el consumo de energía.

En términos ambientales, los CD que cuentan con sistemas de enfriamiento líquidos generan contaminación en el agua de cuatro formas diferentes (Siddik et al., 2021). La primera de ellas es la generada por la producción de energía. En Estados Unidos y en Europa entre 43% y 50% de la extracción de agua es destinada a la producción de energía específicamente para el enfriamiento de las plantas de energía térmica (Connor & Koncagul, 2014). En segundo lugar, el agua tratada que utilizan los CDs tiene que ser transportada de la planta de tratamiento a la ubicación del CD por medio de un sistema de bombeo impulsado por electricidad que, como se ha mencionado, en su mayoría es generada mediante el uso de grandes cantidades agua. En tercer lugar, el agua directamente utilizada en el CD para humidificación o enfriamiento de servidores. Se estima que para enfriar un aumento de temperatura de 1 MW se puede llegar a requerir hasta 18 mil galones de agua (Bash & Tom, 2008). La cuarta forma es la transportación del agua residual utilizada hacia una planta de

tratamiento de agua. Cada una de estas cuatro formas es realizada diariamente ininterrumpidamente para lograr mantener las operaciones de los CD, esto representa un intenso consumo y pérdida de agua tanto en el proceso de generación de la energía como en las pérdidas por contaminación térmica y transportación. Aunado a esto, la contaminación térmica generada por estos procesos es un potencial contaminante de cuerpos de agua o de los ecosistemas aledaños a las instalaciones en donde se procesan estos residuos. Este tipo de contaminación puede fomentar la generación de gases tóxicos bajo las condiciones adecuadas, así como alterar la biota y microbiota de la zona. (Vallero, 2019)

La cantidad, la intensidad de procesos y las consecuencias ambientales de los CD varían regionalmente en el mundo debido a las diferencias en el desarrollo y adopción de tecnologías de la información. Sin embargo, la situación de los centros de datos en tiempos recientes presenta una escala considerable y los datos indican que conforme la adopción de su uso continúe el desarrollo de CD continuará a lo largo de más regiones del mundo.

Para el caso mexicano, en 2018 alrededor de 73 millones de mexicanos (INEGI, 2022) eran usuarios de Internet, dicho indicador aumento 9 puntos porcentuales en 2019. De acuerdo con el Banco Mundial, en 2018 la mitad de la población del mundo se encontró conectada al internet (World Bank Group, 2021). Además, World Bank Group (2021) indica, en una investigación sobre el uso de internet que una cantidad mínima estimada de consumo por persona de datos en internet es de 6 gigabytes (GB) mensuales en donde 660 Megabytes (MB) son utilizados en funciones/usos esenciales y el resto es utilizado en redes sociales. Esto permite estimar que, con base en este dato, en México se consumieron en 2019 alrededor de 750 Petabytes. Esto permite tener un panorama general de la cantidad de datos que podrían ser consumidos y generados en México mensualmente.

La historia del internet y los CD en México inicia desde finales de la década de 1980 impulsado por la comunidad científica y que posteriormente se fue haciendo paso hacia la población dándole acceso a diferentes servicios en la web que ya requerían de servicios de almacenamiento y comunicación (Gloria Koenigsberger, 2014). Los servicios de internet se

irían sofisticando y creciendo a la par del desarrollo del hardware necesario para obtener mayor capacidad de procesamiento de datos. Aunque inicialmente los CD que almacenaban las páginas web y los servicios que se consumían en México no se encontraban dentro del territorio nacional esa situación fue disminuyendo paulatinamente mientras empresas e instituciones a nivel nacional comenzaron a digitalizar parte de sus procesos. En la actualidad, México cuenta con centros de datos de los más grandes competidores del sector como Azure, Google, Amazon, Oracle que ya cuentan o están en proceso de construcción de sus regiones de centros de datos en México, particularmente en el estado de Querétaro lo cual representaría una fuerte carga ecológica para ese estado, así como una gran demanda de servicios de energía y agua (Samanta Escobar, 2023). La Ciudad de México y Jalisco son entidades federativas que albergan o han albergado CD de gran escala. La ubicación de los CD es importante, tanto por cuestiones ambientales como por razones estratégicas como la soberanía de la información (Data Sovereignty)¹.

Marco metodológico

La información para este análisis se obtuvo del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). De manera específica, el Sistema Automatizado de Información Censal (SAIC) en donde se obtuvieron los datos del Censo Económico 2018 que ofrece datos de las unidades económicas para este mismo año. El área geográfica establecida para este estudio fue del territorio total de la República Mexicana, incluyendo todos los estados y municipios. Del censo económico se recuperaron las siguientes variables censales:

1. Consumo de Agua (Millones de pesos)

Esta variable se define como “Es el importe por el consumo de agua suministrada por la red municipal o por pipas, ya sea para el consumo humano o empleada en el proceso productivo” (INEGI, 2018)

¹ Snipp (2016) define “Data Sovereignty” como el manejo de la información de tal forma que este manejo hace sentido con lo establecido por las leyes, costumbres y prácticas de la demarcación política en donde estos son generados. Para una revisión del estado de este concepto, así como las múltiples definiciones que esta toma en diferentes áreas del conocimiento Hummel et al. (2021) presentan una recopilación al respecto.

2. Gasto por Consumo de Energía Eléctrica (Millones de pesos)

Esta variable se define como “Es el valor a costo de adquisición que la unidad económica gastó por la utilización de la energía eléctrica; en caso de autogeneración, impute el costo a precios de mercado” (INEGI, 2018).

Estas variables se implementan para analizar la intensidad de consumo de agua y de energía por parte de las unidades económicas dedicadas a los Centros de Datos. Adicionalmente, se analizan estas variables en función del tamaño de empresa según los estratos establecidos por el propio Censo Económico. El estrato denominado “Estrato no Especificado” se incluye igualmente en este estudio para poder comprender el panorama completo del consumo de Energía y Agua. Este estrato incluye empresas de todos los tamaños, en muchos casos empresas del estrato “251 y más”, que por secreto estadístico no son clasificadas dentro de este grupo.

Delimitación de actividades económicas relacionados con Centros de Datos

El Instituto Federal de Telecomunicaciones presenta un reporte de las condiciones actuales de la industria, descripción de los servicios provistos por los CD y de la infraestructura relacionada a esta industria, sí como menciona las regulaciones y políticas aplicables a este sector. Este reporte denominado “Estudio de Cloud Computing en México” realiza un listado de compañías que ha identificado como proveedoras de servicios de *cloud computing* que pueden ser considerados CD. El IFT recupera 40 empresas de este rubro, en donde se encuentran nombres conocidos como IBM, Google, Rackspace, entre otras, quienes son actores importantes dentro de esta industria (Instituto Federal de Telecomunicaciones, 2020).

Con esta información de los nombres de estas empresas se realizó la búsqueda en el DENUÉ 2018 (Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas) del INEGI. El propósito de esta búsqueda sistematizada fue encontrar los Códigos de Actividad del Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN) relacionados con estas empresas.

Esto permitirá acotar nuestro objeto de investigación a los rubros relacionados con los CD para comprender mejor cuál es la participación de ese sector en la economía nacional, principalmente en el consumo de energía y agua. En el cuadro 1 se muestran las frecuencias de las clases de actividad que se encuentran relacionadas con las empresas enlistadas en el estudio del IFT. La columna “Clase de Actividad” se divide en dos columnas, debido a que cada clase de actividad está relacionada con un código y con un nombre de actividad. A la derecha de la columna “Clase de Actividad” se observan las columnas “Frecuencia” y “porcentaje (%)”. La primera presenta el número de empresas del listado que fueron identificadas con la clase de actividad. La segunda muestra el porcentaje de participación con respecto al total de las 40 empresas. A modo de ejemplo la fila uno, con el código de actividad 517311 y con nombre “Operadores de Servicios de Telecomunicaciones alámbricas”, presentó una frecuencia de 8 empresas en este código de actividad lo cual representa 20% del total de empresas enlistadas por el IFT.

Cuadro 1. Frecuencia de Códigos de Actividad en el Reporte de Empresas Cloud Computing en México

Código	Clase de actividad		Frecuencia	%
	Nombre			
517311	Operadores de servicios de telecomunicaciones alámbricas		8	20%
541510	Servicios de diseño de sistemas de cómputo y servicios relacionados		7	18%
-	No se encontró información al respecto de estas empresas en el DNUE		6	15%
517910	Otros servicios de telecomunicaciones		5	13%
517312	Operadores de servicios de telecomunicaciones inalámbricas		2	5%
518210	Procesamiento electrónico de información, hospedaje y otros servicios relacionados		2	5%
511210	Edición de software y edición de software integrada con la reproducción		2	5%
435411	Comercio al por mayor de mobiliario, equipo y accesorios de cómputo		1	3%
811314	Reparación y mantenimiento de maquinaria y equipo comercial y de servicios		1	3%
541810	Agencias de publicidad		1	3%
435311	Comercio al por mayor de equipo de telecomunicaciones, fotografía y cinematografía		1	3%
541711	Servicios de investigación científica y desarrollo en ciencias naturales y exactas, ingeniería y ciencias de la vida, prestados por el sector privado		1	3%
466212	Comercio al por menor de teléfonos y otros aparatos de comunicación		1	3%
466211	Comercio al por menor de mobiliario, equipo y accesorios de cómputo		1	3%
469110	Comercio al por menor exclusivamente a través de internet, y catálogos impresos, televisión y similares		1	3%
Total			40	100%

Fuente: Elaboración propia con datos del IFT, 2020 y DENUE, INEGI 2020.

Cabe resaltar que, dentro de esta tabla de frecuencias 65% de las compañías investigadas pertenecen a 4 códigos de actividad. El resto de los códigos de actividad solo representan el 35% con una participación de entre 3% y 5% cada código de actividad. Es de notar que no se encontró información acerca de 6 empresas en el DENUE, lo cual representa 15% de la muestra. Para los fines de este estudio se utilizarán los 14 códigos de actividad enlistados en la tabla de frecuencias presentada anteriormente, debido a que todas presentan una relación con Centros de Datos y, por tanto, el excluir alguno de estos podría llevar a excluir cierta participación de los CD en el consumo de recursos.

Cálculo de toneladas de CO2 equivalente emitido por el sector de CD

Una vez delimitadas las actividades económicas, se realiza una estimación indirecta para determinar el nivel de consumo de energía realizado por el sector CD. Por un lado, se implementó la variable “Gasto por Consumo de Energía Eléctrica reportada por las unidades económicas, en combinación con el Factor de Emisión del Sistema Eléctrico Nacional (FESEN) publicado para el año 2018 por la Comisión Reguladora de Energía (2019), el cual fue de 0.527 tCO₂e/MWh (toneladas de CO₂ equivalente por Mega watt-hora). El Intergovernmental Panel on Climate Change (2018) define el CO₂ Equivalente como la “Concentración de bióxido de carbono que podría causar el mismo grado de forzamiento radiativo que una mezcla determinada de bióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero”.

Para poder convertir nuestra variable censal de energía proporcionada por el INEGI al FESEN se utilizó el precio promedio por MWh hora para el sector industrial proporcionado por el Sistema de Información Energética (SIE) (Secretaría de Energía, 2017), el último registro que se tiene disponible es de 2017. De acuerdo con la oficina de eficiencia energética y energía renovable del gobierno de los Estados Unidos de América los CD son de los edificios que mayor consumo por metro cuadrado presentan. En general, su gasto de energía por metro cuadrado puede llegar a ser de entre 10 a 50 veces mayor al consumo promedio de

un edificio comercial (Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, 2023). Con base en esta última afirmación se tomó en cuenta el precio promedio del sector industrial y no únicamente el valor del sector de la gran industria, puesto que, aunque en México existen grandes centros de datos no se puede asegurar que todas las empresas del sector tengan las instalaciones y el equipo para consumir grandes cantidades de energía. Así, el SIE para 2017 establece un precio de \$1,540.82 pesos mexicanos por MWh. Con base en estos datos se realizará la conversión de los resultados a tCO₂e de acuerdo con la siguiente formula:

$$Q_{tCO_2e} = \frac{q_{\$energia}}{P_{SIE}} \cdot FESEN_{2018} \quad (1)$$

En donde Q_{tCO_2e} es la cantidad de tCO₂e calculada para el sector de estudio, $q_{\$energia}$ es la cantidad en pesos reportada en el Censo Económico para los CD, P_{SIE} es el precio promedio por MWh establecido por el SIE para 2017 y $FESEN_{2018}$ es el Factor de Emisiones del Sistema Eléctrico Nacional reportado para el año 2018.

Análisis regional: coeficiente de localización

Desde el punto de economía regional, se implementó el coeficiente de localización. Este permite identificar zonas especializadas en cierta industria gracias a la comparación del porcentaje de participación de una industria a nivel regional en contra de la industria a nivel regional en comparación con el territorio del que forma parte esta región. De acuerdo con Minudri (2020) el coeficiente de localización (QL) tiene cuatro usos básicos:

- Determinar una especialización local o regional.
- Identificar industrias de exportación que se encuentren en riesgo.
- Identificar las industrias de exportación que posee una región.
- Identificar industrias y ocupaciones que se encuentran debajo del punto de equilibrio.

Este coeficiente se calcula mediante la fórmula

$$QL_{ij} = \frac{\frac{x_{ij}}{x_i}}{\frac{x_j}{x}} \quad (2)$$

en donde cada una de las variables representa lo siguiente:

- QL_{ij} este es el coeficiente de localización que se está calculando.
- x_{ij} representa el valor de la variable en la unidad espacial i en el sector de actividad j . En este trabajo sería cada uno de los estados de la república. El sector de actividad es las actividades relacionadas a Centros de Datos.
- x_i Es el valor total de la variable en la unidad espacial i , para este ejercicio sería el número de Unidades Económicas a nivel estatal
- x_j este se define como el valor de la producción de j en el completo de la región. Para este ejercicio serían el numero de UEs relacionadas con CDs a nivel nacional.
- x es el valor total de las variables en todos los sectores en el total regional. El total de UEs a nivel nacional.

Este coeficiente permitirá identificar, a través de aproximaciones geográficas, qué estados presentan cierta especialización en cuanto a la cantidad de UE relacionadas con los CDs, estados en donde el porcentaje de participación del sector CD a nivel estatal sean mayor que el porcentaje de UE de este sector a nivel nacional indicaría una especialización en esta industria. Este mismo método se utilizará para identificar estados con un gasto de energía en CDs superior a la participación de este sector en el gasto de energía nacional.

Resultados

En esta sección se presentan los resultados del análisis descrito en la sección anterior. Con base en la información obtenida se muestra el cuadro 2, en donde se presenta un comparativo

entre lo que representan las actividades de los CD en comparación con todas las actividades para poder calcular la participación de las actividades relacionadas con los CD en los rubros: número de unidades económicas, gasto en agua, gasto en electricidad.

Cuadro 2. UE de CD, total de la economía y su participación porcentual, 2018

	Actividades DC	Todas las Actividades	Participación porcentual de los CD
Unidades Económicas (UE)	51,107	4,800,157	1%
Gasto Agua (Millones de pesos MDP)	\$ 379	\$74,715	0.5%
Gasto Electricidad (MDP)	\$ 5,364	\$332,360	1.6%

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI, 2018.

El Cuadro 2 presenta una imagen en la cual, los CD, en el año 2018, representan 1% del total de unidades económicas a nivel nacional, el 0.5% del gasto de agua y el 1.6% del gasto en energía eléctrica. En el primer punto a resaltar se observa que la cantidad de UE no es equivalente a la cantidad de energía, es decir, un 1% de UE no se traduce en un 1% de energía, sin embargo, para el caso de los CD esta falta de igualdad se denota como un claro indicador de intensidad en el uso de energía. El porcentaje del gasto en energía que realizan las actividades relacionadas con CD en México es coincidente con la literatura internacional de países desarrollados. Siddik et al. (2021) reporta que, en 2014, 1.8% del consumo eléctrico de Estados Unidos es atribuible a los centros de datos de ese país. Por su parte, Capozzoli & Primiceri (2015) mencionan que en 2010 el consumo del sector Centro de Datos representó 1.3% a nivel mundial y 2% del consumo de energía en Estados Unidos. Conforme a estudios más recientes como el del Instituto Español de Estudios Estratégicos (Mar Hidalgo, 2022) en Irlanda los CD representan el 14% del consumo total de electricidad, en China representan el 3.7% del total y en Dinamarca se espera que llegue a representar un 7% del total para el 2025. Ante las tendencias recientes, la participación de los CD en el consumo de energía puede llegar a incrementar en próximos años. Por ende, un punto a desarrollar en posteriores estudios es el seguimiento de este indicador en los CD en México.

En cuanto al consumo de agua, únicamente 0.5% del total nacional es consumido por estas actividades de CDs lo cual no es tan intensivo en comparación con los reportado para la industria eléctrica por Connor & Koncagul (2014) y Capozzoli & Primiceri (2015) mencionan que los sistemas de enfriamiento líquido, en donde se incluyen aquellos que utilizan agua, no son tan eficientes en CD que no poseen equipo de alta densidad en el consumo energético, lo cual está relacionado indiscutiblemente con la capacidad de procesamiento de un CD.

Este indicador puede desagregarse por tamaño de unidad económica. En el Cuadro 3 se presentan los datos de todos los estratos de las actividades relacionadas a Centros de Datos. Para comprender a mayor profundidad cómo se distribuye el gasto en energía y agua se desglosará posteriormente esta información por estratos y por variable censal para elaborar el cuadro 4 y el cuadro 5.

Así mismo, en el cuadro 3 se presenta el número de unidades económicas (UE) relacionadas con los CD por estrato de personal ocupado. Se observa que la mayoría se concentran en el estrato de “0 a 10” y en la categoría “Sin estrato”². En este cuadro el resto de los estratos únicamente representan el 5.9% del total. Dentro de este 5.9% tan solo el 1.4% corresponde a los estratos “51 a 250” y “251 y más” estratos que corresponden a empresas grandes.

Cuadro 3. Número de Unidades Económicas relacionadas con Centros de Datos por Estrato

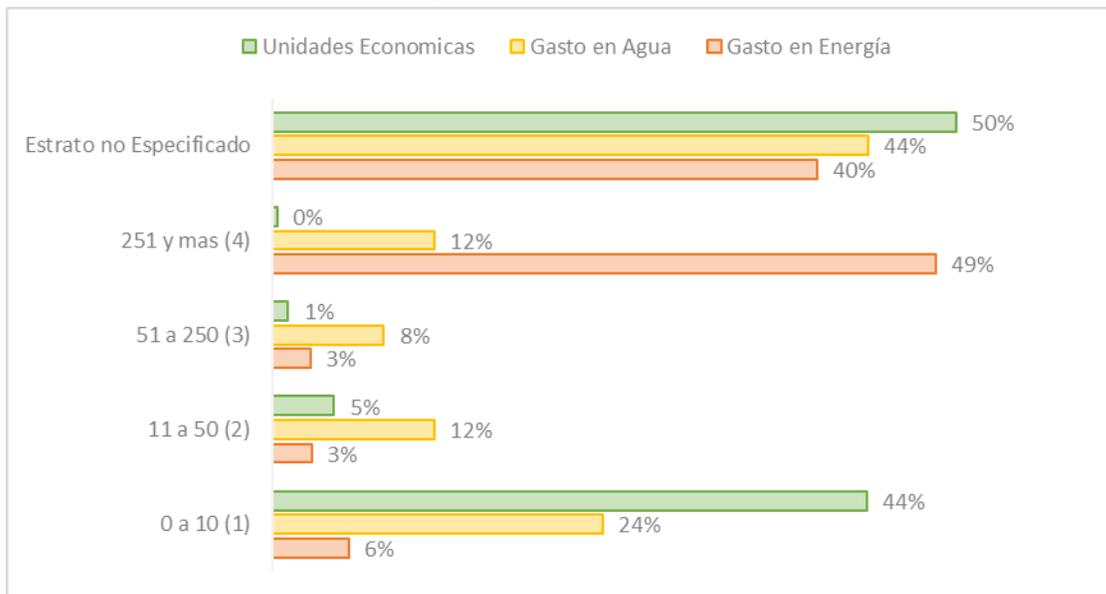
Estrato	Unidades Económicas	% del Total
0 a 10	22,342	44%
11 a 50	2,316	4.5%
51 a 250	584	1%
251 y más	182	0.4%
Estrato no Especificado	25,683	50%
Total	51,107	100%

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI.

² Esta última categoría representa a aquellas UE que debido al secreto estadístico del INEGI no pueden ser identificadas dentro de una de las otras categorías.

Esta distribución a simple vista permite asumir que debido a que en los estratos “51 a 250” y “251 y más” se cuenta con menos UE es probable que también contemos con un menor consumo de agua y de recursos eléctricos en comparación con estratos con una gran cantidad de UE. Para analizar qué tanto están gastando cada uno de los estratos en agua y energía se elaboraron los cuadros 4 y 5, en estas igual se presenta la intensidad de consumo por UE en la columna denominada Gasto por UE la cual se divide el gasto de energía/agua por el número de UE correspondientes a cada estrato presentada anteriormente.

Figura 1. Comparativo Participación de UE, Gasto en Agua y Gasto en Energía por Estrato con Respecto a los Totales de CDs



Fuente: Elaboración propia con información del INEGI.

En la Figura 1 podemos observar la distribución del gasto en energía, gasto en agua y número de UE por estrato. Es notorio que la participación de cada estrato en el gasto muestra que el mayor consumo proviene de aquellas unidades económicas pertenecientes al estrato 4, seguido de cerca por las UE sin estrato, con un 44% y un 40% en gasto en agua y energía respectivamente. En un principio, esto parece mostrar que en realidad las empresas grandes son las responsables del mayor gasto. Para confirmarlo se agregó el eje UE, para poder observar en realidad qué tan intensivas son estas unidades económicas en cuanto al consumo de energía. Recordemos que en la categoría sin estrato se encuentran 25,683 unidades

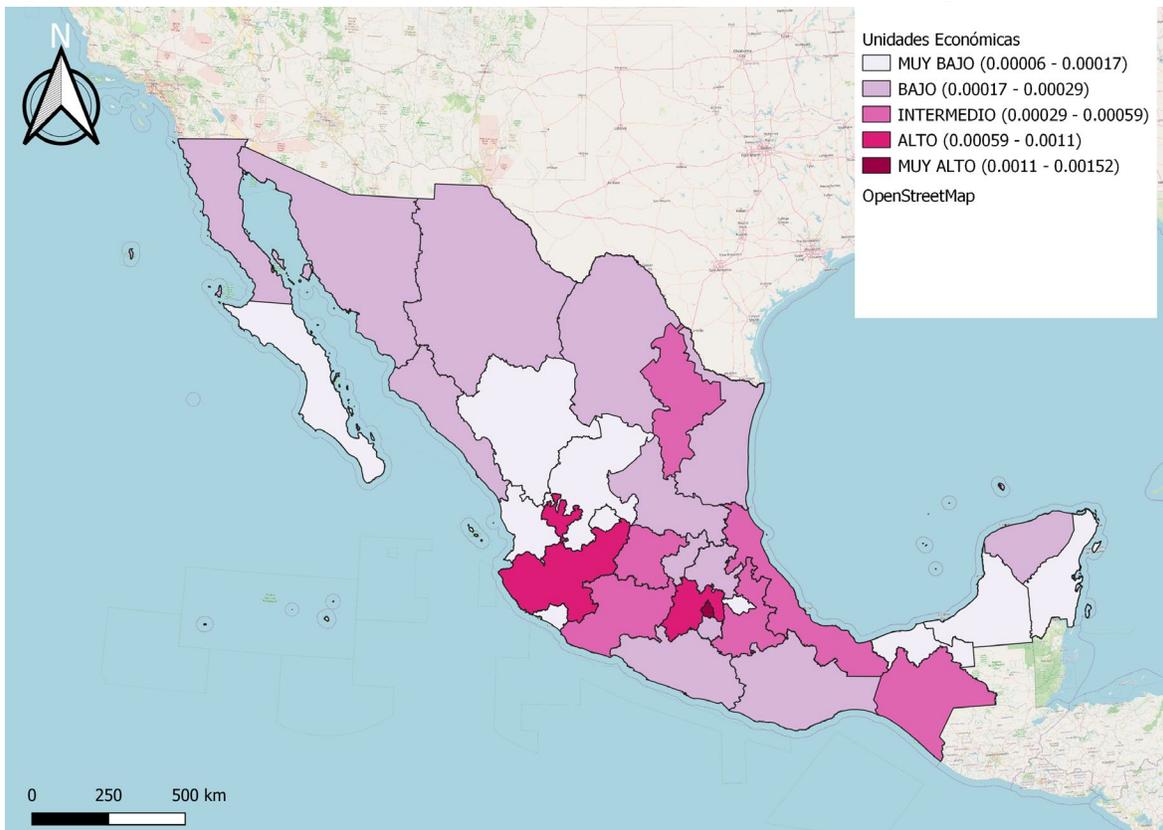
económicas, mientras que en el estrato 4 únicamente se cuentan 182. Lo anterior en conjunto con los porcentajes de participación del Gráfico 1, indican que tan solo el 0.4% de empresas de CD están consumiendo el 49% de la energía dentro de las actividades relacionadas con centros de datos. Cada una de las UE dentro del estrato 4 consume \$14.37 Millones de pesos anualmente en energía eléctrica, mientras que el promedio de gasto de todas las unidades económicas relacionadas con centros de datos es de tan solo \$0.1 Millones de pesos por establecimiento. Es decir, las empresas del estrato 4 consumen 131 veces más que la unidad económica promedio de este sector en México.

En contraste, como se puede observar en la Figura 1, en el consumo de agua se visualiza que la categoría “Estrato no especificado” es la que posee el mayor porcentaje de participación del total del gasto en esta tabla, sin embargo, las empresas grandes y medianas aquí no son las segundas con mayor consumo, en realidad aquí se observa que el estrato 1 es el que mayor gasto hace en agua después de la categoría sin estrato. No obstante, cuando se calcula el gasto por unidad económica se observa, tal como se dio en el gasto de energía, que el gasto por unidad económica sube drásticamente en el estrato 4. En suma, el estrato 3 y 4 consumen \$0.30 Millones de pesos por unidad económica, es decir 43 veces más que el promedio por unidad económica de este sector.

Conforme a los resultados obtenidos en el Figura 1 podemos establecer que, en México, las empresas medianas y grandes (estratos 3 y 4) pertenecientes a actividades económicas relacionadas con los CD representan el 1.4% de las UE relacionadas a este sector de actividad, no obstante, a pesar de su pequeña participación en el total de las UE estos dos estratos representan el 20% del consumo de agua y el 51% del consumo de energía que realizan las unidades económicas relacionadas con CD. Esto se traduce a una intensidad de consumo de energía de \$14.62 MDP por unidad económica y de \$0.30 MDP en consumo de agua por UE. En comparación con el gasto promedio por UE de este sector (\$0.1 para energía y \$0.007 para agua) las empresas grandes y medianas consumen una gran cantidad de estos recursos, a pesar de ser tan pocas.

Ahora que conocemos cuánto consumen, en términos monetarios, estas empresas dentro del sector de CD en cuanto a energía y agua, es importante también comprender cómo se distribuyen a lo largo del territorio nacional. El impacto ambiental que puedan llegar a tener los CD se aumenta en la medida en que se concentran más en una sola región, tanto por la mayor exigencia a los recursos hídricos, como por el aumento de emisión de CO₂ por la mayor generación de energía en zonas cercanas a estos centros, y no solo en zonas cercanas, sino a mayor demanda y por ende producción de energía, siempre y cuando se produzca por fuentes de energía no renovables, genera mayor contaminación. Para poder observar esta distribución de unidades económicas relacionadas con CD, así como la distribución de su gasto en energía y agua en la república mexicana se presenta una aproximación geográfica de la localización de los CD a escala estatal.

Figura 2. Porcentaje de participación estatal de las UE relacionadas con DC con respecto al total nacional

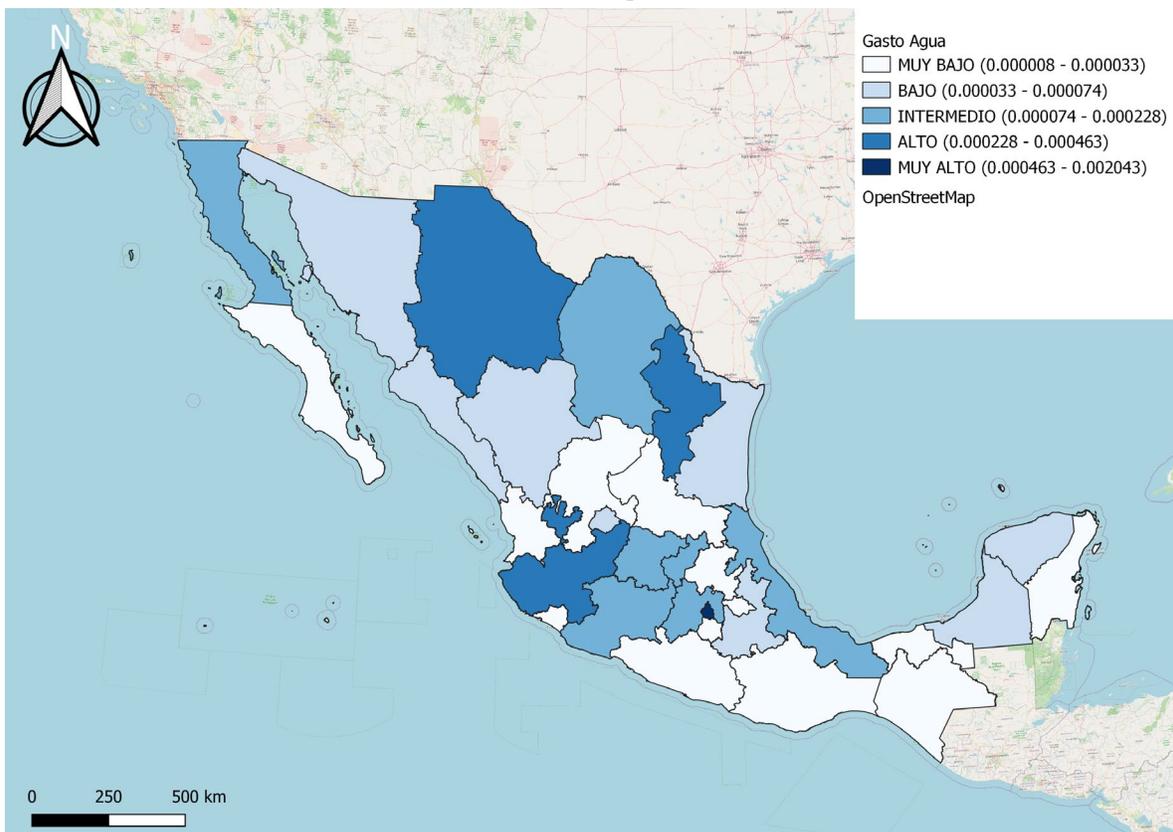


Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI.

Nota: En cada uno de los mapas se establecieron 5 categorías, las cuales fueron determinadas por medio del método de Rupturas Naturales de Jenks.

La Figura 1 presenta qué tanto participa la cantidad de UEs relacionadas a CD de cada estado en comparación con el total nacional de UEs. Se observa una clara concentración en la Ciudad de México con un 0.15% del total de UE a nivel nacional y su zona metropolitana, así como en Jalisco con 0.08%. Entidades de mediana participación se localizan en el Bajío, Nuevo León, Veracruz, Puebla y Chiapas. Este mapa, en una primera instancia, sirve para ir identificar regiones con alta concentración de establecimientos dedicados a actividades relacionadas a CD, sin embargo, debemos de revisar con qué intensidad estas actividades están consumiendo agua y energía en cada estado en particular para tener un mejor criterio para determinar qué estados se están especializando en este rubro de CD.

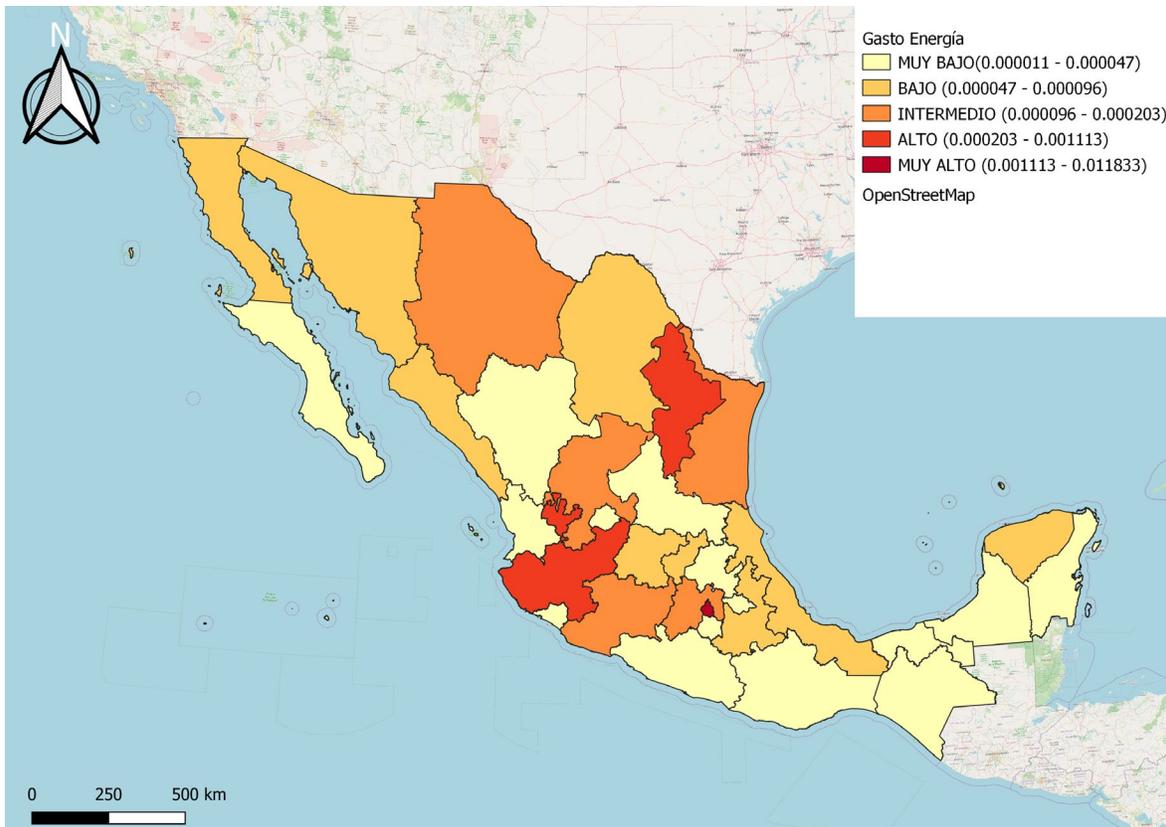
Figura 3. Porcentaje de participación estatal en el consumo de agua de actividades económicas relacionadas con CD con respecto al total nacional



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI.

En la Figura 3, se observa la intensidad del consumo de agua por estado. Ciudad de México al igual que en la Figura 2 es el estado con el porcentaje de consumo de agua más alto. El Estado de México, no se encuentra entre los estados con mayor intensidad en el consumo de agua para actividades relacionadas con CDs lo cual podría ser un indicador de una industria de CD que aún se está consolidando. En cambio, Jalisco presenta una intensidad media-alta consistente con su número de UE. Nuevo León, aunque no presenta una gran cantidad de UE en el consumo de agua se muestra como uno de los grandes consumidores al igual que Chihuahua. El caso de Chihuahua destaca por que en el número de UE se encuentra por debajo de la media, pero se observa que tiene un consumo relevante de recursos hídricos para este sector de actividad.

Figura 4. Porcentaje de participación estatal en el consumo de electricidad de actividades económicas relacionadas con CD con respecto al total nacional



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI.

En cuanto a los recursos eléctricos utilizados por actividades de CD en cada estado se observa a Ciudad de México con la mayor concentración seguido de Jalisco y Nuevo León. Estos 3 estados han sido consistentes en las tres variables analizadas, siendo los de mayor participación, únicamente Nuevo León presenta un número menor de UE de este tipo en comparación con Jalisco o el Estado de México.

El conocer cómo participa cada estado en cada una de las variables permite hacer un segundo filtro para poder ubicar las zonas del país en donde una industria de CD se pudiera estar desarrollando. Debido a que de acuerdo con la literatura revisada los CD son altamente consuntivos en recursos hídricos y eléctricos es posible aplicar este segundo filtro a la información que proporcionan los mapas para poder observar qué entidades poseen actividades dentro de este sector. Nuevo León es un muy buen ejemplo, puesto que, hemos identificado que tiene un número relativamente bajo de UE en CD, sin embargo, su consumo de agua y energía ha reportado tendencias de consumo mayores, lo cual sería un claro indicador de que actividades de CDs se pudieran estar realizando en esta zona.

Con base en los mapas se puede observar que los estados de Ciudad de México, Jalisco y Nuevo León son los estados con mayor consumo tanto de energía como de agua en actividades relacionadas a CDs. Esto no quiere decir que sean los únicos lugares donde hay centros de datos puesto que los mapas permiten ubicar a otros estados que se encuentran en un punto de consumo medio en los que quizás se pueda encontrar CD de menor envergadura o una industria naciente.

Para el año 2018, consideraremos los tres estados antes mencionados como los de mayor consumo nuestro objeto de estudio en este trabajo.

Cuadro 4. Participación de las actividades relacionadas con centros de datos de cada estado con respecto al total nacional para cada una de las variables

Estado	% DC en UE	% DC en Consumo Agua	% DC en Consumo Energía
Jalisco	0.083%	0.038%	0.035%
Ciudad de México	0.15%	0.2%	1.18%
Nuevo León	0.048%	0.046%	0.11%
Total	0.28%	0.29%	1.33%

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI.

Los tres estados a analizar representan poco más de una cuarta parte del total de unidades económicas relacionadas a CDs, sin embargo, representan el 58% del gasto en agua de este sector y el 83% del consumo de energía. Estos datos son un claro indicador de que actividades de alta intensidad en agua y energía se están realizando en estos estados, aunado a que se realizan actividades económicas con cierta relación de CDs podemos determinar que en estos estados existe una concentración de CDs en conjunto representan el 1.33% del total de energía consumida a nivel nacional, cifra coincidente con lo reportado a nivel internacional para CDs (Capozzoli & Primiceri, 2015). La cantidad de agua, consumida por estos estados, aunque es más del 58% de lo que consumen las actividades de CDs a nivel nacional no parece ser un consumo tan intenso, tomando en cuenta que estos estados representan el 0.28% del total de UEs por lo que él un 0.29% del consumo de agua nacional no parece tan elevado.

De acuerdo con el banco mundial, México emitió en 2018 un total de 452,567 Kilotoneladas de CO₂. Tomando en cuenta este parámetro y los datos de emisiones por estado presentados en el cuadro 5 se observa que tan solo los tres estados identificados con especialización en CDs emitieron, por estas actividades, el 0.33% del total de las emisiones de CO₂. A nivel nacional los CDs representaron el 0.41% del total de las emisiones de CO₂, es decir, un 0.09% menos de lo que se estima representan los centros de datos a nivel mundial (Whitehead et al., 2014).

Otra escala de análisis es la participación nacional en el gasto de energía por estrato mostrada en la Figura 1 en conjunto con a los resultados del Cuadro 4, se hablaría de una concentración en la que el 0.4% de las UEs relacionadas con CDs se encuentran consumiendo el 0.6% del

total de la energía a nivel nacional. Conociendo esta dinámica en el consumo de energía podemos generar algunas aproximaciones utilizando la *Fórmula 1*, expuesta en el apartado metodológico, de tal forma que se podría identificar la intensidad de generación de emisiones por parte de estas UEs.

En el cuadro 5 se presenta el gasto de energía proveniente de CD en cada estado junto con el total nacional. Asimismo, se presentan las columnas kilowatt hora, mega watt hora y toneladas de CO2 equivalentes emitidos por el consumo de esa cantidad de energía en México.

Cuadro 5. Conversión de Gasto Eléctrico a tCO2e por Estado y Total Nacional solo para CD

Estado	Gasto en Electricidad (MDP)	Kilowatts Hora (millones)	Mega Watts Hora (1 Mwh = 1,000 Kwh) en Millones	Millones de tCO2e emitidos
Ciudad de México	\$3,933	2,552	2.55	1.34
Jalisco	\$118	76	0.076	0.040
Nuevo León	\$370	240	0.240	0.126
Total ³	\$4,421	2,869	2.87	1.51
Total, Nacional	\$5,364	3,481	3.48	1.83

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI.

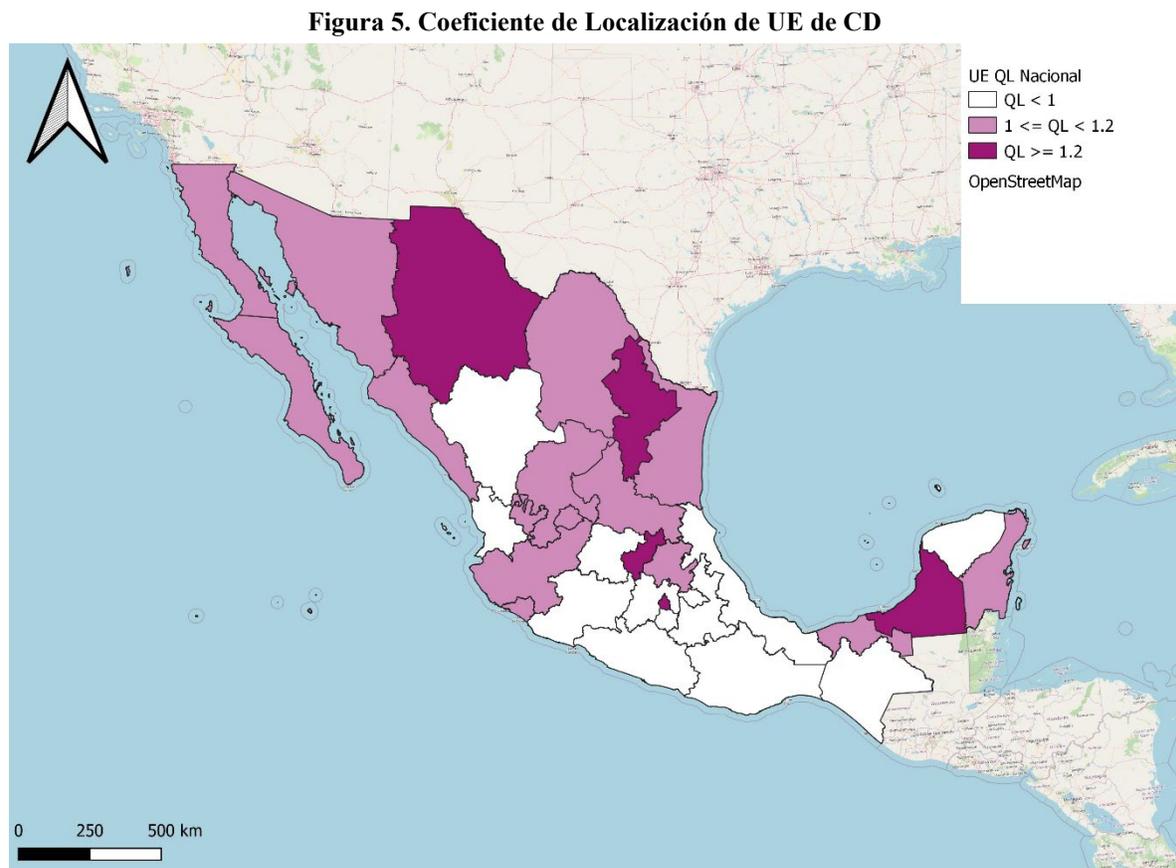
Nota: el total es la suma de los tres estados analizados

El Cuadro 5 presenta el gasto en electricidad, así como las conversiones realizadas para obtener la cantidad de CO2e utilizando la *Fórmula 1*. Es claro que la mayor cantidad de emisiones en este sector provienen de la Ciudad de México, tanto en comparación con los otros dos estados como a nivel nacional puesto que representa más del 70% de las emisiones del sector de CD en ambas categorías. Esto representa una alta concentración de las emisiones en una sola urbe que potencialmente genera numerosas externalidades negativas para las zonas aledañas.

³ Total, es el resultado de la suma de las cantidades de los tres estados estudiados.

Resultados del análisis del coeficiente de localización

Para el análisis geográfico de la distribución de las UE relacionadas con CD en la República Mexicana, así como la distribución de su consumo de energía y agua en cada uno de los Estados de la República, se realizó un análisis visual de esta distribución. La Figura 5 aborda los UE relacionadas con CD presentando el QL para cada estado.



Fuente: Elaboración propia con información del INEGI.

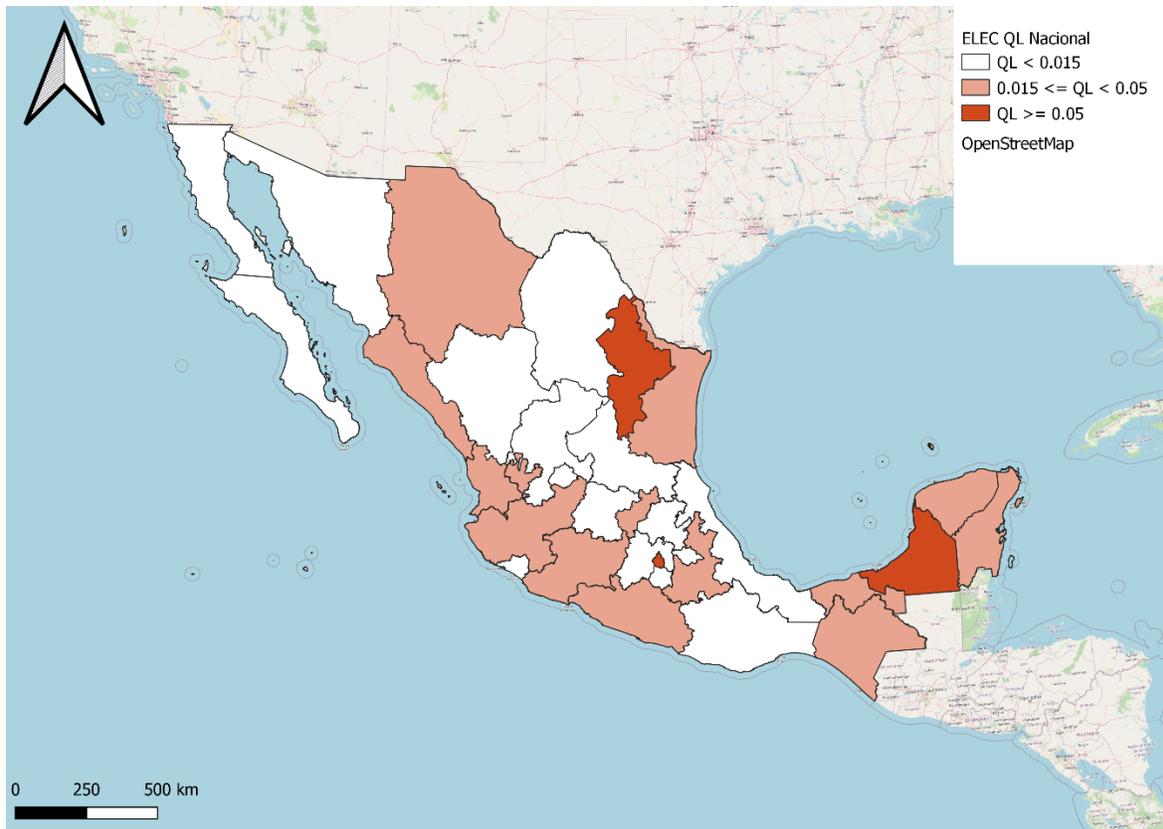
Como podemos observar en los niveles de color de la esquina superior derecha, los coeficientes van de $QL < 1$ a $QL \geq 1.2$, siendo este último el coeficiente de mayor especialización. En el mapa de la república se observa que las zonas con los coeficientes de localización más altos se encuentran en los estados de Ciudad de México, Querétaro, Campeche y Nuevo León. Esto quiere decir que en estos tres estados son los que tienen mayor

porcentaje de UEs de CDs con respecto a el porcentaje de UEs relacionadas con CDs a nivel nacional. Estos niveles de especialización en estos estados hacen un claro sentido, con excepción del estado de Campeche, puesto que en estos estados es donde se han establecido las grandes compañías tecnológicas, no obstante, se denota la ausencia de Jalisco en este nivel de alta especialización puesto que este último estado también es conocido por su amplio desarrollo en la industria tecnológica, aunque no necesariamente en CD. En contraste con los resultados de la Figura 2 la Figura 5 presenta los resultados del coeficiente de localización el cual, como se explicó anteriormente, compara las concentraciones a nivel estatal de un sector en específico con las concentraciones a nivel nacional de este mismo sector. Por ende, es natural que se observan diferentes resultados a aquellos presentados en la Figura 2 que únicamente abordaban el porcentaje de consumo de energía del sector CD en comparación con el total consumido a nivel nacional por los CD. Esto para entidades como Campeche o Querétaro implicaría que la concentración porcentual de CD en estos estados con respecto a su total de UE es mayor que el nacional. En Campeche esto puede ser debido a la ubicación de operaciones marítimas relacionadas con la extracción de petróleo que requieren de los servicios de los CDs. En Querétaro este alto QL estaría relacionado con una industria de CD naciente que aún no alcanza altos niveles de consumo de energía y agua observados en otros estados del territorio nacional pero que representa un importante sector en Querétaro en cuanto a número de empresas.

En el segundo grado de mayor especialización se encuentran estados fronterizos, tanto de la frontera norte tanto como de nuestra frontera sur. Tamaulipas, Coahuila, Chihuahua y Baja California en la frontera norte, mientras Tabasco y Quintana Roo destacan por la parte sur de nuestro país. No se observa una clara especialización en una región en particular del país, la zona fronteriza norte sería la única con un mayor grado de especialización en conjunto al igual que la zona Ciudad de México-Querétaro. Casos como el de Tabasco, Campeche y Quintana Roo se salen de la regla puesto que son estados no necesariamente enfocados en una industria de tecnologías de la información, sino que por el contrario se encuentran quizás más especializados en la extracción de petróleo por un lado y por el otro en el turismo, sin embargo, estas industrias también requieren de los servicios de los CDs para diferentes

procesos y probablemente esto ha generado que se desarrolle una industria mediana en estas poblaciones que se enfoca en el procesamiento de datos. Sin embargo, es de vital importancia indagar también en la distribución del coeficiente de localización aplicado al consumo de energía de CDs en México, puesto que estos permitirán observar si existe una correlación entre el número de actividades económicas relacionadas con UEs y con un alto grado de consumo de energía lo cual revelaría que efectivamente en esos estados se está realizando una actividad de procesamiento y almacenamiento de datos.

Figura 6. Coeficiente de Localización de Consumo de Electricidad de CD



Fuente: Elaboración propia con información del INEGI.

Esta Figura 6 revela aún más detalles sobre la especialización en el consumo de energía de los CDs a lo largo del país, si bien el Figura 5 presentó una primera imagen de en donde las UEs relacionadas con centros de datos se están concentrando es verdad que no necesariamente todas estas UEs son centros de datos, por lo que al agregar el coeficiente de

localización para el consumo de energía en UEs de CDs permite identificar en cuales estados son en los que se localizan estos UEs más enfocados en los procesos conocidos para los CDs. Se observa una dominancia clara de estados como Ciudad de México y Nuevo León, no obstante, igual aparecen actores que anteriormente no habían aparecido como Michoacán que en el Figura 5 mostro una especialización baja en cuanto a número de UEs pero muestra un alto consumo de energía en comparación con el porcentaje de participación de este sector a nivel nacional. Campeche mantiene su relevancia, al igual que la muestra en el Figura 5, lo que sin duda está altamente relacionado con las actividades de PEMEX en la sonda de Campeche. La Ciudad de México, como se puede observar, es la zona en que se da el mayor consumo siendo este 4.4 veces superior al consumo nacional de este sector, por lo que tan solo esta región está consumiendo el 1.1% del total nacional, lo cual por sí solo está muy cercano al consumo mundial de energía que realizaron los centros de datos en 2010 de acuerdo con Capozzoli & Primiceri (2015) que fue de 1.3%, lo cual indicaría que en México la concentración de centros del consumo de energía relacionados con centros de datos se encontraría en regiones bastante pequeñas, en general en las zonas metropolitanas más relevantes del país. Por otro lado, siguiendo a estos estados de alto consumo de energía se encuentran estados como Sinaloa, Yucatán, Quintana Roo, Chiapas y Guadalajara con un grado de especialización en el consumo de energía para CDs medio.

Discusión

Los resultados obtenidos muestran una imagen similar a la reportada por la literatura al respecto de los CD, sin embargo, es claro que la industria de CD en México se encuentra concentrada en tres zonas del país, aunque principalmente en la Ciudad de México que reporta para CD un consumo del 1.18% del total de la energía consumida a nivel nacional. Esta alta concentración aunado a una emisión de 1.34 Mt de CO₂e son un claro indicador de una especialización en esta área de la industria de tecnologías de la información, pero también es un indicador alarmante puesto que es una gran cantidad de emisiones y energía utilizadas en un área bastante pequeña. De acuerdo con el Inventario de Emisiones de la Zona

Metropolitana del Valle de México (Dirección de General Calidad del Aire, 2018), que incluye la Ciudad de México y otros municipios aledaños que conforman esta urbe, las emisiones por Fuentes Puntuales⁴ correspondieron a 14.23 Mt de CO₂e lo que colocaría a los CD como el origen del 9% del de las emisiones por fuentes puntuales en la ZMVM, lo cual es incluso más alto que lo reportado por los países con mayor grado de especialización en CD que México. No obstante, debido a que para el cálculo de las emisiones de centros de datos en este estudio la cantidad de energía es el principal indicador utilizado es probable que la contaminación de la generación de esta energía no sea capturada como una fuente puntual dentro de la Ciudad de México puesto que numerosas plantas de generación eléctrica se encuentran en ciudades aledañas a la capital e incluso en diferentes estados por lo cual la estimación anterior se encuentra potencialmente sesgada aunque permite contextualizar la cantidad de emisiones generadas.

Esta situación, de alta participación en las emisiones, es probable que se repita a menor escala, hablando acerca de la cantidad de emisiones de CO₂e, en Jalisco y Nuevo León. Sin embargo, tomando en cuenta la cantidad de agua que es utilizada para la generación de electricidad es claro que estas zonas incluida la CDMX son zonas del país bajo un alto estrés hídrico por lo que esto agrega un mayor grado de complejidad a la problemática de esta industria en estos tres estados. Por otro lado, la cantidad de agua utilizadas por empresas de CD identificada en el Cuadro 4 deja ver que la cantidad de agua directamente utilizada por los centros de datos es en cantidad menor que lo reportado por otros autores, esto debido a que México al no tener tantos centros de datos y al no tener una capacidad de procesamiento tan elevada es probable que los sistemas de enfriamiento por los que se ha optado en nuestro país aún no han sido en su mayoría basados en la transferencia calórica a través de agua. Además, la contaminación calórica generada por estas instalaciones que, aunque como se ha enfatizado, no se enfocan en una contaminación calórica del agua sí que pueden estar afectando los microclimas de las

⁴ Una fuente puntual, de acuerdo con la Secretaría de Medio Ambiente (SEDEMA, 2018) de la Ciudad de México son aquellas infraestructuras no móviles en las que se realizan procesos u operaciones del sector secundario y terciario; dicho funcionamiento genera emisiones de gases de efecto invernadero.

zonas en donde los CDs se localizan y con ello llegar a afectar la biodiversidad, así como los asentamientos humanos aledaños a esta ubicación geográfica.

Es así como la problemática en cuanto al consumo de energía es la más significativa que se genera por este sector industrial contemporáneo y que los métodos de generación de la energía impactan significativamente la generación de emisiones por parte de este sector. Los resultados obtenidos en cuanto a consumo de energía siguen lo encontrado por la literatura internacional puesto que, con el 1.6% calculado, México se encuentra dentro del rango entre lo reportado como media mundial (1.3%) y lo reportado para Estados Unidos por Capozzoli & Primiceri (2015). Sin embargo, además de Siddik et al. (2021), el análisis geográfico de la problemática ambiental generada por los centros de datos es limitada e incluso en Siddik et al. (2021) la concentración del sector de centros de datos no está claramente abordada aunque las aportaciones en cuanto al análisis de zonas de alta contaminación, estrés hídrico y contaminación del agua son relevantes y su uso en conjunto con un análisis espacial como el utilizado en este ensayo permitiría diseñar políticas y normativas que permitan el desarrollo de este sector buscando reducir su impacto ambiental.

En el mismo tenor de este último punto, otra área que pudiera ser abordada en futuras investigaciones es como los resultados del presente estudio impactan la estimación de la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2022) establecidas por México. Entre sus estrategias el NDC plantea el aumento del teletrabajo como una opción para reducir las emisiones generadas. Debido a la necesidad de contar con infraestructura y servicios provistos por los CD para operar una modalidad de trabajo a distancia y debido, como este estudio ha revelado, a la gran cantidad de emisiones generadas por este último sector, la reducción estimada por los NDCs de México podría estar sesgada.

Conclusiones

En México, de acuerdo con los resultados de esta investigación, el 1.6% de la energía consumida en el país está dedicado para las operaciones de CD. En cuanto a porcentaje de energía utilizada destacan Monterrey, Jalisco y Ciudad de México, que sin duda sería de esperarse debido a que estas son las ciudades más importantes del país, sin embargo, el análisis del coeficiente de localización permitió observar que, por ejemplo, Jalisco no cuenta con un coeficiente de localización alto, por lo que tiene un bajo grado de especialización. Por otro lado, surgen otros actores que en la Figura 6 tales como Campeche que no solo es uno de los actores más importantes, sino que también es el segundo estado, después de la Ciudad de México con el QL más alto, lo que se traduce en que el 1.1% de la energía consumida en el estado de Campeche se dedica a actividades relacionadas con CDs lo cual genera preguntas que podrían ser abordadas posteriormente: ¿Qué está sucediendo en este estado que no es ampliamente conocido por su industria de tecnologías de la información? ¿Podría ser esta una señal temprana de un potencial crecimiento de la industria de CDs en esta región? Estas son preguntas que no son fáciles de responder con la información recopilada en este ensayo, sin embargo, se podría intuir que esto se encuentra relacionado con las actividades petrolíferas que se llevan a cabo en aguas de Campeche.

Las fuentes de energía utilizadas surgen como el principal problema de la contaminación generada por los CD. Esto se incluye indirectamente dentro de este trabajo puesto que el Factor de Emisión del Sistema Eléctrico Nacional empleado para calcular el CO₂e ya incluye la generación de energía por fuentes renovables, de tal forma que entre mayor es la cantidad de energía renovable menor es este factor de emisión.

Las energías renovables resuelven el problema del consumo de energía en el sentido que no es necesario reducir el uso de energía (volverlo eficiente) debido a que mayor consumo de energía ya no se traduce en mayor cantidad de emisiones. Esta último permite abordar el debate sobre las energías renovables y si el consumo de energía debe de ser reducido o si en cambio la mezcla de energía debe de ser cambiada, lo cual para los Centros de Datos no

parece tener una respuesta sencilla puesto que la velocidad de reemplazo de las plantas de energía potenciadas por combustibles fósiles no sigue el ritmo vertiginoso del crecimiento del acceso y consumo de datos de nuestra sociedad mexicana moderna. Lo cual abre igualmente la pregunta, ¿se debe limitar el crecimiento de esta industria?

La concentración de esta actividad en pocas regiones también es otra de las observaciones que se pueden resaltar de la información analizada en este ensayo. La concentración, he incluso la localización de los CDs es un tema de preocupación en la literatura relacionada con el tema y debería ser una problemática abordada por el gobierno mexicano con el fin de prevenir posibles impactos futuros en las reservas de agua, así como demandas excesivas de electricidad o una concentración en los procesos de disipación calórica. Hoy en día se observa una clara conservación en términos del consumo y de ubicación de UEs en los estados con mayor desarrollo económico en el país: Ciudad de México, Jalisco y Nuevo León. Sin embargo, estos UEs de CDs no son las únicas industrias con una alta presencia en estas regiones de tal forma que se generan ciudades altamente pobladas con una industria bien establecidas que genera contaminación atmosférica y genera estrés hídrico en las fuentes de agua cercanas. Mayor concentración de CDs en estas regiones podría generar condiciones insostenibles a largo plazo por lo que una planeación a nivel federal sobre las regiones en donde la localización de estas instalaciones minimice los efectos adversos de estas. La determinación de la localización debe de incluir los datos sobre la ubicación de cuencas de agua bajo estrés hídrico, las temperaturas medias anuales por región, las zonas con altos niveles de contaminación y la localización de centrales de producción de energías limpias de tal forma que las regiones que se encuentren cercanas a cuencas con bajo estrés hídrico, temperaturas anuales bajas, bajos niveles de contaminación y cercano a puntos de generación de energía renovables serían las ideales para el desarrollo de una industria de CDs.

En conclusión, México tiene una industria de CDs en un nivel cercano a la media mundial, por lo que el problema no podría parecer relevante en estos momentos, sin embargo, considerando que se pueden llegar a los niveles de países como Estados Unidos, China o Irlanda es evidente que México se encuentra en un buen momento para desarrollar

regulaciones que puedan atender el problema antes de que este se vuelva grave. Existen ya múltiples ejemplos a lo largo del mundo acerca de cómo puede ser abordada la problemática ambiental de los CDs y en general del desarrollo de algoritmos de IA, pero en términos generales se debe primero establecer métricas para poder medir el avance o retroceso de las acciones. A la par, es necesario pensar en normativas de eficiencia en el uso de recursos por parte de estas instalaciones, esto con el fin de abordar la situación de los CDs ya existentes en nuestro país y del posible aumento de estos. La visión a largo plazo deberá incluir igualmente una valoración de los lugares óptimos para la localización de estas infraestructuras a lo largo del territorio nacional. Este acercamiento al problema permitirá prevenir impactos a largo plazo, así como una mejor distribución de las demandas de recursos, abriendo el camino hacia un sector más sostenible.

Referencias

- Bash, C., & Tom, C. T. (2008). *Water Efficiency Management in Datacenters (Part I): Introducing a water usage metric based on available energy consumption*. <https://www.researchgate.net/publication/228599174>
- Brown, C., Mully, M., & Bernice, K. (2022). *The evolving data center landscape: Spotlight on Europe's journey*.
- Capozzoli, A., & Primiceri, G. (2015). Cooling systems in data centers: State of art and emerging technologies. *Energy Procedia*, 83, 484–493. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.12.168>
- Comisión Reguladora de Energía. (2019). Aviso Factor de Emisiones 2018. In *Comision Reguladora de Energía*.
- Connor, R., & Koncagul, E. (2014). The United Nations world water development report 2014. *United Nations*.
- DataCenter Dynamics. (2023). *Google Cloud revela que su región cloud se instalará en Querétaro*. DCD. <https://www.datacenterdynamics.com/es/noticias/google-cloud-revela-que-su-regi%C3%B3n-cloud-se-instalar%C3%A1-en-quer%C3%A9taro/>
- Dirección General de Calidad del Aire. (2018). *Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 2018*.

- Ebrahimi, K., Jones, G. F., & Fleischer, A. S. (2014). A review of data center cooling technology, operating conditions and the corresponding low-grade waste heat recovery opportunities. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 31, pp. 622–638). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.12.007>
- Gloria Koenigsberger. (2014). *Los Inicios de Internet en México* (Primera Edición). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Hidalgo, M. (2022). *El Consumo de Energía y Agua en los Centros de Datos: Riesgos de Sostenibilidad*. https://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs_analisis/2022/DIEEEA69_2022_MARHID_Datos.pdf
- Huang, Q., Shao, S., Zhang, H., & Tian, C. (2019). Development and composition of a data center heat recovery system and evaluation of annual operation performance. *Energy*, 189, 116200. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2019.116200>
- Hummel, P., Braun, M., Tretter, M., & Dabrock, P. (2021). Data sovereignty: A review. *Big Data and Society*, January-June, 1–17.
- IBM. (n.d.). *¿Qué es un centro de datos?* Retrieved November 25, 2023, from <https://www.ibm.com/es-es/topics/data-centers#:~:text=Un%20centro%20de%20datos%20es,con%20dichas%20aplicaciones%20y%20servicios>.
- INEGI. (2018). *Censo Económico: Diccionario de Datos*.
- INEGI. (2022). *Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares (ENDUTIH)*.
- Instituto Federal de Telecomunicaciones. (2020). *Estudio de Cloud Computing en México*.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2018). *IPPC Glossary*.
- John Pflueger. (2010). *Understanding Data Center Energy Intensity*.
- Luitse, D., & Denkena, W. (2021). The great transformer: Examining the role of large language models in the political economy of AI. *Big Data and Society*, 8(2). <https://doi.org/10.1177/205395172111047734>
- Mar Hidalgo. (2022). *Energy and water consumption in data centers: sustainability risks*.
- Masanet, E., Shehabi, A., Lei, N., Smith, S., & Koomey, J. (2020). Recalibrating global data center energy-use estimates. *Energy Efficiency*, 13(3), 379–392. <https://doi.org/10.1007/s12053-019-09809-8>

- McKinsey & Company. (2023). *Investing in the rising data center economy*.
https://www.mckinsey.com/~/media/mckinsey/industries/technology%20media%20and%20telecommunications/high%20tech/our%20insights/investing%20in%20the%20rising%20data%20center%20economy/investing-in-the-rising-data-center-economy_final.pdf
- Microsoft. (2023). *Microsoft anuncia avances e impacto inicial de su primera Región de Centros de Datos en México*. <https://news.microsoft.com/es-xl/microsoft-anuncia-avances-e-impacto-inicial-de-su-primera-region-de-centros-de-datos-en-mexico/>
- Minudri, I. (2020, February 2). *Understanding Location Quotient*. Economic Modeling.
- Office of Energy, E. & R. E. | U. (2007). *Definition of Data Center*.
https://www7.eere.energy.gov/femp/requirements/laws_and_requirements/definition_data_center#:~:text=For%20the%20purpose%20of%20this,environmental%20control%20equipment%20to%20maintain
- Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. (2023). *Data Centers and Servers*.
<https://www.energy.gov/eere/buildings/data-centers-and-servers>
- Ritchie, H., Roser, M., & Rosado, P. (2020, December 17). *Renewable Energy*. Ourworldindata.Org.
- Samanta Escobar. (2023, December 6). El auge de los centros de datos enfrenta barreras en infraestructura. *El Economista*. <https://www.economista.com.mx/econohabitat/El-auge-de-los-centros-de-datos-enfrenta-barreras-en-infraestructura-20231205-0092.html>
- Sarkar, C. (2010). *Data Center Network Design*. <http://www.cse.iitb.ac.in/~chayan>
- Secretaría de Energía. (2017). *Sistema de Información Energética (SIE)*.
<https://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=about#:~:text=El%20Sistema%20de%20Informaci%C3%B3n%20Energ%C3%A9tica,estad%C3%ADstica%20y%20georeferenciada%20del%20sector>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2022). *Contribución Determinada a Nivel Nacional. Actualización 2022*.
- Siddik, M. A. B., Shehabi, A., & Marston, L. (2021). The environmental footprint of data centers in the United States. *Environmental Research Letters*, 16(6). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abfb1>
- Snipp, M. (2016). *What does data sovereignty imply: what does it look like?*
https://www.jstor.org/stable/pdf/j.ctt1q1crgf.10.pdf?refreqid=fastly-default%3A2cacbd552cc811f2503bce69e801c110&ab_segments=&origin=&acceptTC=1

- Vallero, D. A. (2019). Thermal Pollution. *Waste: A Handbook for Management*, 381–404.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815060-3.00020-7>
- Whitehead, B., Andrews, D., Shah, A., & Maidment, G. (2014). *Assessing the environmental impact of data centres part 1: Background, energy use and metrics*.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.08.021>
- World Bank Group. (2021). *Minimum Data Consumption: How much is needed to support online activities, and is it affordable?* <https://thedocs.worldbank.org/en/doc/742001611762098567-0090022021/original/AnalyticalInsightsSeriesJan2021.pdf>