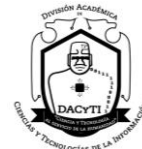




UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO

**DIVISIÓN ACADÉMICA DE
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN**



**EVALUACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO DIGITAL DE LAS
TIC EN UN CENTRO DE DATOS**

TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE:

**Maestro en Administración
de Tecnologías de la Información**

PRESENTA:

LSC. Héctor Eduardo Vidal de la Cruz

BAJO LA DIRECCIÓN DE:

Dr. Julián Javier Francisco León

EN CODIRECCIÓN DE:

Dr. Arturo Corona Ferreira

Cunduacán, Tabasco, A: Agosto, 2024.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO

**DIVISIÓN ACADÉMICA DE
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN**



**EVALUACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO DIGITAL DE LAS TIC
EN UN CENTRO DE DATOS**

TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE:

**Maestro en Administración
de Tecnologías de la Información**

PRESENTA:

LSC. Héctor Eduardo Vidal de la Cruz

BAJO LA DIRECCIÓN DE:

Dr. Julián Javier Francisco León

EN COORDINACIÓN DE:

Dr. Arturo Corona Ferreira

JURADO REVISOR:

Dr. Guillermo de los Santos Torres

Dr. Pablo Payró Campos

Dr. Rafael Mena de la Rosa

Dr. Arturo Corona Ferreira

Dr. Eddy Arquímedes García Alcocer

Cunduacán, Tabasco, A: Agosto, 2024.

Carta de Cesión de Derechos

Villahermosa, Tabasco, a 31 de julio de 2024.

Por medio de la presente manifiesto haber colaborado como AUTOR en la producción, creación y/o realización de la obra denominada: ***"Evaluación de la Huella de Carbono Digital de las TIC en un centro de datos"***.

Con fundamento en el artículo 83 de la Ley Federal del Derecho de Autor y toda vez que, la creación y/o realización de la obra antes mencionada se realizó bajo la comisión de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco; entendemos y aceptamos el alcance del artículo en mención, de que tenemos el derecho al reconocimiento como autores de la obra, y la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco mantendrá en un 100% la titularidad de los derechos patrimoniales por un período de 20 años sobre la obra en la que colaboramos, por lo anterior, cedemos el derecho patrimonial exclusivo en favor de la Universidad.

COLABORADOR



Alumno: Héctor Eduardo Vidal de la Cruz

Declaración de Autoría y Originalidad

En la Ciudad de Cunduacán, el día 31 del mes julio del año 2024, el que suscribe **Héctor Eduardo Vidal de la Cruz** alumno del Programa de **Maestría en Administración de Tecnologías de la Información** con número de matrícula **222H19002**, adscrito a la **División Académica de Ciencias y Tecnologías de la Información**, de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, como autor de la Tesis presentada para la obtención del **grado de maestro** y titulada: **"Evaluación de la Huella de Carbono Digital de las TIC en un centro de datos"** dirigida por el Dr. Julián Javier Francisco León y el Dr. Arturo Corona Ferreira.

DECLARO QUE:

La Tesis es una obra original que no infringe los derechos de propiedad intelectual ni los derechos de propiedad industrial u otros, de acuerdo con el ordenamiento jurídico vigente, en particular, la LEY FEDERAL DEL DERECHO DE AUTOR (Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Ley Federal del Derecho de Autor del 01 de Julio de 2020 regularizando y aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia), en particular, las disposiciones referidas al derecho de cita.

Del mismo modo, asumo frente a la Universidad cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría o falta de originalidad o contenido de la Tesis presentada de conformidad con el ordenamiento jurídico vigente.

Villahermosa, Tabasco a 31 de julio de 2024.



Héctor Eduardo Vidal de la Cruz

Cunduacán, Tabasco a 20 de junio de 2024
Oficio No. 650/DACYTI/2024/D

Asunto: Dirección de Tesis

Dr. Julián Javier Francisco León
Profesor Investigador

De conformidad con lo establecido en el Reglamento de Estudios de Posgrado Vigente, de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, me permito informarle, que ha sido designado como Director de la tesis titulada **"Evaluación de la Huella de Carbono Digital de las TIC en un centro de datos"**, a realizar por el **C. Héctor Eduardo Vidal de la Cruz**, para obtener el grado de Maestro en Administración de Tecnologías de la Información.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para enviarle un afectuoso saludo.

Atentamente


MTE. Óscar Alberto González González
Director

C.c.p. Dr. Eddy Arquímedes García Alcocer. Encargado del Despacho de la Coordinación de Posgrado

Alumno
Archivo
Consecutivo

MTE/OAGG/EAGA X

Carretera Cunduacán-Jalpa Km. 1, Colonia Esmeralda, C.P. 86690.
Cunduacán, Tabasco, México.
Tel: (993) 358 1500 ext. 6727; (914) 336 0616; Fax: (914) 336 0870
E-mail: direccion.dacyti@ujat.mx

www.ujat.mx



UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE



DIVISIÓN ACADÉMICA DE
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS
DE LA INFORMACIÓN



2024
Felipe Carrillo
PUERTO

Cunduacán, Tabasco a 20 de junio de 2024
Oficio No. 651/DACYTI/2024/D

Asunto: Dirección de Tesis

Dr. Arturo Corona Ferreira
Profesor Investigador

De conformidad con lo establecido en el Reglamento de Estudios de Posgrado Vigente, de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, me permito informarle, que ha sido designado como Director de la tesis titulada **"Evaluación de la Huella de Carbono Digital de las TIC en un centro de datos"**, a realizar por el **C. Héctor Eduardo Vidal de la Cruz**, para obtener el grado de Maestro en Administración de Tecnologías de la Información.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para enviarle un afectuoso saludo.

Atentamente

MTE. Óscar Alberto González González
Director

UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO



DIVISIÓN ACADÉMICA DE
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS
DE LA INFORMACIÓN

C.c.p. Dr. Eddy Arquímedes García Alcocer. Encargado del Despacho de la Coordinación de Posgrado

Alumno
Archivo
Consecutivo

MTE/OAGG/EAGA

Carretera Cunduacán-Jalpa Km. 1, Colonia Esmeralda, C.P. 86690.
Cunduacán, Tabasco, México.
Tel: (993) 358 1500 ext. 6727; (914) 336 0616; Fax: (914) 336 0870
E-mail: direccion.dacyti@ujat.mx

www.ujat.mx



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO

DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS
Y TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN



F6: Respuesta de jurado

Cunduacán, Tabasco, a 31 de julio de 2024.

MTE. Óscar Alberto González González
Director de la División Académica de Ciencias y Tecnologías de la Información
Presente

En atención a los oficios girados por usted, en los que se nos designa como parte del jurado para efectuar la revisión de la tesis titulada **"Evaluación de la Huella de Carbono Digital de las TIC en un centro de datos"**, realizado por el **C. Héctor Eduardo Vidal de la Cruz**, estudiante de la Maestría en Administración de Tecnologías de la Información, nos permitimos informarle que, en virtud de que ha atendido las observaciones realizadas, otorgamos nuestra aprobación para que continúe los trámites para la obtención del grado.

Sin otro particular, aprovechamos la ocasión para enviarle un cordial saludo.

Atentamente integrantes del jurado


Dr. Eddy Arquímedes García Alcocer


Dr. Arturo Corona Ferreira


Dr. Pablo Payró Campos


Dr. Rafael Mena de la Rosa


Dr. Guillermo de los Santos Torres

c.c.p. Dr. Eddy Arquímedes García Alcocer: Encargado del despacho de la Coordinación de Posgrado Estudiante.





UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

"DETENIDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



DIVISIÓN ACADÉMICA DE
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS
DE LA INFORMACIÓN



2024
Felipe Carrillo
PUERTO

Cunduacán, Tabasco a 31 de julio de 2024
Oficio No. 888/DACYTI/2024/D

Asunto: Autorización de impresión de Tesis

C. Héctor Eduardo Vidal de la Cruz

Matricula 222H19002

En virtud de que cumple satisfactoriamente los requisitos establecidos en el Reglamento General de Estudios de Posgrado vigente en la Universidad, informo a Usted que se autoriza la impresión del trabajo recepcional **"Evaluación de la Huella de Carbono Digital de las TIC en un centro de datos"**, para presentar examen y obtener el Grado de Maestro en Administración de Tecnologías de la Información.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para enviarle un afectuoso saludo.

Atentamente

MTE. Óscar Alberto González González
Director

UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO



DIVISIÓN ACADÉMICA DE
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS
DE LA INFORMACIÓN

C.c.p. Dr. Eddy Arquímedes García Alcocer. - Encargado del Despacho de la Coordinación de Posgrado DACYT
Archivo.
Consecutivo.

MTE/OAGG/EAGA

Carretera Cunduacán-Jalpa Km. 1, Colonia Esmeralda, C.P. 86690.
Cunduacán, Tabasco, México.
Tel: (993) 358 1500 ext. 6727; (914) 336 0616; Fax: (914) 336 0870
E-mail: direccion.dacyti@ujat.mx

www.ujat.mx

Agradecimientos

Estoy enormemente agradecido con **mi alma mater**, la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) y la División Académica de Ciencia y Tecnologías de la Información (DACYTI), por aceptarme en su programa de posgrado para estudiar la Maestría en Administración de Tecnología de la Información (MATI), fue una experiencia increíble que superó todas mis expectativas.

Doy un enorme agradecimiento a mis directores de tesis, el **Dr. Julián Javier Francisco León** y al **Dr. Arturo Corona Ferreira**, por compartir sus conocimientos en la dirección de esta investigación y brindar claridad en cada una de las reuniones, fue un gran honor desarrollar esta investigación bajo su dirección.

Así mismo agradezco a los profesores investigadores quienes conformaron el Jurado Revisor de esta investigación, el **Dr. Guillermo de los Santos Torres**, **Dr. Pablo Payró Campos** y **Dr. Rafael Mena de la Rosa**, quienes dedicaron de su tiempo para la revisión de este trabajo, así como realizaron valiosas contribuciones de mejora.

Agradezco a **todos y cada uno de los docentes** quienes compartieron sus conocimientos, experiencias y consejos durante mi trayectoria en la universidad, sin lugar a duda, lo valoro mucho, gracias por la paciencia y tolerancia.

De igual manera, agradezco al **Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías** (CONAHCYT) por permitirme ser becado para cursar mis estudios, fue un apoyo importante para dar cumplimiento a todos los requisitos del posgrado y conclusión de mi investigación.

Dedicatorias

A **Dios** por darme más que salud y vida, en esta maestría aprendí más que solo administración de tecnologías, obtuve claridad y conocimiento.

A mi mamá **Amalia del Carmen de la Cruz Pérez**, quien siempre me ayuda y apoya para alcanzar cada una de mis metas, gracias por ser esa fuerza que me inspira a superarme cada vez más. Te dedico este logro y cualquier otro que de este se derive.

A **Yamilet Yarcily Solís Pérez**, quien siempre confió en mí y me ayudó a convertirme en una mejor persona, sin duda, este logro no hubiera sido lo mismo sin tu apoyo.

A **todos mis compañeros y amigos** que tuve la fortuna de conocer durante la maestría, fueron una parte fundamental de toda la experiencia vivida durante esta etapa de mi vida.

Finalmente, este trabajo está dedicado a toda aquella persona que busque conocimiento en esta investigación, espero que la información contenida en este trabajo sea de utilidad.

Héctor Eduardo Vidal de la Cruz.

Resumen

El desarrollo tecnológico ha estado en incremento a lo largo de las revoluciones industriales en donde la globalización ha influido con la necesidad de cada día estar más conectado con otras partes del mundo, jugando aquí un papel importante el Internet. Este desarrollo tecnológico conllevó a que de manera relacionada se incrementara la contaminación tecnológica, en específico para esta investigación, la Huella de Carbono Digital. Dicha Huella de Carbono Digital consiste en la liberación de Gases de Efecto Invernadero producidos por el consumo de energía proveniente de combustibles fósiles para el funcionamiento de equipos eléctricos y electrónicos tecnológicos como los que componen un centro de datos de una organización educativa. Los Gases de Efecto Invernadero representan una amenaza para la humanidad al generar cambios meteorológicos radicales que amenazan la producción de alimentos, así como, la modificación del entorno, causando enfermedades y muertes, generando desestabilización social que amenaza a las generaciones futuras. El objetivo de esta investigación fue crear un modelo de estimación de la Huella de Carbono Digital generado por el consumo de energía eléctrica de los equipos de las Tecnologías de la Información y Comunicación del centro de datos de una organización educativa como la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. El enfoque de esta investigación es cuantitativo. Se aplicó un método de cuatro pasos, en el que se hace énfasis en la recolección de datos y el diagnóstico antes de la ejecución de acciones, así como, enfatiza la cuidadosa evaluación de los resultados después de realizar dichas acciones. El principal resultado de esta investigación fue la determinación de las emisión de dióxido de carbono de los equipos tecnológicos que conforman el centro de datos de una organización educativa como la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, y a su vez como las emisiones de dióxido de

carbono se comparan con otras fuentes de emisión como vehículos y casas residenciales, de igual manera se desarrolló un informe para las autoridades correspondientes en donde se indiquen los resultados encontrados de la investigación, complementado con recomendaciones obtenidas a partir de dos artículos científicos desarrollos en paralelo a esta investigación para la adopción y/o adaptación de estrategias que permitan reducir la Huella de Carbono Digital.

Palabras claves: Consumo de energía, Contaminación atmosférica, Dióxido de carbono.

Abstract

Technological development has been increasing throughout the industrial revolutions where globalization has influenced the need to be more connected every day with other parts of the world, with the Internet playing an important role here. This technological development led to a related increase in technological pollution, specifically for this research, the Digital Carbon Footprint. This Digital Carbon Footprint consists of the release of Greenhouse Gases produced by the consumption of energy from fossil fuels for the operation of electrical and electronic technological equipment such as those that make up a data center of an educational organization. Greenhouse Gases represent a threat to humanity by generating radical meteorological changes that threaten food production, as well as modifying the environment, causing illnesses and deaths, generating social destabilization that threatens future generations. The objective of this research was to create an estimation model of the Digital Carbon Footprint generated by the consumption of electrical energy of the Information and Communication Technologies equipment of the data center of an educational organization such as the Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. The approach of this research is quantitative. A four-step method was applied, which emphasizes data collection and diagnosis before executing actions, as well as emphasizing the careful evaluation of results after carrying out said actions. The main result of this research was the determination of the carbon dioxide emissions of the technological equipment that makes up the data center of an educational organization such as the Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, and in turn how the carbon dioxide emissions are compared with other emission sources such as vehicles and residential houses, in the same way a report was developed for the corresponding authorities indicating the results found from the investigation, complemented with

recommendations obtained from two scientific articles developed in parallel to this investigation to the adoption and/or adaptation of strategies that allow reducing the Digital Carbon Footprint.

Key words: Energy consumption, Atmospheric pollution, Carbon dioxide.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

Introducción

Este trabajo se enfocó en la evaluación de la Huella de Carbono Digital de los equipos tecnológicos de un centro de datos, el cual se realizó a través de la creación de un modelo de estimación de dióxido de carbono.

En el capítulo uno se presentan las generalidades de la investigación, en la que se parte de los antecedentes, el planteamiento del problema, la delimitación de la investigación en la que se incluye los alcances y limitaciones, las preguntas de investigación, así como el objetivo general y los objetivos específicos, y finalmente la metodología utilizada.

En el capítulo dos se presenta el marco teórico, en el cual se describe la Teoría General de Sistemas, la cual fue utilizada como fundamento para esta investigación. En el marco referencial se incluyen investigaciones relacionadas de carácter nacional e internacional. En el marco conceptual se describen los principales conceptos de la investigación, necesarios de entender para comprender el trabajo desarrollado. En el marco tecnológico se describen las principales tecnologías utilizadas, Excel para el registro de los datos de los equipos tecnológicos, Jamovi para el análisis de datos y Tableau para el desarrollo de un *Dashboard* de visualización de los datos obtenidos. En el marco legal se incluyen protocolos y acuerdos internacionales, tales como el protocolo de Kyoto, el acuerdo de París y la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, en el apartado de las leyes nacionales se mencionan la Ley General de Transparencia y Acceso a la Información, y la Ley General de Cambio Climático.

En el capítulo tres está constituido por la aplicación de la metodología de cuatro fases, la cual parte en la Fase 1 con el diseño del estudio, en la Fase 2 se enfoca en la recolección de datos del objeto de estudio, en la Fase 3 se realizó la transformación y

análisis de los datos, en la Fase 4 se procedió con la interpretación de los resultados a través de un *Dashboard*.

En el capítulo cuatro se presentan los resultados de esta investigación, en el cual el primer resultado obtenido es la identificación del proceso de energía, en la que se genera el Huella de Carbono Digital, el cual fue plasmado en un diagrama para facilitar la comprensión del proceso.

Un resultado no previsto de esta investigación fue el desarrollo de un método propio para la identificación de la Huella de Carbono Digital de un centro de datos, el cual fue nombrado por los investigadores de este trabajo como Método Sintético de HCD el cual se basa en el Método Sintético.

Otro resultado obtenido de esta investigación fue el desarrollo de un modelo de estimación de HCD, el cual está fundamentado en la Teoría General de Sistemas, dicho modelo sirve como guía para entender los elementos de entrada, proceso, salida y retroalimentación para la estimación del CO₂ del centro de datos.

Otro resultado de la investigación fue el desarrollo un *Dashboard* para presentar los resultados y datos relevantes de manera visual en diferentes gráficas y secciones.

Finalmente se preparó un informe dirigido a las autoridades del centro de datos, en el cual se contiene los resultados de la investigación antes mencionados, complementados con dos artículos científicos realizados en paralelo, enfocados en las acciones para reducir las emisiones de CO₂ de proveedores de cómputo en la nube y fabricantes de equipos tecnológicos para centros de datos.

En el capítulo cinco se presenta la conclusión de la investigación, en el que se señala el nivel de cumplimiento de los objetivos específicos, así como las recomendaciones generadas para todo investigador que desarrolle una investigación

similar, de igual manera, en el apartado final, se indican los posibles trabajos futuros que se pueden realizar para dar continuidad con el trabajo realizado.

En el apartado de los Apéndices se presenta el Apéndice A, el cual se integra por el oficio de la estancia de vinculación en el centro de datos de la universidad, en el Apéndice B se presenta el *dataset* creado para el desarrollo de esta investigación y finalmente en el Apéndice C se muestra el informe realizado para las autoridades del centro de datos de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

En el Anexo A se presenta el oficio de Factor de Emisión del Sistema Eléctrico Nacional, el cual es correspondiente al del año 2023 utilizado para la conversión de CO₂ a partir del consumo eléctrico de los equipos del centro de datos y del consumo de energía de las casas residenciales.

Índice general

Índice de tablas.....	xxiv
Índice de figuras	xxv
Capítulo 1. Generalidades	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	3
1.2.1 Definición del problema	3
1.2.2 Delimitación de la investigación	8
1.2.3 Preguntas de investigación.....	9
1.3 Objetivos	9
1.3.1 Objetivo general.....	9
1.3.2 Objetivos específicos.....	9
1.4 Justificación	10
1.5 Metodología utilizada.....	13
1.5.1 Enfoque de la Investigación.....	13
1.5.2 Fuentes de Investigación.....	14
1.5.3 Técnicas de Recolección de Datos	14
1.5.4 Investigación de Campo	14
1.5.5 Investigación Documental.....	15
1.5.6 Metodología para Aplicar.....	15
Capítulo 2. Marcos de la investigación.....	17

2.1	Marco teórico	17
2.1.1	Teoría General de Sistemas.....	17
2.1.2	Método Sintético	19
2.2	Marco referencial	20
2.2.1	Investigaciones Nacionales	20
2.2.2	Investigaciones Internacionales	22
2.3	Marco conceptual	24
2.3.1	Modelo	24
2.3.2	Contaminación	25
2.3.3	Energía Eléctrica.....	32
2.3.4	Sustentabilidad	34
2.3.5	Sostenibilidad.....	34
2.3.6	Centro de Datos.....	35
2.4	Marco tecnológico.....	36
2.4.1	Microsoft Excel.....	36
2.4.2	Jamovi Desktop	37
2.4.3	Tableau Desktop.....	37
2.4.4	Figma Design.....	38
2.5	Marco legal	38
2.5.1	Licencias de Software.....	38
2.5.2	Protocolos y Acuerdos Internacionales	40

2.5.3	Leyes Nacionales.....	41
Capítulo 3.	Aplicación de la metodología y desarrollo	44
3.1	Fase 1 – Identificación del fenómeno.....	44
3.1.1	Descripción del entorno	44
3.1.2	Objeto de estudio.....	47
3.1.3	Cumplimiento de normatividad	50
3.2	Fase 2 – Recopilación y preparación de datos	50
3.2.1	Revisión de datos	51
3.2.2	Búsqueda de hojas técnicas.....	51
3.2.3	Registro de datos.....	52
3.2.4	Creación de dataset.....	53
3.2.5	Búsqueda de datos complementarios.....	54
3.3	Fase 3 – Análisis de datos	56
3.3.1	Categorización de equipos	56
3.3.2	Consumo total máximo de energía.....	56
3.3.3	Consumo total medio de energía	56
3.3.4	Consumo total medio de energía por categoría de equipos	57
3.3.5	Emisiones de CO ₂ del centro de datos.....	57
3.3.6	Emisiones de CO ₂ de un automóvil.....	58
3.3.7	Emisiones de CO ₂ de una casa residencial	59
3.4	Fase 4 – Interpretación de resultados.....	59

3.4.1	Comparación de las emisiones de CO ₂ del centro de datos contra emisiones de vehículos	60
3.4.2	Comparación de las emisiones de CO ₂ del centro de datos contra emisiones de casa residencial.....	61
3.4.3	Creación de Dashboard de visualización de datos	61
Capítulo 4.	Resultados.....	64
4.1	Proceso de generación de energía	64
4.2	Método sintético de HCD.....	66
4.3	Modelo de estimación de HCD.....	68
4.4	<i>Dashboard</i> de emisiones de CO ₂	69
4.5	Informe de resultados	71
4.5.1	Proveedores de cómputo en la nube.....	73
4.5.2	Fabricantes de equipos tecnológicos para centros de datos	74
4.6	Discusión	75
Capítulo 5.	Conclusiones, recomendaciones y trabajos futuros	77
5.1	Conclusiones	77
5.2	Recomendaciones	79
5.3	Trabajos futuros.....	80
Referencias.....		85
Glosario		99
Apéndice A.	Oficio de aceptación para realización de estancia de investigación	103

Apéndice B. <i>Dataset</i> de equipos tecnológicos del centro de datos	104
Apéndice C. Informe de resultado de investigación.....	110
Anexo A. Factor de Emisión del Sistemas Eléctrico Nacional 2023	174

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Índice de tablas

Tabla 1 Objetivos y metas de los ODS con los que se alinea la investigación	11
Tabla 2 Variables identificadas de las hojas técnicas	52
Tabla 3 <i>Variables calculadas</i>	53
Tabla 4 Datos de emisiones de CO ₂ del parque vehicular en Tabasco 2019.....	55
Tabla 5 Consumo total medio de energía por categoría de equipos	57
Tabla 6 Resumen de datos para cálculo de CO ₂ del centro de datos.....	58
Tabla 7 Resumen de datos para el cálculo de CO ₂ de un automóvil.....	58
Tabla 8 Resumen de datos para el cálculo de CO ₂ de una casa residencial	59
Tabla 9 Resumen de datos para el cálculo de equivalencias de CO ₂ del centro de datos a vehículos.....	60
Tabla 10 Resumen de datos para el cálculo de equivalencias de CO ₂ del centro de datos a casas residenciales	61
Tabla 11 Emisiones de CO ₂ de centro de datos, vehículos y casas residenciales.....	70
Tabla 12 Comparativa de emisiones del centro de datos contra otras fuentes de emisión.....	70
Tabla 13 <i>Dataset de equipos tecnológicos del centro de datos</i>	104

Índice de figuras

Figura 1	Consumo de energía en México de los años 2005 - 2020	5
Figura 2	Diagrama del centro de datos como sistema compuesto de subsistemas.....	18
Figura 3	Interacción de elementos de un sistema.....	19
Figura 4	Divisiones Académicas en los diferentes municipios del Estado de Tabasco	45
Figura 5	Diagrama de conexión de la Red UJAT	46
Figura 6	Edificio de Dirección de Tecnologías de Información e Innovación	47
Figura 7	Organigrama de Dirección de Tecnologías de Información e Innovación.....	48
Figura 8	Diagrama general de un centro de datos.....	49
Figura 9	Carga de dataset en Tableau.....	62
Figura 10	Creación de gráficas en Tableau.....	63
Figura 11	Proceso de generación y entrega de energía eléctrica	65
Figura 12	Método sintético de HCD	67
Figura 13	Modelo de estimación de HCD.....	69
Figura 14	Dashboard de emisiones de CO ₂	71
Figura 15	Portada de informe de resultados	72
Figura 16	<i>Oficio de aceptación para realización de estancia de investigación.....</i>	<i>103</i>
Figura 17	<i>Factor de Emisión del Sistema Eléctrico Nacional 2023</i>	<i>174</i>

Capítulo 1. Generalidades

1.1 Antecedentes

La tecnología está en constante cambio de acuerdo con las necesidades de la sociedad y la industria, como ha ocurrido con el paso de las cuatro revoluciones industriales, en donde la globalización ha influido, generando la necesidad de cada día estar más conectado con las diferentes partes del mundo, siendo así el Internet un recurso indispensable para la conectividad de diferentes sistemas, infraestructuras y servicios de Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) (Joyanes, 2020).

La expansión del Internet ha conllevado a que se estime que cerca de dos tercios de la población mundial tenga acceso a Internet en el año 2023, como lo indica el reporte anual de Internet realizado por la empresa Cisco (Cisco, 2023), en donde se estima más de 30 mil millones de dispositivos/conexiones a Internet, entre los que se hace la distinción de las categorías; tabletas, computadoras personales, televisiones, teléfonos no inteligentes, teléfonos inteligentes y conexiones máquina a máquina, siendo esta última categoría la de mayor porcentaje con el 50% de conexiones totales, en la que se incluyen dispositivos de Internet de las Cosas, los cuales generan una transmisión de información constante.

Los centros de datos conforman una parte crucial de la conectividad del Internet, realizando la comunicación entre servidores, infraestructuras de red, almacenamiento y procesamiento de información, los cuales son requeridos para todo servicio digital, los cuales han generado un incremento exponencial en la carga de trabajo de los centros de datos (Siddik *et al.*, 2021).

Un suministro de energía constante (conjunto de equipos y sistemas que generen, transmitan y distribuyan energía) e ininterrumpida es crucial para el correcto funcionamiento de los centros de datos, los cuales operan las 24 horas del día, los siete días de la semana, ante esta situación, se demanda gran cantidad de energía, como lo indica el reporte de la Agencia Internacional de Energía (*International Energy Agency [IEA]*, 2022), donde se menciona que en el año 2021 el consumo global de energía de los centros de datos fue de aproximadamente del 0.9% - 1.3% de la demanda de energía mundial (220 – 320 TWh¹), teniendo un crecimiento hasta del 60% comparado con el año 2015.

Todo equipo eléctrico y electrónico de Tecnologías de la Información y Comunicación que compone un centro de datos, al consumir energía genera contaminación de manera indirecta, asociada a la liberación de dióxido de carbono (CO₂), conociéndose como Huella de Carbono Digital (HCD) (Olvera, 2022; Sharma & Dash, 2022).

En el año 2015 a nivel mundial, el 80% de la producción de energía provenía de combustibles fósiles (procedentes del petróleo, carbón y gas natural), esta fuente de energía genera Gases de Efecto Invernadero (GEI) como lo es el CO₂, esta producción de energía generó dos tercios de las emisiones globales de CO₂ (Foster y Elzinga, 2015).

Los porcentajes de producción de energía proveniente de combustibles fósiles varían de acuerdo con cada país, esto es concerniente con el número de fuentes de

¹ TeraWatt-hora: Unidad de medida de consumo eléctrico.

energías renovables que se incluyan en el proceso de generación de energía, a su vez, esta integración de fuentes de energía renovables disminuye el porcentaje de CO₂ que se libera.

En el aspecto de los centros de datos, no se tienen estudios o reportes de la cantidad de centros de datos, sus características y distribución a lo largo de la República Mexicana. Se identificaron dos sitios web que proporcionan información comercial sobre las empresas que proveen servicios de centros de datos, al igual que, se señalan las ubicaciones de los mismos, los datos que proporcionan, indican que en México existen 14 centros de datos, entre los cuales en el Estado de Tabasco no se encuentra ninguno (Data Center Journal, 2020; Data Center Map, s/f).

Por lo anterior, esta investigación se centró en la evaluación de la contaminación tecnológica generada por consumo eléctrico de los componentes tecnológicos de TIC que conforman el centro de datos de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT).

1.2 Planteamiento del problema

1.2.1 Definición del problema

El dióxido de carbono (CO₂) es uno de los principales Gases de Efecto Invernadero de mayor abundancia de aproximadamente dos tercios sobre los demás GEI (Naciones Unidas [ONU], 2019), seguido por el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O), entre otros gases, los cuales, al acumularse en la atmósfera, absorben y retienen la radiación infrarroja proveniente del sol, causando el incremento de la temperatura en la atmósfera, derivando en un cambio climático mundial, en donde dichos gases son producidos

principalmente por las actividades industrializadas del ser humano al quemar combustibles fósiles, realizar la deforestación de bosques y sobre explotar los recursos naturales (Organización Meteorológica Mundial [OMM], 2019b, 2019a; *World Wildlife Fund* [WWF], 2018).

El cambio climático provocado por los GEI, es un riesgo para la humanidad: desde los cambios meteorológicos radicales que amenazan la producción de alimentos (olas de calor, precipitaciones intensas, sequías y ciclones), hasta el aumento del nivel del mar que genera un riesgo inminente de inundaciones catastróficas (Naciones Unidas, 2019; Organización Mundial de la Salud [OMS], 2021), causando muertes y enfermedades que desestabilizan la igualdad social amenazando a las generaciones futuras (*United Nations Children's Fund* [UNICEF], 2019).

En México, en el año 2019 las emisiones de Gases de Efecto Invernadero ascendieron a más de 736 millones de toneladas de CO₂ equivalente, donde las actividades necesarias para producir energía eléctrica representan el mayor porcentaje de las emisiones de CO₂ con el 23.3%, seguida por las emisiones de autotransporte con 18.5%, como lo indica el informe del Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (Gobierno de México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, e Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2022) del periodo 1990-2019.

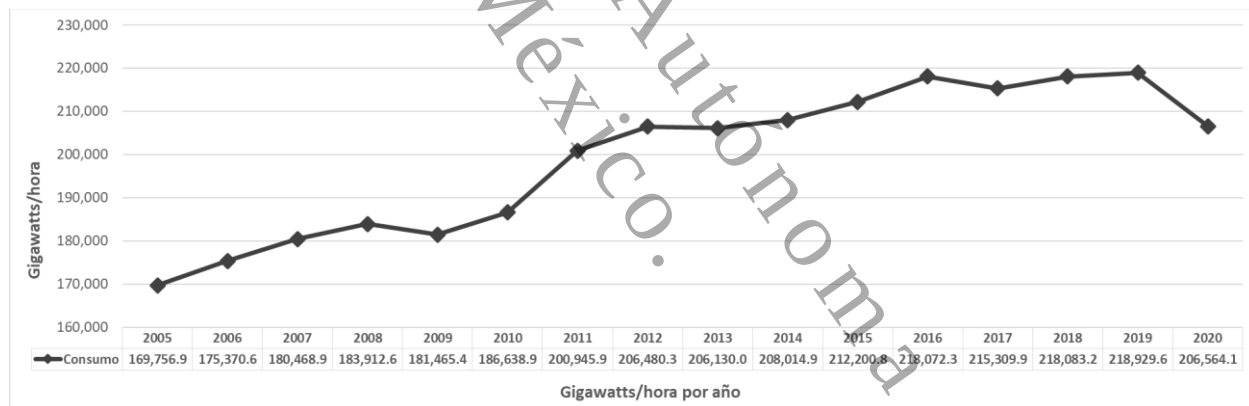
La principal producción de energía en México proviene de combustibles fósiles, donde en el año 2020 los hidrocarburos representaron el 84.06% de la producción primaria de energía, como lo indica el informe Balance Nacional de Energía del año 2020

publicado por la Secretaría de Energía (Secretaría de Energía [SENER], 2021), donde señala que el 56.32% de la energía primaria se generó por la producción de petróleo crudo.

La demanda de energía ha estado en aumento, en donde en el periodo de los años 2005 al 2019 se percibió un incremento en el consumo de energía en México, en contraste, en el año 2020 se tuvo un descenso en el consumo de energía causado por la pandemia de COVID-19, ver Figura 1, tal como lo indican datos publicados en el 3er Informe de Gobierno del año 2020 – 2021 (Presidencia de la República, 2021).

Figura 1

Consumo de energía en México de los años 2005 - 2020



Nota. Elaboración propia con datos de Presidencia de la República (2021).

*No se incluyeron los datos del año 2021, ya que sólo abarcan hasta el mes de junio.

En el aspecto tecnológico, los centros de datos demandan un consumo de energía para el funcionamiento de los equipos eléctricos y electrónicos que operan las 24 horas, los 7 días de la semana. En donde las organizaciones requieren tener diversos equipos que les permitan almacenar, procesar y compartir datos masivos, así como, diferentes

tipos de recursos para el funcionamiento de sistemas computacionales. Los centros de datos varían de acuerdo con su propósito y diseño, teniendo diferencias en la cantidad y tipos de dispositivos tecnológicos que lo conforman, siendo necesarios sistemas de enfriamiento, infraestructura de red, recursos de cómputo, sistemas de almacenamiento, sistemas de seguridad y sistemas de respaldo eléctrico (Cisco, 2020b; *International Business Machines [IBM]*, 2022).

El consumo constante de energía proveniente de combustibles fósiles genera una Huella de Carbono (HC), asociada a las emisiones indirectas generadas por las actividades empresariales y el uso de productos y servicios fuera de la empresa (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2013). El consumo de energía de todos los equipos tecnológicos que conforman un centro de datos genera emisiones indirectas de CO₂ conociéndose como Huella de Carbono Digital (Sharma & Dash, 2022). La Huella de Carbono Digital se estima tenga un incremento con la digitalización de sistemas y la creación de más centros de datos (Olvera, 2022).

Se realizó una revisión documental sobre artículos científicos publicados en el periodo de años 2015 – 2023, en el que se haya abordado el tema de Huella de Carbono Digital en México, de dicha revisión se obtuvieron tres artículos científicos en español, donde sólo un artículo está enfocado en México (Olvera, 2022) y dos artículos en Ecuador (Guamán *et al.*, 2021; Townsend, 2021).

En resumen, sólo se encontraron tres artículos en español que hablan de la Huella de Carbono Digital, y sólo uno de ellos se enfoca a México. Lo que indica que este tema ha sido abordado de manera mínima. Hablar de la Huella de Carbono Digital no es lo

mismo que Huella de Carbono, ya que esta última es genérica, incluye autos, fábricas, aviones, entre otros. La Huella de Carbono Digital se enfoca a equipos tecnológicos relacionados a las TIC.

En el aspecto internacional, Patsavellas & Salonitis (2019) han realizado una investigación sobre la HCD, en el cual señalan que la ausencia de información sobre la Huella de Carbono Digital se debe a que los investigadores se enfocan en la parte física de la contaminación tecnológica.

Ante la ausencia de investigaciones que aborden el tema de la Huella de Carbono Digital en México, no se tiene un modelo que permita estimar las emisiones de CO₂ que son generadas por el consumo de energía de los equipos tecnológicos, siendo en específico para esta investigación, los equipos de Tecnologías de la Información y Comunicación que componen un centro de datos de una organización educativa.

En otro aspecto, de acuerdo con información publicada en el Manual General de la Organización de la UJAT (Universidad Juárez Autónoma de Tabasco [UJAT], 2014) señala que, bajo la Coordinación de Redes y Telecomunicaciones, se cuenta con el Departamento de Datos (*DATACENTER*) encargado de administrar los procesos e infraestructura del centro de datos de la Universidad, el cual realiza el intercambio, almacenamiento, comunicación y procesamiento de la información electrónica.

Este estudio se enfocó en la UJAT, debido a que esta institución educativa se ha posicionado como la principal institución de educación superior en el Estado de acuerdo con información publicada en el 4to Informe de Actividades del periodo escolar 2023-2024, ya que posee una oferta educativa de 132 programas educativos distribuidos a

través de 12 divisiones académicas ubicadas en distintos municipios del Estado de Tabasco, donde en el ciclo escolar 2023-2024 atendió a un total de 44,068 alumnos de modalidades escolarizadas y no escolarizadas, en programas de licenciaturas, posgrado y centros de extensión (UJAT, 2024).

1.2.2 Delimitación de la investigación

Alcances

- Los datos de la investigación fueron de los equipos tecnológicos que conforman el espacio reservado del centro de datos de la UJAT.
- Los datos de los equipos tecnológicos se obtuvieron por observación directa y de la documentación técnica de los equipos.
- El aspecto de la contaminación tecnológica se enfocó en la contaminación intangible, en específico, la Huella de Carbono Digital.

Limitaciones

- La investigación se realizó en el centro de datos de la UJAT.
- Limitación de horarios de acceso al centro de datos.
- El inventario de los equipos tecnológicos del centro de datos fue proporcionado por la institución con los datos de marca y modelo.
- Se recurrió a socios tecnológicos para solicitar las hojas técnicas que ya no están disponibles en las páginas web de los fabricantes.
- Se utilizó la licencia académica del *software Tableau*.

1.2.3 Preguntas de investigación

Por lo anterior, se dio respuesta a las siguientes preguntas: ¿Cuánto es la estimación de las emisiones de CO₂ que se libera a partir del consumo eléctrico de los equipos tecnológicos de un centro de datos? y ¿Cómo se compara con otras fuentes de emisiones de CO₂ como transporte público y equipos domésticos?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Evaluar las emisiones de CO₂ generadas por el consumo de energía eléctrica de los equipos de las Tecnología de la Información y Comunicación del centro de datos de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco como forma de apoyo para alcanzar las metas establecidas en los objetivos 9 y 13 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible establecidos por la Organización de las Naciones Unidas.

1.3.2 Objetivos específicos

- Analizar la infraestructura tecnológica existente en el centro de datos de la UJAT, incluyendo servidores, sistemas de almacenamiento, equipos de red y otros dispositivos que consuman energía.
- Recopilar datos sobre el consumo de energía de los equipos tecnológicos del centro de datos, esto incluye aires acondicionados, servidores, sistemas de almacenamiento, equipos de red y otros dispositivos que consuman energía como portátiles y dispositivos NAS (*Network Attached Storage*).

- Estimar las emisiones de CO₂ asociadas con el consumo de energía de los equipos tecnológicos.
- Comparar las estimaciones de CO₂ de los componentes del centro de datos con otras fuentes de emisiones de CO₂ como vehículos y casas residenciales.
- Elaborar las fases del modelo de estimación de CO₂ que permita cuantificar y monitorear la Huella de Carbono Digital del centro de datos en función de tres variables: Cantidad de Equipos Tecnológicos, Cantidad de Consumo de Energía y Cantidad de Emisión de CO₂ y sus escenarios.
- Presentar un informe con los resultados de la investigación, observaciones y recomendaciones obtenidos, dirigido a las autoridades del centro de datos.

1.4 Justificación

En México se tiene escasa información por parte de los centros de datos empresariales y gubernamentales, así como información limitada sobre los centros de datos comerciales que proveen servicios tecnológicos, siendo así un área de oportunidad para la realización de esta investigación en una organización educativa, donde se identificaron las características y componentes de TIC de un centro de datos como el de la UJAT, en el que se identificó su Huella de Carbono Digital.

La Universidad Juárez Autónoma de Tabasco comprometida con el apoyo de alcanzar las metas de transformación internacional, nacional y estatal, ha desarrollado el Plan de Desarrollo Institucional 2020-2024 en el que ha establecido metas que se alinean con los compromisos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030.

que han sido establecidos por la Organización de las Naciones Unidas (ONU); “Como Casa de Estudios comprometida con el bienestar integral de la sociedad, se trabaja en la Agenda 2030 para alcanzar los ODS marcados por la ONU.” (UJAT, 2020, p. 63).

El desarrollo de la Agenda 2030 fue el resultado de la reunión de 193 Estados miembros de la Organización de las Naciones Unidas, en el que se incluyeron sociedades civiles, privadas y autoridades académicas, llevada a cabo en el año 2015, en la que se establecieron los Objetivos de Desarrollo Sostenible con 17 objetivos y 169 metas para ser alcanzadas en el año 2030, con la finalidad de alcanzar una igualdad y dignidad entre las personas, haciendo esfuerzos para cambiar las desigualdades económicas, sociales y ambientales (Naciones Unidas, 2018).

Esta investigación se alinea con dos objetivos establecidos en los ODS en el aspecto ambiental, los cuales se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1

Objetivos y metas de los ODS con los que se alinea la investigación

Objetivo	Meta	Indicador
9. Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación	9.4. De aquí a 2030, modernizar la infraestructura y reconvertir las industrias para que sean sostenibles, utilizando los recursos con mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y ambientalmente racionales, y logrando que todos los países tomen medidas de	9.4.1. Emisiones de CO ₂ por unidad de valor añadido

Objetivo	Meta	Indicador
	acuerdo con sus capacidades respectivas	
13. Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos	13.2. Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales	13.2.1. Número de países que han comunicado el establecimiento o la puesta en marcha de una política, estrategia o plan integrado que aumente su capacidad para adaptarse a los efectos adversos del cambio climático y que promueven la resiliencia al clima y un desarrollo con bajas emisiones de gases de efecto invernadero sin comprometer por ello la producción de alimentos (por ejemplo, un plan nacional de adaptación, una contribución determinada a nivel nacional, una comunicación nacional o un informe bienal de actualización)

Nota. Elaboración propia con datos de Naciones Unidas (2018).

Siendo así esta investigación, un aporte a las estrategias que se desarrollen, para alcanzar de manera interna en la Universidad dichos objetivos de sostenibilidad y responsabilidad con el medio ambiente.

De igual manera, esta investigación aportó información sobre la Huella de Carbono Digital, así como un modelo que sirve para estimar las emisiones de CO₂ de un centro de datos en un contexto universitario en México, permitiendo cuantificar dichas emisiones a partir del consumo eléctrico de los equipos tecnológicos, apoyando a tomar decisiones y acciones de acuerdo con la magnitud de las emisiones estimadas, las cuales son desconocidas por los autores.

Con la implementación de dicho modelo de estimación de emisiones de CO₂, se tuvo una herramienta que contempla todos los componentes tecnológicos físicos que

conforman un centro de datos adaptado al contexto de México, tal como lo hacen en las zonas en las que se encuentran los centros de datos de proveedores de servicio de cómputo en la nube como *VMware* (2021), *Google Cloud Platform* (Google, 2023), *Amazon Web Services* (Amazon, 2022), *Microsoft Azure* (Walsh, 2020), entre otros, que han desarrollado herramientas para estimar las emisiones de CO₂ por el uso de equipos tecnológicos para el computo en la nube.

Así mismo, con los resultados de esta investigación, se generaron observaciones y recomendaciones basados en información de los proveedores de los equipos tecnológicos, normas y leyes nacionales, así como estándares de un centro de datos.

1.5 Metodología utilizada

1.5.1 Enfoque de la Investigación

El enfoque de investigación que se utilizó en este trabajo fue cuantitativo. De acuerdo con Pimienta & De la Orden (2017) este tipo de enfoque “se centra en el análisis e interpretación de datos, números, indicadores y estadísticas asociadas con el objetivo de estudio” (p. 61) con la finalidad de interpretar la realidad mediante instrumentos objetivos y medibles.

El enfoque cuantitativo se aplicó en la cuantificación de los componentes que conforman el centro de datos de la UJAT, así como, la cuantificación de los equipos tecnológicos de cada componente, de igual modo se hizo uso de instrumentos estadísticos para la estimación de CO₂.

1.5.2 Fuentes de Investigación

Las fuentes de investigación que se consideraron para el desarrollo de esta investigación fueron primarias y secundarias. Entre las fuentes primarias de esta investigación se consideran hojas técnicas de equipos tecnológicos, datos públicos de organizaciones, gobiernos e instituciones.

Las fuentes secundarias que se utilizaron en esta investigación fueron artículos científicos nacionales e internacionales, sitios web y libros digitales.

1.5.3 Técnicas de Recolección de Datos

Las técnicas de recolección de datos utilizadas en esta investigación fueron investigaciones de campo e investigación documental.

1.5.4 Investigación de Campo

La investigación de campo es definida por Arias (2012) como “aquella que consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna, es decir, el investigador obtiene la información pero no altera las condiciones existentes” (p. 31). Siendo así los datos recolectados directamente de los equipos tecnológicos que conforman el centro de datos de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

De igual manera se hizo uso de la técnica de observación libre para identificar cada uno de los equipos tecnológicos que componen el centro de datos, con el apoyo de instrumentos de diario de campo y fotografías.

1.5.5 Investigación Documental

La investigación documental es definida como “un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas” (Arias, 2012, p. 27).

Se hizo uso de la técnica de análisis de documentos para validar la información obtenida por la técnica de observación, comparándola con información presente en hojas técnicas o sitios web del fabricante con información sobre los equipos identificados.

1.5.6 Metodología para Aplicar

Para el desarrollo de esta investigación se creó una metodología propia que consiste en 4 fases, las cuales se describen a continuación:

La primera Fase de la metodología aplicada consiste en la identificación del fenómeno, partiendo de las preguntas, ¿Qué se quiere investigar? ¿En dónde se va a investigar?

La segunda Fase de la metodología consiste en la recopilación y preparación de los datos, identificando las técnicas y herramientas de recolección de datos que serán empleadas, así como, los criterios de evaluación que aseguren que la información se obtuvo correctamente.

La tercera Fase consiste en el cálculo de los datos obtenidos, en donde se aplicarán diversos métodos para la transformación y manipulación de la información, con el apoyo de herramientas de *software* para la obtención de los resultados alineados con los objetivos de esta investigación.

La cuarta y última Fase, consiste en la interpretación de los resultados, describir las gráficas y los datos obtenidos, asociados con los objetivos de la investigación y redactar la conclusión de la investigación.

México.

Capítulo 2. Marcos de la investigación

2.1 Marco teórico

Este trabajo se fundamenta en la Teoría General de Sistemas (TGS) la cual fue utilizada para el análisis del objeto de estudio de esta investigación. De igual manera este trabajo hizo uso del Método Sintético para el desarrollo de un método de estimación de CO₂.

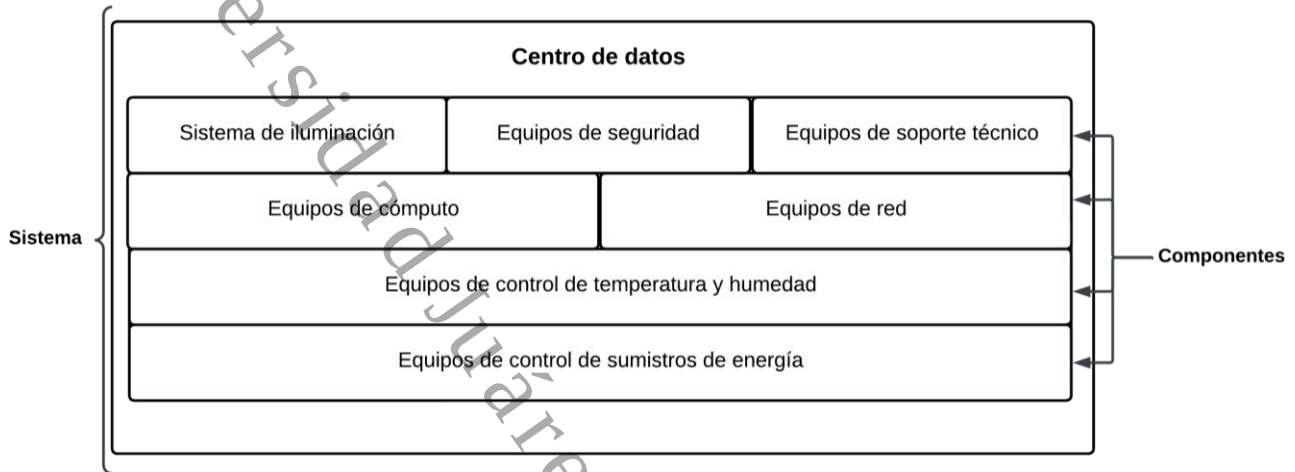
2.1.1 Teoría General de Sistemas

Para abordar el panorama de las emisiones de CO₂ generadas por los componentes del centro de datos de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, se utilizó la Teoría General de Sistemas, la cual se centra en la totalidad, relación, jerarquía, integración y organización de fenómenos. En esta teoría, un fenómeno o entidad debe verse como la totalidad de un conjunto de elementos que interactúan entre sí, conociéndose como sistema, en donde el objetivo de la TGS es identificar y comprender los principios aplicables a todos los sistemas, en donde cada elemento y su interacción con otros elementos pueden afectar la entidad misma (*American Psychological Association [APA], s/f*).

En esta investigación se entendió como entidad o sistema, al centro de datos, y los elementos que conforman a la entidad son los diferentes componentes del centro de datos, como equipos de red, equipos de respaldo de energía, equipos de refrigeración, procesamiento, entre otros, que intervienen en el funcionamiento del centro de datos, como se muestra en la Figura 2.

Figura 2

Diagrama del centro de datos como sistema compuesto de subsistemas

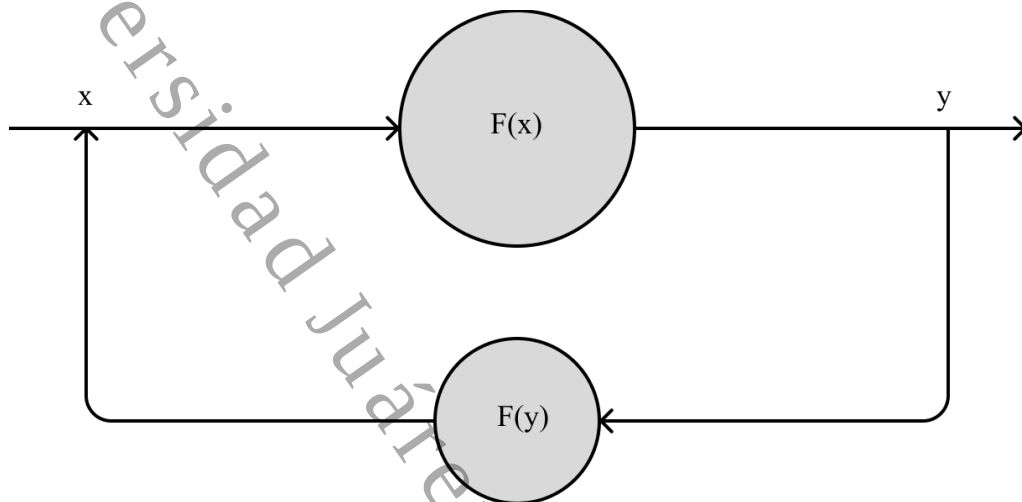


Nota. Elaboración propia.

La Teoría General de Sistemas señala que sistema abierto se compone de los elementos de Entrada, Proceso, Salida y Retroalimentación. En donde los elementos de Entrada se entienden como recursos indispensables del sistema. El elemento de Proceso está marcado por las funciones de conversión y transformación de los recursos de Entrada. El elemento de Salida equivale a la “exportación” o generación de información que puede ser utilizado como elemento de Entrada para otros sistemas. El elemento de Retroalimentación es el flujo que permite validar el elemento de Salida con respecto a los objetivos del sistema, estableciendo un mecanismo de control para determinar si se requieren adecuaciones al elemento de Entrada (Johansen, 2019). En la Figura 3 se visualiza la interacción completa de los elementos de un sistema de la TSG.

Figura 3

Interacción de elementos de un sistema



Nota. Elaboración propia basada en Johansen (2019). X = corriente de entrada, y = corriente de salida, $F(x)$ = función de conversión de la corriente de entrada, $F(y)$ = función de conversión de la corriente de salida originada por la información de retroalimentación.

La interacción de estos elementos fue utilizada para la creación del modelo de estimación de la Huella de Carbono Digital generado por el centro de datos de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

2.1.2 Método Sintético

En esta investigación, se basó en el Método Sintético para el desarrollo de un método de estimación de CO_2 de la Huella de Carbono Digital de los equipos eléctricos y electrónicos del centro de datos. El Método Sintético es definido por Ortiz (2006) como:

La síntesis es un proceso de razonamiento que tiende a reconstruir un todo, a partir de los elementos distinguidos por el análisis; se trata en consecuencia de hacer una exploración metódica y breve, en resumen. En otras palabras, debemos decir que la síntesis es un procedimiento mental que tiene como meta la comprensión cabal

de la esencia de lo que ya conocemos en todas sus partes y particularidades. (p. 64)

2.2 Marco referencial

De la revisión de la literatura realizada, se identificaron investigaciones nacionales e internacionales sobre la Huella de Carbono Digital y medición de energía de equipos de Tecnologías de la Información y Comunicación.

Las investigaciones encontradas fueron filtradas por los criterios de tiempos; en el que hayan sido publicadas en el periodo de años del 2015 – 2023, así como por el idioma; investigaciones en el idioma español.

2.2.1 Investigaciones Nacionales

La nube contaminante. Un análisis socioambiental de la huella de carbono digital.

Olvera (2022) realizó una investigación documental sobre la Huella de Carbono Digital partiendo de la definición de esta para contextualizar la situación actual de las emisiones de CO₂ que se liberan por el uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación a nivel mundial. La investigación tiene como objetivo la aportación de elementos sobre la discusión sobre el daño ambiental que se realiza por las actividades digitales globales, así como, hacer énfasis que en el contexto del año 2022 el incremento de los servicios digitales va en aumento.

Olvera concluye que la ausencia de información sobre los centros de datos y sus características, dificultan realizar estudios precisos, por lo que sólo se puede limitar a la generación de datos estimados. De igual modo, se afirma que la Huella de Carbono

Digital tiene una alta huella ecológica, ya que esta genera grandes cantidades de calor, así como de emisiones de CO₂.

Él señala que se debe de hacer un esfuerzo conjunto para alcanzar una digitalización sostenible en donde se involucren a los fabricantes, consumidores y proveedores de servicios digitales, quienes deben de tomar acciones para reducir el impacto ambiental.

Ahorro de la Energía y eficiencia energética en la zona de la cultura de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

López-Villarreal *et al.*, (2022) realizaron un estudio sobre la reducción de la demanda eléctrica de los edificios que conforman la zona de la cultura de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, donde los datos son provenientes del año 2009. Los datos fueron obtenidos con el apoyo de una empresa para la medición directa de la demanda eléctrica de los equipos eléctricos de un periodo de 21 meses (2007 - 2009).

Se utilizó una modificación de la metodología Producción más Limpia (P+L) para mejorar la experiencia práctica de la medición de la eficiencia energética.

De la investigación se concluye que se tuvo una reducción de las emisiones de los Gases de Efecto Invernadero de 1,526.01 Toneladas (Tons) CO₂-año, así como un ahorro de energía eléctrica de 2,340,154.27 kWh-año (kilo watts hora) y reducción de la demanda eléctrica de 367 kW, esto se logró de la implementación de diversas recomendaciones de equipamientos y operaciones de los equipos eléctricos, dando un beneficio económico de \$4,993,354.74.

2.2.2 Investigaciones Internacionales

Impacto ambiental por consumo de energía en los Data Centers.

Guamán *et al.*, (2021) (Ecuador) desarrollaron una investigación documental sobre la huella de carbono generado por los centros de datos. Los autores señalan en la era digital está cada vez más en aumento el uso de servicios digitales, donde los centros de datos juegan un rol importante en el procesamiento, almacenamiento y distribución de información a diferentes sistemas conectados, donde las empresas y los usuarios hacen uso de esos datos.

El incremento de los sistemas digitales conlleva a que se incremente el consumo de energía, en donde, cada país incluye diferentes fuentes de energías renovables y/o no renovables en sus líneas de suministro de energía hace que se generen diferentes huellas de carbono, siendo las energías no renovables fuente de emisión de CO₂.

De la investigación se concluye que, los GEI no son emitidos de manera directa por acciones del ser humano, sino que se debe a la suma de acciones indirectas a través de la huella de carbono digital, la cual es producida por todo equipo eléctrico que consume electricidad en un centro de datos.

Las actividades relacionadas con el trabajo remoto en el año 2020 no redujeron la Huella de Carbono Digital, ya que al incrementarse la cantidad de dispositivos tecnológicos conectados a Internet requirió de servidores funcionando las 24 horas en los 7 días de la semana, representando a nivel mundial un incremento en el consumo de energía.

Los investigadores señalan que se debe hacer uso de energías 100% renovable en los centros de datos para la reducción de la Huella de Carbono Digital, así como, utilizar equipos eléctricos que hagan uso de la eficiencia energética.

La huella de carbono digital en los centros de datos privados.

Townsend (2021) (Ecuador) desarrolló una investigación en un centro de datos privado con nivel de certificación *TIER* tipo 2, con una dimensión de 120 m², en el que se midió las emisiones directas de CO₂ por consumo de energía y las emisiones indirectas por el almacenamiento y procesamiento de la información digital en equipos tecnológicos.

Para la realización de las mediciones del centro de datos, se identificaron sus principales componentes de TIC, los cuales son: Equipos de climatización, sistemas de UPS y servidores.

La recopilación de la información fue de tipo documental para el análisis teórico y se utilizaron técnicas de campo con herramienta de medición y técnicas estadísticas de datos digitales.

Townsend concluye que las estimaciones del cálculo de las emisiones de la Huella de Carbono Digital en los centros de datos han variado en la forma de calcularlo debido al crecimiento del uso de la energía, el desarrollo de nuevas tecnologías en equipos de TIC, así como al crecimiento de los equipos de Internet de las Cosas, las regulaciones en los sistemas de enfriamiento y planes de ahorro de energía.

Se señala que para reducir la Huella de Carbono Digital es necesario hacer uso de las funcionales de ahorro de energía de los equipos tecnológicos, así como, aplicar estrategias de virtualización, apagar los servidores cuando no se estén utilizando, renovar

los quipos antiguos o que estén obsoletos, al igual que, apoyarse se servicios de cómputo en la nube para el procesamiento de datos masivos que no sean necesarios realizarlos en el centro de datos.

2.3 Marco conceptual

2.3.1 Modelo

Un modelo de carácter científico hace uso de una teoría existente para la explicación de un fenómeno o conjunto de fenómenos basado en diferentes criterios, en que se haga un adecuado manejo entre fuentes primarias y fuentes secundarias de información, con la finalidad que amplíe, mejore o fortalezca la comprensión de la realidad (Castañeda, 2017).

Acevedo-Díaz *et al.*, (2017) señala que los modelos se componen de cuatro características:

- **Construcción:** Los modelos representan una parte de la realidad basada en una teoría, pero igual de otros elementos que aportan que el modelo tenga independencia parcial respecto a la teoría y la realidad.
- **Funcionamiento:** Los modelos pueden adaptarse a distintas formas, independientes al objeto sobre el que se operan, ya que pueden ser utilizados para experimentar o explorar otras teorías.
- **Capacidad de representación:** Un modelo es la representación parcial de la realidad, por lo que es posible que se apoye de un conjunto de modelos para expresar las características y propiedades de un fenómeno.

- **Papel en el aprendizaje:** Los modelos son instrumentos potentes para el aprendizaje ya que son fuente y medio de conocimiento, al crear una estructura representativa y de desarrollo de pensamiento científico.

2.3.2 Contaminación.

La contaminación es definida como la presencia de un agente contaminante físico, químico o biológico (o cualquier combinación de estos agentes) que causa inestabilidad, desorden, daño o deformidad en un ambiente o ser vivo, con afectaciones nocivas para la salud, seguridad y/o bienestar de una población (Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Refugiados [ACNUR], 2018; CEPAL, 2017; Fundación Aquae, 2021).

Existen diferentes tipos de contaminación de acuerdo con el medio al que se afecta o de acuerdo con el tipo de agente contaminante (Fundación Aquae, 2021).

Contaminación del Medio

Contaminación Atmosférica

La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2022) define la contaminación atmosférica o también conocida como contaminación del aire, como la presencia de agentes físicos, químicos o biológicos que alteran las características naturales de la atmosfera. La calidad del aire está relacionada con la temperatura del planeta y los diferentes ecosistemas que lo componen, siendo los Gases de Efecto Invernadero (GEI) contaminantes que afectan la calidad del aire. Las principales fuentes de contaminación se asocian con la quema de combustibles fósiles (aparatos domésticos de combustión, vehículos de motor, instalaciones industriales, entre otros) y los incendios forestales.

Las sustancias de mayor preocupación que se han relacionado con la contaminación atmosférica son: partículas en suspensión, dióxido de carbono (CO_2), ozono (O_3), dióxido de nitrógeno (NO_2) y dióxido de azufre (SO_2). Las sustancias están relacionadas con enfermedades cerebrovascular, cardiopatía isquémica, cáncer pulmonar, neumonía, cataratas, entre otras enfermedades nocivas para la salud (*World Health Organization [WHO]*, 2021).

Huella de Carbono

La Huella de Carbono (HC) es definida por la CEPAL (2013) como un indicador de GEI que son generados y emitidos por las actividades de las empresas en la producción y uso de productos y servicios a lo largo de todo su ciclo de vida. La HC identifica seis GEI: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF_6). De igual manera, la CEPAL hace una distinción entre dos tipos de fuentes de emisión:

- **Emisiones directas:** son todas aquellas proveniente de fuentes de la empresa o institución, por actividades relacionadas con el consumo eléctrico, quema de combustibles fósiles, embalajes, entre otras.
- **Emisiones indirectas:** son todas aquellas proveniente de fuentes que no son propiedad de la empresa o institución, que ocurren por consecuencia de actividades como transporte o uso y/o reciclaje de productos cuando ya no están en poder del consumidor.

Contaminación Hídrica

La contaminación hídrica o la contaminación del agua es causada por la presencia de agentes químicos, residuos físicos o biológicos, este último agente es causado por la proliferación microbiana causada por las heces y/o aguas residuales de entornos urbanizados o industrializados, poniendo en peligro la salud humana a causa de la generación y transmisión de enfermedades como: diarrea, cólera, disentería, fiebre tifoidea, poliomielitis, entre otras (OMS, 2022a).

Se contempla que los problemas causados por la contaminación del agua vayan en aumento por el crecimiento de la población y las consecuencias generadas por el cambio climático, causando una mayor presión social y económica en todo el mundo para el control efectivo de la contaminación del agua (*United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization [UNESCO], 2015*).

Contaminación del Suelo

La contaminación del suelo hace referencia a la presencia de químicos o sustancias no pertenecientes a un entorno o con mayor presencia fuera de los niveles normales, que tienen efectos adversos en los diferentes organismos, en donde la contaminación del suelo no puede ser evaluada o percibida de manera visual causada por la industrialización, guerras, minería y el incremento en las actividades agrícolas (Rodríguez-Eugenio *et al.*, 2019).

El crecimiento de la contaminación del suelo está generando una reacción en cadena que altera la biodiversidad del suelo, reduciendo la materia orgánica, desestabilizando sus nutrientes y perdiendo las capacidades de filtración, haciendo que

los mantos acuíferos en la superficie y las aguas subterráneas se contaminen, afectando la producción de alimentos, que se estima es del 95% la producción de alimentos que se obtienen de manera directa o indirecta del suelo. Esta afectación repercute en la alimentación de todas las formas de vida (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [ONUAA], 2018).

Contaminación por Agente Contaminante

Contaminación Química

La contaminación química es la presencia de agentes externos al ambiente que causan afectaciones a los seres vivos, al agua, tierra y aire, en donde se ha tenido un incremento en el periodo de los años del 2000 a 2017, donde se contempla que para el año 2030 esta producción de sustancias se duplique y para el año 2050 se triplique, principalmente en los países que no son miembros de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) (Naciones Unidas, 2022a).

La contaminación química está marcada por las diferentes actividades realizadas por las industrias, al no hacer un correcto tratamiento de sus residuos como: hidrocarburos, residuos farmacéuticos, pesticidas, herbicidas, fertilizantes sintéticos, sustancias tóxicas resultantes de actividades mineras, entre otras. Este tipo de contaminación le causan al ser humano distintas enfermedades como: lesiones hepáticas, hipertensión, disminución de la respuesta inmunitaria, disminución de la fertilidad y diferentes tipos de cáncer, entre otras enfermedades (Naciones Unidas, 2022a).

Contaminación Radiactiva

La contaminación radiactiva se deriva de la presencia en el ambiente de materiales de alta radiación, radiación es la emisión de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas que se mantienen en constante movimiento. Comúnmente la radiación a la que se expone el ser humano proviene de fuentes artificiales como aparatos de rayos X y radiofármacos, hasta fuentes radiactivas provenientes de centrales eléctricas nucleares (OMS, 2016).

Los efectos en la salud a las que se expone un ser humano al estar en contacto con una fuente radiactiva pueden ser perjudicial, tal como lo señala la OMS (2016):

...la radiación puede afectar el funcionamiento de órganos y tejidos, y producir efectos agudos tales como enrojecimiento de la piel, caída del cabello, quemaduras por radiación o síndrome de irradiación aguda. Estos efectos son más intensos con dosis más altas y mayores tasas de dosis. Por ejemplo, la dosis liminar para el síndrome de irradiación aguda es de aproximadamente 1 Sv (1000 mSv). (Sección Efectos de las radiaciones ionizantes en la salud, párr. 4)

Contaminación Térmica

La contaminación térmica es el aumento de la temperatura de un ambiente o ecosistema natural que ocasiona afectaciones en el entorno. Esta contaminación térmica se produce por actividades industrializadas del ser humano, generando emisiones térmicas en las que se incluyen los Gases de Efecto Invernadero (GEI) que se liberan en el proceso de refrigeración o calentamiento (WWF, 2021).

Contaminación Acústica

La contaminación acústica es la presencia de ruidos fuertes que persisten durante un tiempo prolongado causando afectaciones. El ruido es la presencia de sonidos no deseados que se definen como; “fenómenos físicos complejos que tienen su origen en la vibración de una fuente que propaga la energía a un medio en forma de onda sonora” (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], 2022, p. 8).

Se ha identificado que este tipo de contaminación genera afectaciones de salud al ser humano, especialmente en las ciudades en donde se ha relacionado con enfermedades cardíacas, trastornos metabólicos, diabetes, problemas auditivos y alteraciones en la salud mental, entre otras enfermedades, causado por el ruido del tráfico vehicular, ferrocarril, actividades de construcción, actividades de ocio, entre otros factores más (Naciones Unidas, 2022b).

Contaminación Tecnológica

En esta investigación el concepto de contaminación tecnológica está basado en la definición de contaminación hecha por la CEPAL (2017), el cual se entenderá como contaminación tecnológica a la presencia de agentes físicos, químicos o cualquier combinación de ambos, procedente de equipos tecnológicos eléctricos y electrónicos causados por su creación, gestión, uso o desecho que altere, dañe y/o genere inestabilidad en un ecosistema o ambiente y cause afectaciones a la biodiversidad.

En el concepto de contaminación tecnológica, se hace la distinción entre contaminación tecnológica tangible y contaminación tecnológica intangible, las cuales son explicadas en las siguientes secciones.

Contaminación Tecnológica Tangible

Este tipo de contaminación es asociada a los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) definido en el sitio web de la *Basel Convention*, (2011) como todo equipo eléctrico y electrónico (incluyendo todos sus componentes, subconjuntos y consumibles que lo conforman) que es desechado. Otros autores como Paniagua *et al.*, (2020) definen los RAEE como cualquier aparato eléctrico o electrónico que ha concluido su ciclo de vida útil.

Un informe publicado por la *United Nations E-waste Coalition*, (2019) indica que los RAEE representan el 2% de los desechos sólidos mundiales, se estima que en el año 2021 se produjo un volumen superior a los 52 millones de toneladas de RAEE, de igual manera, estos representan el 70% de los residuos peligrosos que terminan en los vertederos o rellenos sanitarios, provocando que los compuestos tóxicos contaminen la atmósfera, suelos y mantos acuíferos, ya que, un sólo RAEE puede llegar a contener más de 1,000 sustancias diferentes.

Contaminación Tecnológica Intangible

La contaminación tecnológica intangible es un problema que no se percibe de forma directa por el uso de la tecnología, ya que de manera indirecta se generan contaminantes como GEI que son liberados a la atmósfera y se asocian al cambio climático (Organización para el Desarrollo Sustentable [ODS], 2023) así como, la contaminación térmica e hídrica generada por las emisiones de calor de los procesos que realizan los centros de datos, en los que empresas como Microsoft utilizan fuentes de agua para enfriar sus equipos o ubican sus centros de datos en zonas frías (Walsh, 2022).

Huella de Carbono Digital

La Huella de Carbono Digital (HCD) es la generación de GEI producidos por la generación de energía a partir de combustibles fósiles, para el funcionamiento de los equipos eléctricos y electrónicos. En donde, en la cuarta revolución industrial con el desarrollo de la globalización y el uso de Internet es necesario para estar en comunicación con diferentes sistemas, infraestructuras y servicios de Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) (Joyanes, 2020).

La expansión del Internet ha conllevado a que se estime que cerca de dos tercios de la población mundial tenga acceso a Internet en el año 2023, como lo indica el reporte anual de Internet realizado por la empresa Cisco (2020a), en donde se estima más de 30 mil millones de dispositivos/conexiones a Internet, entre los que se hace la distinción de las categorías; tabletas, computadoras personales, televisiones, teléfonos no inteligentes, teléfonos inteligentes y conexiones máquina a máquina, siendo esta última categoría la de mayor porcentaje con el 50% de conexiones totales, en la que se incluyen dispositivos de Internet de las Cosas, los cuales generan una transmisión de información constante.

En donde se estima que en los siguientes años continúe la tendencia de crecimiento de usuarios que se conectan a Internet, aumentando la HCD.

2.3.3 Energía Eléctrica

La energía eléctrica es considerada como una necesidad esencial para el desarrollo económico y de mejora para la calidad humana, siendo así considerada en los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030, en donde se alcance el acceso renovable, sostenible, confiable y asequible de la energía eléctrica, así como estos

objetivos contribuyan al cumplimiento del Acuerdo de París, en donde México se ha comprometido a reducir sus emisiones de GEI en 25% (CEPAL, 2018).

Consumo de Energía Activo

El consumo de energía activo, es el consumo de energía generado por todos los aparatos eléctricos y electrónicos destinados para la iluminación, confort, preparación u conservación de alimentos e higiene personal, en donde datos publicados en el Informe de monitoreo de la eficiencia energética en México (CEPAL, 2018), indican que el sector residencial presenta el tercer lugar en el consumo de energía en México, seguido del sector de transporte y el sector industrial.

Consumo de Energía Pasivo

El consumo de energía pasivo (energía en reposo, energía en espera, modo inactivo) es el consumo de energía de aparatos eléctricos y electrónicos cuando se encuentran inactivos o con un consumo de energía bajo, en espera de una señal o acción para realizar una determinada actividad, estos equipos se pueden identificar si cuentan con ciertas características como: control remoto, fuente de poder, pantalla digital, baterías recargables, luz *LED* (Light-Emitting Diode), entre otros (Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica [FIDE], 2020).

Datos publicados por la Comisión Nacional para el Uso de Eficiente de la Energía (CONUEE) estiman que el consumo de energía pasivo en hogares es 24 Watts y anualmente este consumo de energía puede llegar hasta 160 kWh, lo que representa aproximadamente el 10% del consumo de energía de una casa en México, en donde, este consumo puede aumentar con el incremento de dispositivos tecnológicos que

implementen este consumo en espera (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, 2014).

El consumo de energía pasivo se suma a la totalidad de la demanda eléctrica aportando al incremento de la HCD ya que “muchos dispositivos electrónicos consumen energía incluso cuando están inactivos o en modo de espera, lo que contribuye aún más a la huella de carbono de la tecnología” (ODS, 2023, párr. 3).

2.3.4 Sustentabilidad

La sustentabilidad es definido como la aplicación de argumentos para explicar razones, pensamiento o defender una idea (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2018). El termino sustentabilidad o sustentable, es frecuente que se confunda con el termino sostenible o sostenibilidad. Fernández y Gutiérrez, (2013) concluyen en su estudio que la confusión en estos dos términos es asociada al anglicismo de la palabra *sustainable*, que es usado popularmente para referirse a la palabra sostenible o sostenibilidad.

2.3.5 Sostenibilidad

La sostenibilidad es definida por Naciones Unidas en el informe de la comisión de Brundtland del año 1987 como “satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de las futuras generaciones de satisfacer sus necesidades propias” (2020, párr. 2). Las Naciones Unidas estiman que, en la actualidad, cerca de 140 países en desarrollo buscan acciones para satisfacer sus necesidades de desarrollo, tratando de reducir las emisiones de GEI y el uso de recursos que no afecten o impacte

negativamente a las generaciones futuras, tomando como guía los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030.

2.3.6 Centro de Datos

Un centro de datos (*data center* por su nombre en inglés) es definido por la *International Business Machines (IBM, 2022)* como un recurso físico que hace posible la computación empresarial, el cual es fundamental para las operaciones de TI, concentra sistemas críticos donde los datos son almacenados, procesados y difundidos a usuarios. Se conforma de los siguientes aspectos:

- Sistema de computación empresarial
- Equipos de red y *hardware* asociados a la continuidad de los sistemas de computación a Internet
- Fuentes de alimentación y subsistemas, sistemas eléctricos para prevención de interrupciones, respaldo de energía y controles ambientales (aires acondicionados y sistemas de refrigeración)

De igual manera, se debe asignar espacios aislados en los que se pueda asegurar la integridad física de los equipos, así como, brindar fuentes confiables de electricidad, y conectividad de alta velocidad. Este espacio no debe estar en o cerca de zonas inundables, ni ser vulnerables a otros peligros ambientales.

Pacio (2014) hace una categorización de centros de datos de acuerdo con la dimensión y equipos que los integra:

- Sala de servidores: es una estructura menor a 20 m², con menos de 20 servidores y con equipamiento no profesional.
- Centro de cómputo: las dimensiones del espacio son mayores a 20 m² y menores a 40 m², con menos de 50 servidores y con equipamiento semiprofesional.
- Centro de datos: se ubica en espacios mayores a 40 m², más de 50 m² y equipamiento profesional.

2.4 Marco tecnológico

2.4.1 Microsoft Excel

Microsoft Excel es un *software* de hoja de cálculo basado en el uso de celdas para contener números, textos o formulas, las cuales pueden ser agrupadas en filas y columnas, permitiendo realizar operaciones matemáticas, ordenado y filtrado de datos, así como, realizar tablas y graficas con los datos en celdas. *Microsoft Excel* puede almacenar grandes cantidades de datos en libros que contienen una o más hojas de cálculo (Microsoft, 2020a, 2020b).

La versión del *software Microsoft* que se utilizó en esta investigación fue *Microsoft 365* bajo la licencia estudiantil proporcionada por la UJAT. Dicho *software* fue utilizado para la creación de un *dataset* de los equipos eléctricos y electrónicos que se identificaron del centro de datos, así como, se realizaron diversos cálculos requeridos para estimar el consumo eléctrico y emisiones de CO₂.

2.4.2 *Jamovi Desktop*

Jamovi Desktop es el resultado del *Jamovi Project* con el propósito de desarrollar una plataforma estadística libre y gratuita para el uso de métodos estadísticos, sin el inconveniente de los costos de productos estadísticos como *SPSS* y *SAS*. *Jamovi Desktop* es un tipo de hoja de cálculo de “tercera generación” optimizada para datos estadísticos que permite realizar un conjunto completo de análisis como: pruebas t, Análisis de la varianza (ANOVAS), correlación y regresión, entre otras con la integración del lenguaje estadístico R (Jamovi Project, 2022).

Por las características mencionadas, se hizo uso de *Jamovi Desktop* para el desarrollo de esta investigación, con la cual se analizó, exploró y transformó los datos provenientes de *datasets* públicos de emisiones de CO₂.

2.4.3 *Tableau Desktop*

Tableau Desktop es un *software* de análisis de datos visual que implementa inteligencia de negocios para la transformación de datos que permitan tomar acciones a partir de la información generada en *Dashboard* interactivos. Con *Tableau Desktop* se puede hacer uso de datos en instalaciones físicas o en la nube proveniente de bases de datos SQL, hojas de cálculo o aplicaciones en la nube, con los que se realice cálculos eficaces, análisis de tendencias, regresiones y correlaciones que permitan detectar oportunidades y tomar decisiones basada en datos de confianza (Tableau Software, 2018).

En esta investigación se empleó *Tableau Desktop*, ya que en el año 2023 ha sido nombrado en el informe de la empresa Gartner, como líder en plataformas de análisis e

inteligencia de negocios por onceavo año consecutivo, sobresaliendo entre otras plataformas del mercado (Ajenstat & Arellano, 2023). Así como, se hizo uso de la licencia gratuita para estudiantes de *Tableau Desktop Professional Edition*, para el desarrollo de *Dashboards* interactivos en los que se visualicen los principales hallazgos de la investigación.

2.4.4 Figma Design

Figma Design es un servicio web y aplicación para computadoras enfocada para el diseño de sitios web, aplicaciones móviles, productos y experiencias digitales, en el que ha establecido su misión en hacer el diseño accesible para todos a través sus funciones y características (Figma, 2023a).

Para esta investigación, se utilizó aplicación de *Figma* para el desarrollo de diagramas y figuras, así como para el diseño del contenido del informe entregado a las autoridades del centro de datos.

2.5 Marco legal

2.5.1 Licencias de Software

Licencia de Estudiante de Software Microsoft 365

La Universidad Juárez Autónoma de Tabasco en convenio con *Microsoft México* proporciona acceso a los profesores y estudiantes a su plataforma para el desarrollo y preparación de los jóvenes (UJAT, s/f). La UJAT proporciona licencia estudiantil de *Microsoft 365*, permitiendo hacer uso de los programas de ofimática de *Microsoft* en las que se incluye *Excel*, las cuales están registradas bajo la Licencia Estándar de Aplicaciones (*Microsoft*, 2022), la cual no entra en conflicto con esta investigación.

Licencia AGPL3 de Software Jamovi Desktop

Jamovi Desktop es un *software* producto del proyecto Jamovi Project el cual hace uso de la licencia *Affero General Public License 3 (AGPL3)* (Jamovi Project, 2023), el cual tiene como requisito el compartir el código fuente modificado que se ejecute en un servidor personal, con la finalidad que más desarrolladores puedan contribuir con la versión creada (GNU, 2022). Esta investigación cumple con los requisitos del *software* al no generar ni modificar el *Software Jamovi Desktop*.

Licencia de Estudiante de Software Tableau Desktop

Tableau proporciona licencias gratuitas a estudiantes de instituciones educativas acreditadas con la finalidad de incrementar los conocimientos y alfabetización de datos con recursos de aprendizaje y *software* gratuito, en donde las licencias se pueden instalar hasta en dos equipos para el desarrollo de cualquier actividad, en las que se incluyen empresarial y prácticas profesionales (Tableau Software, 2015).

Licencia de software Figma Design

Figma Design ofrece diferentes planes de servicios a diferentes costos, para el caso de esta investigación, se utilizó el plan de servicio *Starter* el cual es de costo gratuito con funciones limitadas comparado con los diferentes planes (Figma, 2023c). En el aspecto de la licencia del servicio se indica que el usuario puede acceder y hacer uso de la plataforma *Figma* para el alcance de los fines establecidos en “*FIGMA SOFTWARE SERVICES AGREEMENT*” (Figma, 2023b) los cuales no entran en conflicto con el desarrollo de esta investigación.

2.5.2 Protocolos y Acuerdos Internacionales

Protocolo de Kyoto

El Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (Naciones Unidas, 1998), establece metas y objetivos de reducción de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de los países industrializados, en donde se reconocen como los principales responsables de las emisiones de GEI que son liberados a la atmosfera, en donde se establecieron medidas y políticas de acuerdo con las circunstancias de cada país, entrando en vigor en el año 2005. México es uno de los 33 países de América Latina y el Caribe que ha ratificado las acciones en el protocolo de Kyoto desde el año 2000 (CEPAL, 2005).

Acuerdo de París

El Acuerdo de París de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (Naciones Unidas, 2015a), es el resultado de la 21a conferencias del año 2015 entre países que establecieron metas y objetivos para mantener el aumento de la temperatura global del planeta por debajo de los 2°C por causas de las emisiones de carbono. Donde los principales acuerdos fueron establecer la reducción de las emisiones de GEI con la adopción de la mejor información científica disponible, así como, el compromiso de cada nación en preparar, comunicar y mantener contantes contribuciones de mitigación internas para alcanzar los objetivos. El Acuerdo de París está en vigor desde el año 2020, en donde México lo ha ratificado desde el año 2016 (CEPAL, 2016).

Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible

La Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas (Naciones Unidas, 2015b) ha adoptado desde el año 2015 un plan de acción para favorecer a las personas, el planeta y la prosperidad, plasmados en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030, la cual consta de 17 Objetivos con 169 metas que abordan temas de economía, sociales y ambiental, los cuales deben ser alcanzados en el año 2030.

Los ODS implican un compromiso común entre las naciones, así como retos específicos dependiendo de los recursos de los países, en los que se han establecido metas y objetivos nacionales siguiendo las disposiciones de la Asamblea General, siendo de interés para esta investigación los objetivos de a alcanzar relacionados con la reducción de las emisiones de CO₂ contra el cambio climático.

2.5.3 Leyes Nacionales

Ley General de Transparencia y Acceso a la Información Pública

En el año 2016, en México se publicó en el Diario Oficial de la Federación (DOF) la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública, en donde en su Artículo 1 se establece que:

La presente Ley es de orden público y tiene por objeto proveer lo necesario en el ámbito federal, para garantizar el derecho de acceso a la Información Pública en posesión de cualquier autoridad, entidad, órgano y organismo de los poderes Legislativo, Ejecutivo y Judicial, órganos autónomos, partidos políticos, fideicomisos y fondos públicos, así como de cualquier persona física, moral o

sindicato que reciba y ejerza recursos públicos federales o realice actos de autoridad, en los términos previstos por la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y la Ley General de Transparencia y Acceso a la Información Pública. (Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública, 2016, p. 1)

Si como en el Artículo 2, que señala los principales objetivos de la ley, en donde se indica que a todo solicitante se le debe proveer acceso a la información en procedimientos sencillos, así como, transparentar la información oportuna, verificable, inteligible, relevante e integral.

Ley General de Cambio Climático

En México, en el año 2012 se publicó en el DOF la Ley General de Cambio Climático, en donde en su Artículo 2, Párrafo 1, 2 y 5, establece que esta ley tiene por objetivo:

I. Garantizar el derecho a un medio ambiente sano y establecer la concurrencia de facultades de la federación, las entidades federativas y los municipios en la elaboración y aplicación de políticas públicas para la adaptación al cambio climático y la mitigación de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero;

II. Regular las emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero para que México contribuya a lograr la estabilización de sus concentraciones en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático considerando, en su caso, lo previsto por el artículo 2o. de la

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y demás disposiciones derivadas de la misma;

V. Fomentar la educación, investigación, desarrollo y transferencia de tecnología e innovación y difusión en materia de adaptación y mitigación al cambio climático;

(Ley General de Cambio Climático, 2012, pp. 1-2)

Capítulo 3. Aplicación de la metodología y desarrollo

En este capítulo se aplicó la metodología seleccionada, la cual consiste en cuatro fases, las cuales se indican en los siguientes puntos:

- Fase 1.- Diseño del Estudios.
- Fase 2.- Recopilación de datos.
- Fase 3.- Análisis de datos.
- Fase 4.- Interpretación de resultados.

A continuación, se explica de forma detallada de cada fase.

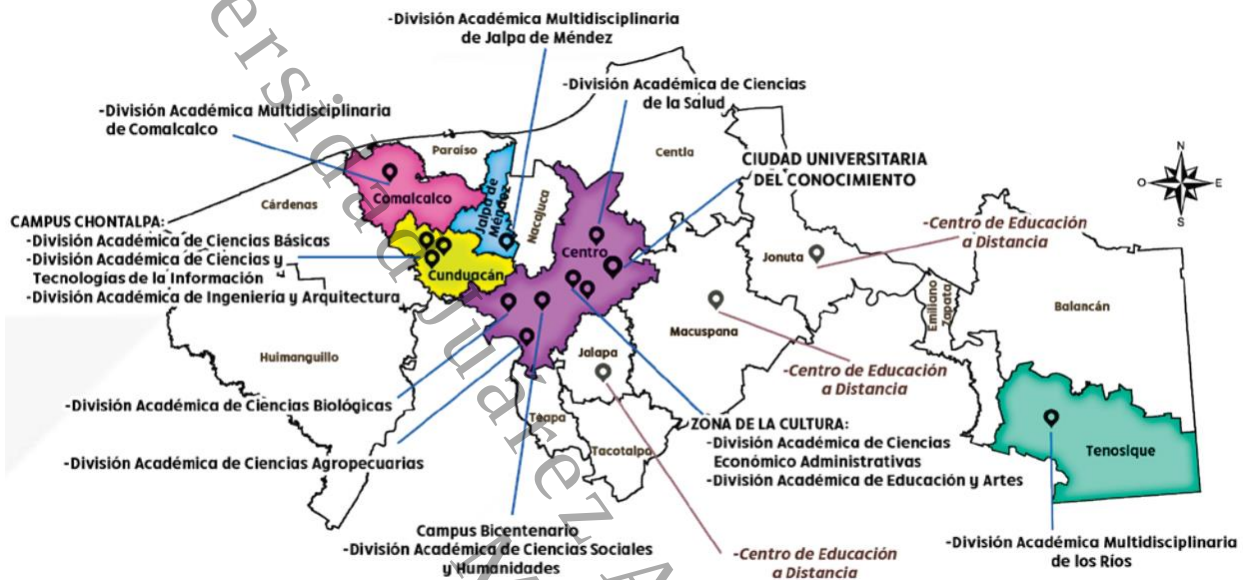
3.1 Fase 1 – Identificación del fenómeno

3.1.1 Descripción del entorno

La Universidad Juárez Autónoma de Tabasco al posicionarse como la principal institución de educación superior en el Estado, oferta 132 programas educativos distribuidos a través de 12 divisiones académicas ubicadas en distintos municipios del Estado de Tabasco (ver Figura 4), donde en el periodo escolar 2023-2024 atendió a 44,068 alumnos de modalidades escolarizadas y no escolarizadas en programas de licenciaturas, posgrado y centros de extensión, así como, contó con 2,042 personal administrativo y 2,219 docentes, (UJAT, 2024).

Figura 4

Divisiones Académicas en los diferentes municipios del Estado de Tabasco

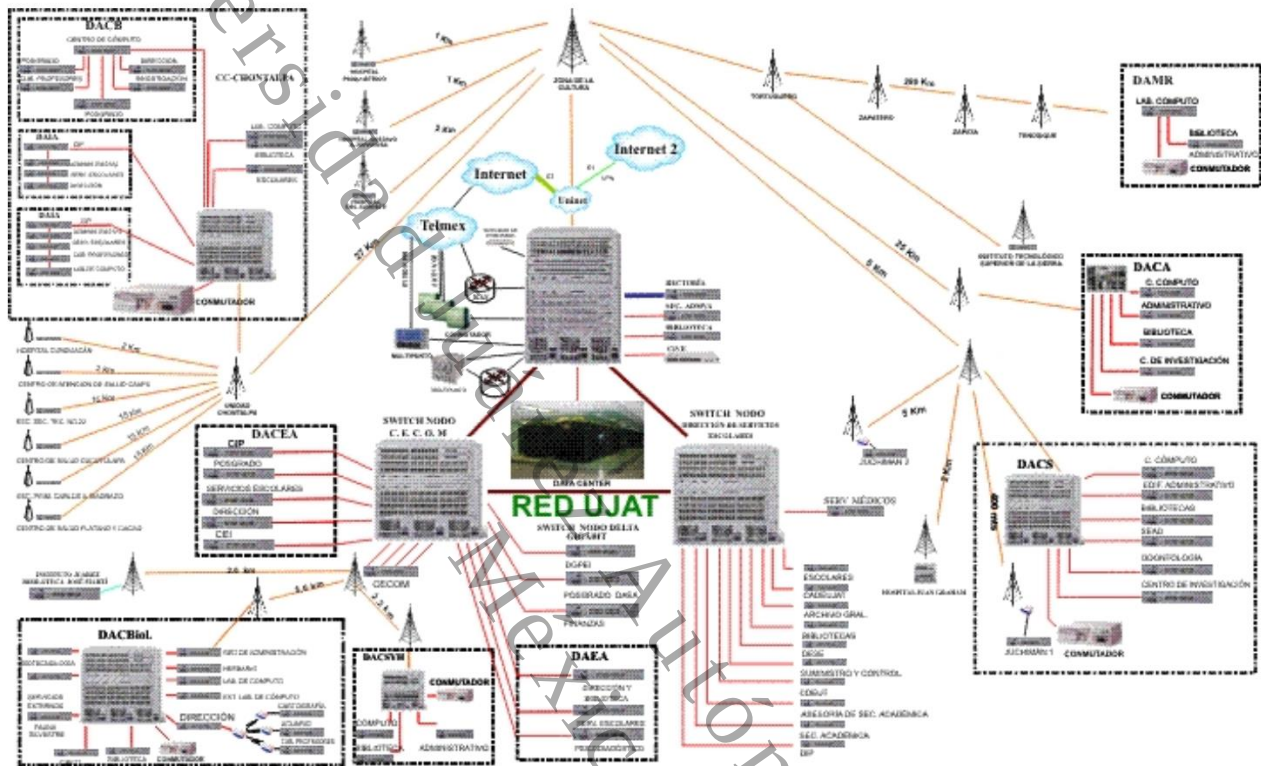


Nota. UJAT (2024).

Para satisfacer las demandas de calidad educativa y los servicios asociados, la UJAT ha desarrollado una infraestructura tecnológica que permite tener alcance con todas las divisiones académicas, en las que se pueda hacer uso de los diferentes sistemas institucionales, como: sistemas de calificaciones, red inalámbrica de Internet, sitio web, sistemas bibliotecario, correo institucional, entre otros sistemas y servicios (ver Figura 5).

Figura 5

Diagrama de conexión de la Red UJAT



Nota. Yris (2007).

Por lo anterior, se creó la Dirección de Tecnologías de Información e Innovación (DTII) ubicado en la Zona de la Cultura, en la ciudad de Villahermosa, Tabasco (ver Figura 6), la cual tiene por objetivo dirigir y evaluar programas institucionales para impulsar, establecer y administrar la aplicación de las tecnologías de información e innovación a los procesos de gestión de la UJAT, con el propósito de contar con los recursos para el diseño e implementación de estrategias organizacionales de administración del cambio y competitividad.

Figura 6

Edificio de Dirección de Tecnologías de Información e Innovación



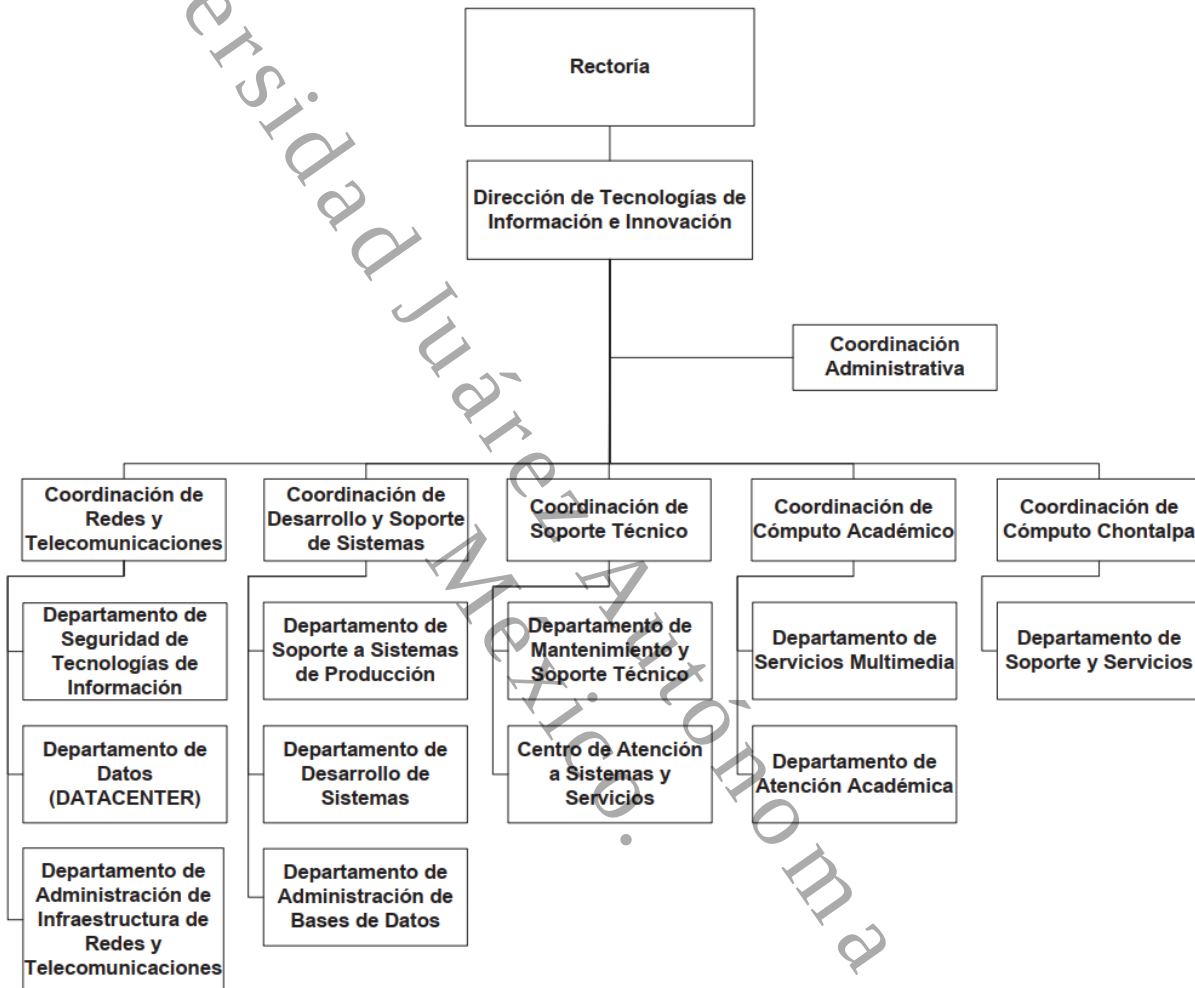
Nota. Google (2019).

3.1.2 Objeto de estudio

La Dirección de Tecnologías de Información e Innovación, cuenta con diversas coordinaciones enfocadas en objetivos específicos, las cuales administran diferentes departamentos de trabajo, en la cual, bajo la Coordinación de Redes y Telecomunicaciones, se cuenta con el Departamento de Datos (DATACENTER) (ver Figura 7).

Figura 7

Organigrama de Dirección de Tecnologías de Información e Innovación



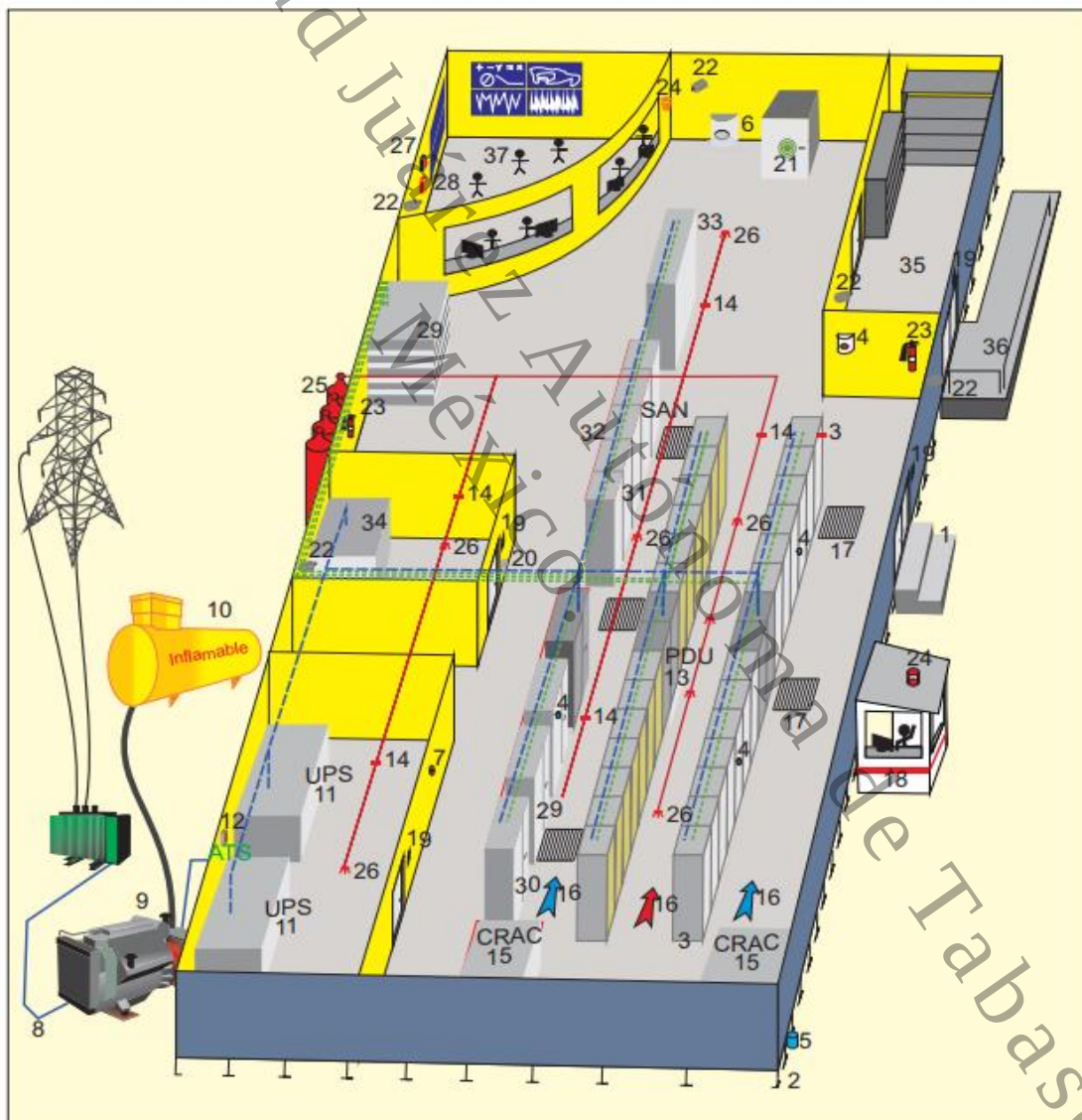
Nota. UJAT (2014).

Desde el Departamento de Datos se administran los procesos e infraestructura del centro de datos de la UJAT, el cual realiza el intercambio, almacenamiento, comunicación y procesamiento de la información electrónica de los diferentes sistemas asociados, como correo electrónico, sistemas de calificación, Red Inalámbrica UJAT, entre otros.

Para tener una visión clara sobre el diseño y componentes de un centro de datos, en la Figura 8 se muestra un diagrama general de un centro de datos, ya que, por políticas de seguridad y privacidad, no se puede compartir el diagrama real.

Figura 8

Diagrama general de un centro de datos



Nota. Pacio (2014).

Tal como se definió en los objetivos específicos de esta investigación, la información de consumo de energía fue recolectada sólo de los equipos que componen el espacio reservado del centro de datos en el edificio de DTII en los que se encuentran servidores, equipos de red, sistemas de almacenamiento, iluminación, refrigeración, entre otros equipos tecnológicos.

3.1.3 Cumplimiento de normatividad

Para realizar esta investigación, se hizo el trámite de estancia de investigación en el Departamento de Datos a cargo de la Dirección de Tecnologías de Información e Innovación, en el cual, se tuvieron diversas reuniones con el personal técnico a cargo de los equipos tecnológicos, así como de las funciones de administración y gestión de las políticas de seguridad, en el cual se le indicaron al investigador, las normas y políticas de seguridad en cuestión de la privacidad de datos y seguridad de los equipos, por lo que se llegó a un acuerdo de confidencialidad para no difundir información sensible al término de esta investigación, ya que para el propósito de este estudio, se solicitaron las marcas y modelos de todos los equipos tecnológicos que componen el espacio reservado de equipos del centro de datos.

Una vez aceptados los acuerdos de confidencialidad, se generó el oficio de aceptación de la estancia de investigación (ver Apéndice A).

3.2 Fase 2 – Recopilación y preparación de datos

Por parte del responsable de los equipos que componen el centro de datos, se proporcionó un archivo de Excel con el listado de los equipos con los campos de

información de marca, modelo y una breve descripción, categorizados en servidores e infraestructura.

3.2.1 Revisión de datos

Se realizó una revisión de cada registro del documento proporcionado, ya que se detectaron inconsistencias en los registros que presentaban datos que no correspondían a los campos de información indicados, como modelos y marcas en un sólo campo, registros en el modelo que contenían partes del número de serie, nombres de marcas abreviados o escritos con diferente nomenclatura y omisión parcial del modelo del equipo.

De igual manera, se observó la ausencia de registros de equipos eléctricos como luminarias y equipos de contraincendios, por lo que se solicitó la información correspondiente para que se integrara en el listado de equipos.

3.2.2 Búsqueda de hojas técnicas

A partir de los datos de marca y modelo de cada equipo tecnológico, se realizaron las búsquedas de las hojas técnicas de los equipos, en las que se indican todas las especificaciones, entre ellas el consumo eléctrico. Se presentaron diferentes complicaciones para encontrar sus hojas técnicas, ya que hay equipos que son antiguos y los fabricantes ya no las tienen disponibles en sus sitios web, por lo que se tuvo que recurrir a consultar dichas hojas técnicas en sitios web de socios tecnológicos o revendedores de equipos, generando incertidumbre si los datos fueron manipulados, ya que sus hojas técnicas presentan diseños y logos de los revendedores.

En total se realizaron la búsqueda de hojas técnicas de 153 equipos, de los cuales, 79 equipos pertenecen a la clasificación de servidores y 74 equipos a la clasificación de infraestructura.

3.2.3 Registro de datos

Se realizó la revisión de cada una de las hojas técnicas para integrar en el archivo de Excel los datos de voltaje, amperaje y consumo máximo de cada equipo, las cuales se describen en la Tabla 2.

Tabla 2

Variables identificadas de las hojas técnicas

Variable	Descripción
Voltaje (Voltio)	Es la unidad de medida de la tensión, se obtiene dividiendo la energía potencial entre la cantidad de carga, identificado con la letra V (Aliverti, 2017)
Amperaje (Amperio)	Es la unidad de medida de la cantidad de carga de la corriente eléctrica, identificado con la letra A (Aliverti, 2017)
Consumo-Máximo	Es la cantidad de energía máxima requerida para el funcionamiento de un equipo eléctrico

Nota. Elaboración propia.

De igual manera, con los valores obtenidos de las hojas técnicas que se calcularon las variables complementarias: watt, consumo medio, consumo por día, consumo por mes y consumo por año, las cuales se describen en la Tabla 3.

Tabla 3*Variables calculadas*

Variable	Descripción
Watt (Potencia)	Es la unidad de medida de la cantidad de energía requerida para realizar una acción, se obtiene multiplicando el voltaje por el amperaje, identificado con la letra W (Aliverti, 2017)
Consumo-Medio	Valor obtenido dividiendo el valor de la variable Consumo-Máximo entre dos
Consumo-Día	Valor obtenido multiplicando la variable Consumo-Máximo por 24
Consumo-Mes	Valor obtenido multiplicando la variable Consumo-Día por 30.41
Consumo-Año	Valor obtenido multiplicando la variable Consumo-Mes por 12

Nota. Elaboración propia.

A partir de la revisión de las hojas técnicas y consultas realizadas con el personal técnico del centro de datos, se identificaron equipos tecnológicos que no consumen energía directa de la red eléctrica o que no se encuentran en operación de manera continua, por lo que se descartaron los datos de esos equipos, dichos equipos fueron: detectores de humo, bombas de agua y unidades de distribución de energía. Después de hacer el descarte de los registros en el listado de los equipos, se quedó con un total de 120 registros.

3.2.4 Creación de dataset

Una vez registrado todos los datos requeridos de los equipos tecnológicos que componen el centro de datos, se procedió a eliminar los valores de marca y modelo de

los quipos, con la finalidad de dar cumplimiento con el acuerdo de confidencialidad indicado por DTII.

Así mismo, se generó el archivo de *dataset* en formato de Valores Separados por Coma (CSV por sus siglas en inglés) el cual se encuentra en el Apéndice B, mismo que se utilizó en la Fase 3 de Análisis de datos.

3.2.5 Búsqueda de datos complementarios

Se realizó la búsqueda de información complementaria para el desarrollo de esta investigación, las cuales fueron utilizadas en la Fase 3 de esta metodología, dichos datos se enlistan en los siguientes puntos.

Factor de Emisión

El Factor de Emisión del Sistema Eléctrico Nacional es un valor estadístico proporcionado por la Comisión Reguladora de Energía (CRE), para el cálculo de las emisiones indirectas de Gases de Efecto Invernadero por consumo de energía proveniente de las centrales eléctricas que entregan energía a la red eléctrica nacional, dicho valor es generado anualmente. Para el cual, en el año 2023 el valor se estableció en 0.438 tCO₂ / mWh (Toneladas de dióxido de carbono entre mega watts hora) (ver Anexo A).

Emisiones de CO₂ de vehículos

Para comparar las emisiones de CO₂ generadas por el consumo de energía del centro de datos de la UJAT, se utilizó como valor de contraste las emisiones de CO₂ generadas por el parque vehicular en el Estado de Tabasco, los cuales se indican en el

Programa Sectorial de Movilidad Sostenible 2019 – 2024 de la Secretaría de Movilidad (Cornelio, 2019), los valores utilizados se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4

Datos de emisiones de CO₂ del parque vehicular en Tabasco 2019

Concepto	Valor
Automóviles	348,021
Promedio de Km por año	15,000
Total de Km recorridos por total de vehículos	5,220,315,000
Rendimiento de Km/L	10
Litros de combustibles	522,031,500
KgCO ₂ /L	2.3
Tons anuales de CO ₂	1,200,672.45

Nota. Elaboración propia basada en datos de Cornelio (2019).

Consumo promedio de energía de casa residencial

Se utilizó como valor de contraste el consumo promedio de energía de una casa residencial en el Estado de Tabasco del año 2016 publicado por Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) el cual indica que el valor promedio anual de consumo de energía es de 3,156.87 kWh por residencia (SEMARNAT, 2020). Se hace énfasis que se utilizó este valor del año 2016 dada la ausencia de información cercana al año 2024 sobre el valor promedio de consumo de energía de una casa residencial en el Estado de Tabasco.

3.3 Fase 3 – Análisis de datos

En esta Fase se hizo uso de los datos contenidos en el *dataset* de los equipos que componen el centro de datos, así como, se utilizaron los datos complementarios para calcular los siguientes valores.

3.3.1 Categorización de equipos

A partir de la información presente en las hojas técnicas de los equipos e información publicado en los sitios web de los fabricantes, se realizó la clasificación de cada uno de los equipos en las categorías: red, almacenamiento, computadora de escritorio, procesamiento, monitoreo, videoconferencia, enfriamiento e iluminación.

3.3.2 Consumo total máximo de energía

El consumo total máximo de energía es la suma de todos los valores de la variable Consumo-Máximo de los equipos que se contienen en el *dataset*. Este valor es utilizado como referencia para indicar cuanto es la máxima cantidad de energía que puede llegar a consumir por hora todos los equipos que componen el centro de datos, dicho valor es 90,285.40 Wh.

3.3.3 Consumo total medio de energía

El consumo total medio de energía es la suma de todos los valores de la variable Consumo-Medio de los equipos que se contienen en el *dataset* o se puede obtener dividiendo entre dos el valor del consumo total máximo de energía. Este valor es utilizado como referencia para indicar una aproximación real de la cantidad de energía que utilizan por hora los equipos que componen el centro de datos, dicho valor es 45,142.70 Wh.

3.3.4 Consumo total medio de energía por categoría de equipos

El consumo total medio de energía por categoría es utilizado como referencia para indicar una aproximación real de la cantidad de energía utilizan por hora de los equipos del centro de datos de acuerdo con las categorías indicadas en el *dataset*. Estos datos son utilizados para identificar cuáles son las categorías de equipos que más energía consumen, los cuales se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5

Consumo total medio de energía por categoría de equipos

Categoría	Valor (Wh)
Almacenamiento	5,727.5
Computadora de escritorio	245
Enfriamiento	18,400
Iluminación	504
Monitoreo	281.7
Procesamiento	17,920
Red	1,714.5
Videoconferencia	350
Consumo total medio de energía	45,142.70

Nota. Elaboración propia.

3.3.5 Emisiones de CO₂ del centro de datos

Para determinar las emisiones de CO₂ del centro de datos, se realizó la suma de todos los valores de la variable Consumo-Mes, generando la cantidad 65,874,920.50 Wh, posteriormente, dicho valor se dividió entre 1,000,000 para convertirlo a mWh, generando el valor máximo de consumo de energía de 65.89 mWh por mes. Este valor se dividió entre dos para obtener el valor medio de consumo de energía de 32.945 mWh por mes.

El valor medio de consumo de energía por mes se multiplicó por el factor de emisión establecido en 0.438 tCO₂ / mWh, dando como resultado 14.43 tCO₂ liberado al mes por el consumo de energía de los equipos tecnológicos que componen el centro de datos. En la Tabla 6 se muestra el sumen de los datos utilizados.

Tabla 6

Resumen de datos para cálculo de CO₂ del centro de datos

Variable	Valor
Consumo-Mes	65,874,920.50 Wh
Wh a mWh	1,000,000
Consumo-Mes (Convertido)	65.89 mWh por mes
Consumo-Mes medio	32.945 mWh por mes
Factor de Emisión	0.438 tCO ₂ / mWh
Emisiones de CO ₂ del centro de datos	14.43 tCO ₂ por mes

Nota. Elaboración propia.

3.3.6 Emisiones de CO₂ de un automóvil

Para determinar las emisiones CO₂ de un automóvil en el Estado de Tabasco, se utilizó el valor total de las toneladas anuales de CO₂ dividido entre el parque vehicular del Estado, establecido en 348,021 unidades, dando como resultado 3.45 tCO₂ liberados al año por un sólo vehículo. En la Tabla 7 se muestra el sumen de los datos utilizados.

Tabla 7

Resumen de datos para el cálculo de CO₂ de un automóvil

Variable	Valor
Tons anuales de CO ₂ de vehículos	1,200,672.45
Total de vehículos Automóviles	348,021
Emisiones por vehículo	3.45 tCO ₂ por año

Nota. Elaboración propia.

3.3.7 Emisiones de CO₂ de una casa residencial

Para determinar las emisiones de CO₂ de una casa residencial en el Estado de Tabasco, se utilizó el valor promedio anual de consumo de energía establecido en 3,156.87 kWh por residencia, dicho valor se dividió entre 1,000 para convertirlo a mWh, generando el valor de 3.156 mWh por año, el cual se multiplicó por el factor de emisión establecido en 0.438 tCO₂ / mWh, dando como resultado 1.382 tCO₂ liberado al año por el consumo de energía de una casa residencial. En la Tabla 8 se muestra el sumen de los datos utilizados.

Tabla 8

Resumen de datos para el cálculo de CO₂ de una casa residencial

Variable	Valor
Consumo Promedio Anual	3,156.87 kWh
kWh a mWh	1,000
Consumo Promedio Anual (Convertido)	3.156 mWh
Factor de Emisión	0.438 tCO ₂ / mWh
Emisiones de CO ₂ de casa residencial	1.382 tCO ₂ por año

Nota. Elaboración propia.

3.4 Fase 4 – Interpretación de resultados

Para tener un panorama amplio sobre las emisiones de CO₂ generados por el consumo de energía de los equipos que componen el centro de datos de la UJAT, se realizó una comparación de las equivalencias de las emisiones de CO₂ producidos por vehículos en el Estado de Tabasco, de igual manera, las emisiones del centro de datos se compararon con la equivalencia de las emisiones de CO₂ generadas por casas

residenciales del Estado de Tabasco y posteriormente se generó un *Dashboard* con todos los datos generados.

3.4.1 Comparación de las emisiones de CO₂ del centro de datos contra emisiones de vehículos

Para determinar a cuantos vehículos equivalen las emisiones del CO₂ del centro de datos de la UJAT, se dividió entre 12 el valor de las emisiones anuales para obtener las emisiones mensuales de un vehículo en el Estado de Tabasco, dando como resultado la emisión de 0.288 tCO₂ por mes.

Las emisiones de CO₂ del centro de datos se dividió entre la emisión vehicular para obtener la equivalencia de la cantidad de vehículos, el cual se indica que es equivalente a las emisiones de 50.19 vehículos por mes en el Estado de Tabasco. En la Tabla 9 se muestra el sumen de los datos utilizados.

Tabla 9

Resumen de datos para el cálculo de equivalencias de CO₂ del centro de datos a vehículos

Variable	Valor
Emisiones por vehículo	3.45 tCO ₂ por año
Emisiones por vehículo (Convertido)	0.288 tCO ₂ por mes
Emisiones del centro de datos	14.43 tCO ₂ por mes
Equivalencia de vehículos	50.19 vehículos por mes

Nota. Elaboración propia.

3.4.2 Comparación de las emisiones de CO₂ del centro de datos contra emisiones de casa residencial

Para determinar a cuantas casas residenciales equivalen las emisiones de CO₂ del centro de datos de la UJAT, se dividió entre 12 el valor de las emisiones anuales para obtener las emisiones mensuales de una casa residencial en el Estado de Tabasco, dando como resultado la emisión de 0.115 tCO₂ por mes.

Las emisiones de CO₂ del centro de datos se dividió entre la emisión de la casa residencial para obtener la equivalencia de la cantidad de casas, el cual se indica que es equivalente a las emisiones de 125.3 casas residenciales por mes en el Estado de Tabasco. En la Tabla 10 se muestra el sumen de los datos utilizados.

Tabla 10

Resumen de datos para el cálculo de equivalencias de CO₂ del centro de datos a casas residenciales

Variable	Valor
Emisiones de CO ₂ de casa residencial	1.382 tCO ₂ por año
Emisiones de CO ₂ de casa residencial (Convertido)	0.115 tCO ₂ por mes
Emisiones del centro de datos	14.43 tCO ₂ por mes
Equivalencias de casas residenciales	125.3 casas por mes

Nota. Elaboración propia.

3.4.3 Creación de Dashboard de visualización de datos

A partir de los datos contenidos en el *dataset* de equipos y los datos calculados, se realizó un *Dashboard* para tener una visión completa sobre las emisiones de CO₂ del

centro de datos, así como su comparación con las emisiones de vehículos y casas residenciales del Estado de Tabasco.

Para la creación del *Dashboard* se utilizó el software *Tableau* en el cual se cargó el *dataset* y se realizaron el cálculo de las variables de emisiones de CO₂ de los vehículos y las casas residenciales (ver Figura 9).

Figura 9

Carga de dataset en Tableau

Tableau - Dashboard

Archivo Datos Servidor Ventana Ayuda

Conexiones Ahadir

06DatasetEquiposCentroDatos - Listo

Archivos

Ucar el intérprete de datos

Puede que el intérprete de datos esté disponible para limpiar su libro de trabajo Archivo de texto.

06DatasetEquipos... - Listo.csv

Nueva unión de filas

Nueva extensión de tabla

06DatasetEquiposCentroDatos - Listo

Conexión

En tiempo real Extraer

Filtros 0 | Añadir

¿Necesita más datos?

Arrastre tablas para establecer relaciones entre ellas. Más información

06DatasetEquiposCentroDatos - Listo 16 campos 120 filas

100 filas

Nombre	06DatasetEquiposCentroDatos - Listo.csv
No	No
Categoría	06DatasetEquipos... Categ...
Voltaje(V)	06DatasetEquipos... Voltaje...
Amperaje(A)	06DatasetEquipos... Ampe...
Watts(WA)	06DatasetEquipos... Watts...
ConsumoMáximo	06DatasetEquipos... Consa...

Campos	Tipo	Nombre de campo	Tabla física	Nom...
#	No	06DatasetEquipos...	No	
Alt	Categoría	06DatasetEquipos...	Categ...	
Alt	Voltaje(V)	06DatasetEquipos...	Voltaje...	
Alt	Amperaje(A)	06DatasetEquipos...	Ampe...	
Alt	Watts(WA)	06DatasetEquipos...	Watts...	
#	ConsumoMáximo	06DatasetEquipos...	Consa...	

No	Categoría	Voltaje(V)	Amperaje(A)	Watts(WA)	ConsumoMáximo
1	Red	90	2.2	198	60
2	Red	100	5	500	484
3	Red	230	0.24	55.2	55
4	Red	230	0.24	55.2	55
5	Red	264	2.5	660	300
6	Red	264	2.5	660	300
7	Almacenamiento	264	2.5	660	600
8	Computadora de escritorio	265	-	-	250
9	Red	220	3	660	660
10	Red	100	0.5	50	40

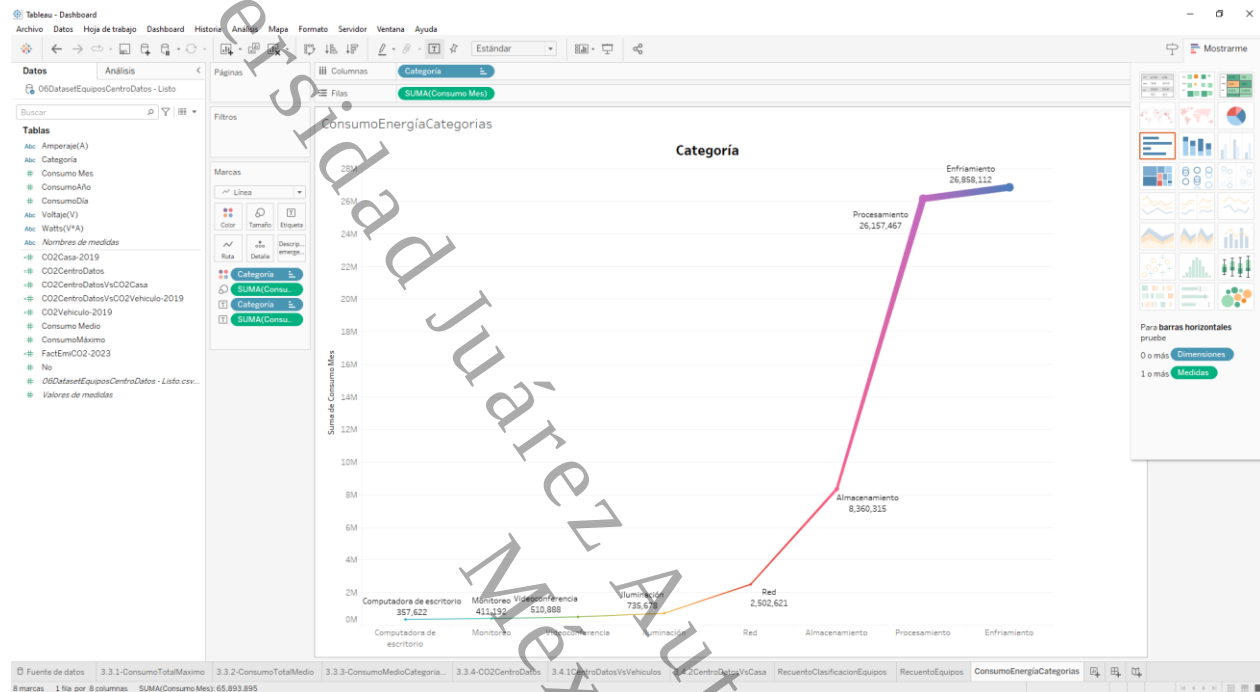
Fuente de datos 3.3.1-ConsumoTotalMáximo 3.3.2-ConsumoTotalMedio 3.3.3-ConsumoMedioCategoría 3.3.4-CO2CentroDatos 3.4.1-CentroDatosVsVehículos 3.4.2-CentroDatosVsCasa RecuentoClasificaciónEquipos RecuentoEquipos Hoja 9

Nota. Elaboración propia.

En *Tableau* cada gráfica o representación de valores debe ser creada de manera separa en una hoja, tal como se muestra en la Figura 10, las cuales, posteriormente integraran los elementos del *Dashboard*.

Figura 10

Creación de gráficas en Tableau



Nota. Elaboración propia.

Para la creación del *Dashboard*, se realizó la agrupación de las gráficas sobre un *Layout* sobre el cual se distribuyeron para presentar la información distribuida en diferentes secciones.

Capítulo 4. Resultados

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de esta investigación a partir de la metodología aplicada en el capítulo 3, en la que se desarrollaron diferentes diagramas de los resultados obtenidos relacionados a los objetivos de la investigación, así como en el cual, se integra información de dos artículos científicos realizados de manera paralela a esta investigación, enfocados en las acciones para reducir las emisiones de CO₂ de proveedores de cómputo en la nube y fabricantes de equipos tecnológicos para centros de datos.

4.1 Proceso de generación de energía

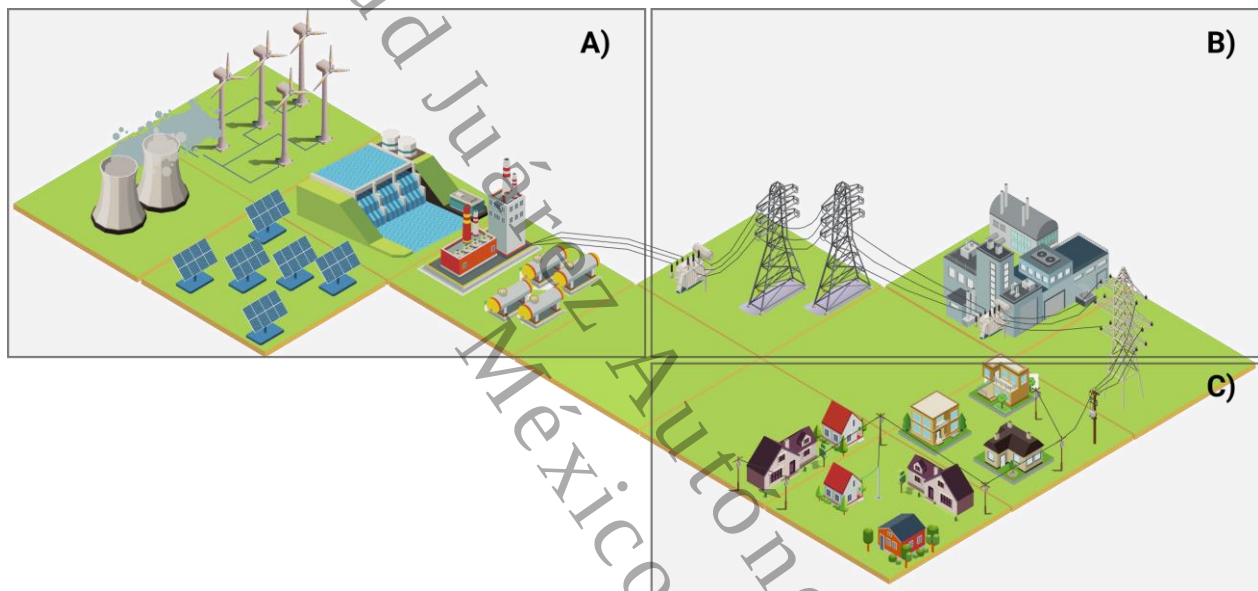
Los resultados de esta investigación parten de la identificación del proceso de generación de energía y como esta es llevada a los usuarios finales para su uso a través de equipos eléctricos y electrónicos, ya que permite entender que la contaminación asociada a la Huella de Carbono Digital (HCD) está marcada por las fuentes de energías utilizadas para producir energía eléctrica y distribuirla, por lo que el CO₂ de la HCD no se libera en el sitio en el que se utiliza el equipo eléctrico o electrónico final, siendo el caso de esta investigación, el centro de datos de la UJAT.

En la Figura 11 se muestra el proceso completo de la HCD, el cual inicia con la generación de energía a partir de diferentes fuentes, como nucleares, eólicas, solar, hidroeléctricas, hidrocarburos, carbón, entre otras fuentes (Figura 11A). La segunda etapa del proceso consiste en transformar la energía eléctrica para posteriormente distribuirla a estaciones eléctricas cerca de ciudades o comunidades (Figura 11B). La tercera etapa conlleva el distribuir la energía eléctrica a los usuarios finales (casas y

empresas) para el uso de equipos eléctricos y electrónicos (Figura 11C), siendo el caso específico de esta investigación, el centro de datos de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Figura 11

Proceso de generación y entrega de energía eléctrica



Nota. Elaboración propia. Panel A: Generación de energía. Panel B: Transformación de energía. Panel C: Distribución de energía a usuarios finales.

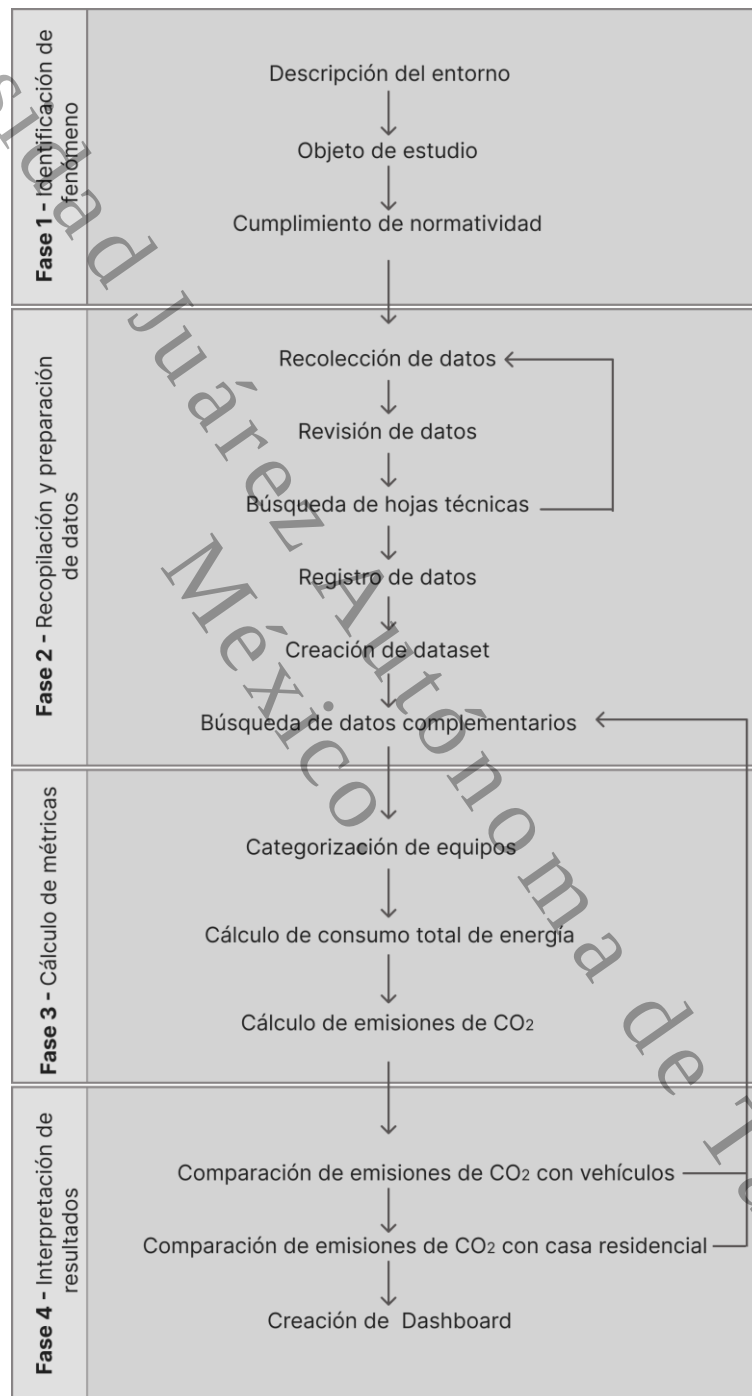
Conocer las etapas del proceso de generación de energía hasta la entrega de energía a usuarios finales, permitió entender las fuentes de información que se pueden utilizar para la generación del modelo de estimación de CO₂ de Huella de Carbono Digital de esta investigación.

4.2 Método sintético de HCD

Un resultado no previsto de esta investigación fue el desarrollo de un método denominado por los investigadores como “Método sintético de HCD” fundamentado en el Método Sintético descrito en el marco teórico de esta investigación. Dicho método sirve para la estimación de la Huella de Carbono Digital, el cual fue descrito en la metodología aplicada de este trabajo y a su vez fue aplicado en el capítulo 3 de esta investigación, en el que se indicaron los pasos estructurados desglosados en 4 fases, tal como se muestra en la Figura 12.

Figura 12

Método sintético de HCD



Nota. Elaboración propia.

Durante el proceso de aplicación del método de esta investigación, se identificaron puntos de mejoras que se aplicaron al Método Sintético de HCD, en el cual en la Fase 2 de recopilación y preparación de datos, se hace la indicación que, durante la ejecución del paso de búsqueda de hojas técnicas, al estar buscando las hojas técnicas de los equipos y estas no sean encontradas, se recurra al paso de recolección de datos para la validación de que los datos capturados sean correctos.

Otra mejora identificada fue durante la obtención de los datos de comparación de las emisiones de CO₂ con vehículos y la comparación de las emisiones de CO₂ con casa residencial, ya que se debe verificar que los procedimientos realizados sean correctos, utilizando las unidades correspondientes y los decimales necesarios, con la finalidad de reducir sesgos en los datos.

A partir del Método Sintético de HCD se desarrolló y documentó el modelo de estimación de Huella de Carbono Digital.

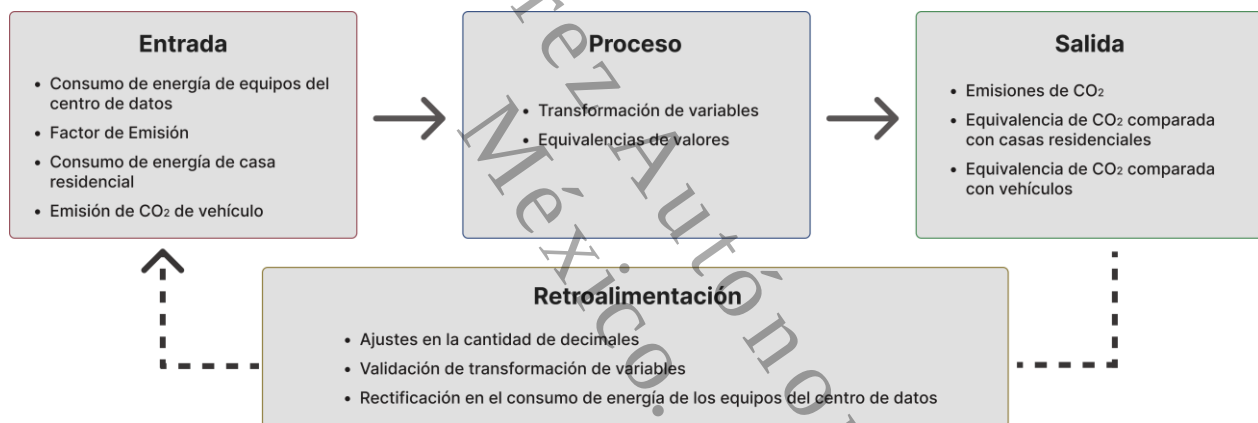
4.3 Modelo de estimación de HCD

El desarrollo del modelo de estimación de la Huella de Carbono Digital está fundamentado en la Teoría General de Sistemas, en la Figura 13 se muestran los componentes del modelo desarrollado, en el cual los elementos de Entrada identificados son “Consumo de energía de equipos del centro de datos” el cual se obtuvo a partir de las hojas técnicas de los fabricantes de los equipos. “Factor de Emisión” del Sistema Eléctrico Nacional del año 2023. “Consumo de energía de casa residencial” y “Emisión de CO₂ de vehículos” utilizados como valor de contraste de las emisiones del centro de datos. Los elementos de Proceso son “Transformación de variables” y “Equivalencias de

valores” de acuerdo con los cálculos realizados. Los elementos de Salida es la “Emisiones de CO₂” del centro de datos, “Equivalencia de CO₂ comparada con casas residenciales” y “Equivalencia de CO₂ comparada con vehículos”. Los elementos de Retroalimentación son “Ajustes en la cantidad de decimales”, “Validación de transformación de variables” y “Rectificación en el consumo de energía de los equipos del centro de datos”.

Figura 13

Modelo de estimación de HCD



Nota. Elaboración propia.

4.4 **Dashboard de emisiones de CO₂**

Los principales resultados de esta investigación se centran en la cantidad de CO₂ que emite el centro de datos de la UJAT, así como los valores de contrastes utilizados como vehículos del Estado de Tabasco y casas residenciales del Estado de Tabasco, dichos valores se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11

Emisiones de CO₂ de centro de datos, vehículos y casas residenciales

Variable	Emisiones de tCO₂ (por mes)
Centro de datos	14.43
Vehículo	0.288
Casa residencial	0.115

Nota. Elaboración propia.

A partir de las emisiones del centro de datos, se realizó una comparación de las equivalencias de emisión con otras fuentes, como valor de contraste para el dimensionamiento de la Huella de Carbono Digital generado, dichas equivalencias se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12

Comparativa de emisiones del centro de datos contra otras fuentes de emisión

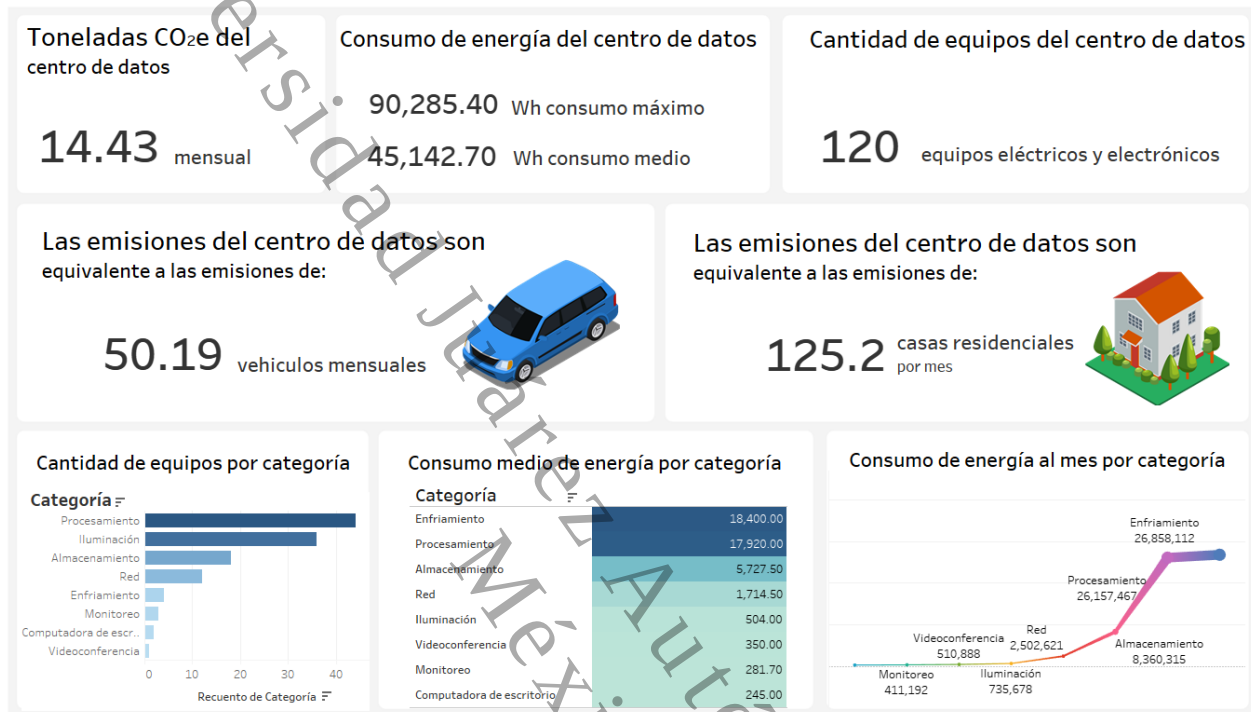
Variable	Equivalencia
Vehículo	50.19
Casa residencial	125.3

Nota. Elaboración propia.

A través de la visualización de los datos generados en esta investigación, se permitió tener un panorama completo sobre las emisiones de CO₂ del centro de datos, permitiendo tener claridad a los responsables del centro de datos sobre la responsabilidad y tomas de decisiones a partir de datos concretos para el desarrollo de estrategias de reducción de las Huella de Carbono Digital, así como establecer las políticas necesarias en cuestión ambiental (ver Figura 14).

Figura 14

Dashboard de emisiones de CO₂



Nota. Elaboración propia.

4.5 Informe de resultados

De los resultados obtenidos en esta investigación, se desarrolló un informe ejecutivo dirigido a los encargados del centro de datos de la UJAT, el cual se complementó con información de dos artículos científicos desarrollados en paralelo a este trabajo de investigación (ver Figura 15).

Figura 15

Portada de informe de resultados



Nota. Elaboración propia.

Los artículos científicos desarrollados complementan los resultados de esta investigación en dos aspectos, identificar qué proveedores de cómputo en la nube están realizando acciones para reducir la contaminación intangible y qué acciones están realizando los fabricantes de equipos tecnológicos para centros de datos, esto con la finalidad de realizar recomendaciones que puedan ser adoptadas y/o adaptadas en el centro de datos de la UJAT.

4.5.1 Proveedores de cómputo en la nube

Vidal-Cruz *et al.*, (2023) desarrollaron la evaluación de los tres principales proveedores de cómputo en la nube, los cuales fueron seleccionados a partir de los criterios de cantidad de ingresos percibidos al corte de diciembre del año 2022, que proveyeran servicios de infraestructura como servicio (*IaaS*, por sus siglas en inglés), plataforma como servicio (*PaaS*, por sus siglas en inglés) y *software* como servicio (*SaaS*, por sus siglas en inglés), siendo seleccionados los servicios de *Microsoft Azure*, *Amazon Web Services* y *Google Cloud Platform*.

La información de la evaluación se recolectó de publicaciones directas realizadas por cada proveedor a través de medios oficiales en sitios web, *blogs* e informes, en donde se validó que la información no excediera la antigüedad de 10 años. En los resultados de este estudio se identificó qué en la información publicada en los últimos 10 años el servicio *Microsoft Azure* destina el 50% de sus acciones a reducir la contaminación intangible, mientras que el servicio de *Google Cloud Platform* destina el 75% para reducir su contaminación intangible, y se destaca que el servicio *Amazon Web Services* destina el 100% de sus acciones a reducir su contaminación tecnológica intangible.

De los resultados anteriores, se recomienda la adopción del servicio *Amazon Web Services* como proveedor de cómputo en la nube, al tener mayores acciones para reducir la contaminación tecnológica intangible.

4.5.2 Fabricantes de equipos tecnológicos para centros de datos

Las empresas de tecnologías analizadas fueron *Pure Storage*, *NetApp HPE*, *Infinidat*, *IBM*, *Dell* y *Huawei*, por ser empresas líderes de la industria, tal como lo informa Gartner en un informe publicado en el año 2023.

De las estrategias realizadas por estas empresas se identificó la adopción de certificaciones internacionales de la *International Organization for Standardization (ISO)* como forma de reducir la Huella de Carbono Digital generadas por el consumo eléctrico de los equipos tecnológicos de un centro de datos, por lo que se recomiendan la adopción de las siguientes certificaciones.

ISO 9001: Es una certificación enfocada en la aplicación de un Sistema de Gestión de Calidad. Se identificó que esta *ISO* se puede aplicar para mejorar la eficiencia de la calidad de los procesos relacionados con las funciones del centro de datos, relacionando que, a mejor eficiencia en las actividades realizadas, será menor la demanda de procesos que tengan que realizar los equipos tecnológicos, asociando a que se requerirá menor consumo de energía, de a su vez se reduzca la Huella de Carbono Digital.

ISO 14001: Es una certificación enfocada en la aplicación de un Sistema de Gestión Ambiental. Se identificó que esta *ISO* se puede aplicar para evaluar los procesos y actividades del centro de datos, con la finalidad de Planificar, Hacer, Verificar y Actuar con acciones necesarias para el cuidado del medio ambiente, para el alcance de este

trabajo, se aplicaría enfocado en la contaminación tecnológica en la que se dispongan adecuadamente de los desechos tecnológicos, reciclado, reparación y prevención de afectaciones al ambiente.

ISO 50001: Es una certificación enfocada a la aplicación de un Sistema de Gestión de Energía. Se identificó que esta *ISO* se puede aplicar para evaluar la eficiencia energética del sistema eléctrico del centro de datos, al igual que, asegurar que la energía este siendo utilizada adecuadamente en los procesos establecidos en el centro de datos. Esto certificación serviría de base para la elaboración de estrategias de adopción de fuentes de energía alternativas para el funcionamiento de los equipos, como hacer uso de energía a través de paneles solares.

A partir de la información antes mencionada, se ofrece una serie de opciones que la UJAT puede adoptar y/o adaptar con base a las estrategias y objetivos establecidos para su reducción de Huella de Carbono Digital.

4.6 Discusión

En el desarrollo de esta investigación se logró determinar las emisiones de CO₂ del centro de datos asociadas a la Huella de Carbono Digital, el cual se estima en 14.43 tCO₂ por mes, en el cual se utilizaron como valores de contrastes otras fuentes de emisión de CO₂ como vehículos del Estado de Tabasco, el cual se estima una la equivalencia de 50.19 vehículos por mes con respecto a las emisiones del centro de datos, así como de igual manera se estima la equivalencia de 125.3 casas residenciales por mes comparado con las emisiones del centro de datos.

La comparación de equivalencias de las emisiones de dióxido de carbono del centro de datos con respecto a otras fuentes de emisión de CO₂ permiten tener un dimensionamiento sobre las afectaciones que se generan al ambiente, así como apoyar al establecimiento de métricas e indicadores para objetivos que busquen reducir dicha Huella de Carbono Digital.

De los resultados obtenidos como la creación de un Método sintético de HCD, un modelo de estimación de HCD, un Dashboard de emisiones y un informe de resultados desarrollado complementado con dos artículos científicos, proporciona información a la literatura científica existente, tal como lo han realizado investigadores como Olvera (2022), López-Villarreal *et al.*, (2022), Guamán *et al.*, (2021), y Townsend (2021), los cuales se mencionan en el marco referencial de esta investigación. De igual manera se proporciona información para los usuarios finales, siendo en esta investigación los encargados del centro de datos de la UJAT.

De la investigación realizada por López-Villarreal *et al.*, (2022) titulada “Ahorro de la Energía y eficiencia energética en la zona de la cultura de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco” se observa que se puede hacer un aporte en la metodología utilizada, en la cual se puede reemplazar la metodología Producción más Limpia (P+L) por el Método Sintético de HCD para emplear instrumentos de medición exactos sobre el consumo de energía de los equipos eléctricos y electrónicos que componen el centro de datos.

Capítulo 5. Conclusiones, recomendaciones y trabajos futuros

5.1 Conclusiones

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de la investigación realizada, partiendo por el objetivo general que fue el evaluar las emisiones de CO₂ generadas por el consumo de energía eléctrica de los equipos de las Tecnología de la Información y Comunicación del centro de datos de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco como forma de apoyo para alcanzar las metas establecidas en los objetivos 9 y 13 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible establecidos por la Organización de las Naciones Unidas.

Con respecto al objetivo específico que fue “Analizar la infraestructura tecnológica existente en el centro de datos de la UJAT, incluyendo servidores, sistemas de almacenamiento, equipos de red y otros dispositivos que consumen energía” y el objetivo definido como “Recopilar datos sobre el consumo de energía de los equipos tecnológicos del centro de datos, esto incluye aires acondicionados, servidores, sistemas de almacenamiento, equipos de red y otros dispositivos que consuman energía como portátiles y dispositivos *NAS (Network Attached Storage)*”, fueron alcanzados en su totalidad en el capítulo 3 en la Fase 2 del método.

El objetivo establecido como “Estimar las emisiones de CO₂ asociadas con el consumo de energía de los equipos tecnológicos” fue alcanzado en la Fase 3 del método, explicado en el capítulo 3.

El objetivo definido como “Comparar las estimaciones de CO₂ de los componentes del centro de datos con otras fuentes de emisiones de CO₂ como vehículos y casas residenciales” fue cumplido en la Fase 4 del método.

El objetivo “Elaborar las fases del modelo de estimación de CO₂ que permita cuantificar y monitorear la Huella de Carbono Digital del centro de datos en función de tres variables: Cantidad de Equipos Tecnológicos, Cantidad de Consumo de Energía y Cantidad de Emisión de CO₂ y sus escenarios” fue alcanzado en su totalidad y explicado en el capítulo 4, punto 3 de este documento, dicho modelo fue nombrado por los investigadores como Método Sintético de HCD.

Finalmente, el objetivo “Presentar un informe con los resultados de la investigación, observaciones y recomendaciones obtenidos, dirigido a las autoridades del centro de datos” fue cumplido y expuesto en el capítulo 4, punto 5 de este trabajo, al igual que se anexó el informe completo en el Apéndice C.

A partir del cumplimiento de los objetivos de esta investigación se dio respuesta a las preguntas de investigación establecidas, las cuales fueron ¿Cuánto es la estimación de las emisiones de CO₂ que se libera a partir del consumo eléctrico de los equipos tecnológicos de un centro de datos? A la cual se dio respuesta estimando 14.43 tCO₂ por mes y ¿Cómo se compara con otras fuentes de emisiones de CO₂ como transporte público y equipos domésticos? Se estima la equivalencia de 50.19 vehículos por mes y se estima la equivalencia de 125.3 casas residenciales por mes.

Como conclusión de esta investigación, se hace el señalamiento que el propósito de estimar las emisiones de CO₂ del centro de datos de la UJAT, no es estigmatizar las

tecnologías como malas o perjudicial, sino conocer y comprender las emisiones de CO₂ de la Huella de Carbono Digital que emite la tecnología por el consumo de energía y a su vez, plantear y establecer las estrategias necesarias para reducir dichas emisiones.

5.2 Recomendaciones

A partir de los procesos y actividades realizadas en este trabajo de investigación, se identificaron una serie de recomendaciones que pueden ser de utilidad para otros investigadores que realicen una investigación similar.

- Al trabajar con datos publicados a través de sitios web, sistemas, reportes o informes en una institución pública de gobierno, se recomienda realizar un respaldo de la información en local, ya que se identificó que estos datos están en constante cambio o incluso se tornan inaccesibles al reubicarse la información en otros departamentos o dependencias.
- Al tener la reunión inicial con el personal técnico del centro de datos, se recomienda informar todos los aspectos necesarios del proyecto para que se tenga una comprensión correcta de las actividades a realizar, así como el investigador solicite y se informe sobre las políticas de seguridad y privacidad de los datos, con la finalidad de reducir cualquier tipo de incidente.
- Al identificar todos los equipos tecnológicos que consumen energía en el centro de datos, se hace la recomendación de que se valide que dichos equipos reciben energía de manera directa de la red de energía, ya que se llegaron a identificar equipos que utilizan baterías alcalinas para su funcionamiento.

- Al obtener las hojas técnicas de cada equipo tecnológico, se recomienda buscar directamente los archivos en los sitios web de cada fabricante, en caso de ya no estar disponible la información, se recomienda utilizar herramientas o servicio como *Wayback Machine* (<https://web.archive.org/>) que guardan una copia de sitios web en diferentes periodos de tiempo.
- Al crear el *dataset* con la información de los equipos tecnológicos, se recomienda que el ingeniero responsable de los equipos valide que la información capturada se correcta y consistente con las características de los equipos en funcionamiento, ya que existen equipos muy similares que contienen características técnicas distintas.

5.3 Trabajos futuros

Durante el desarrollo de esta investigación, se identificaron trabajos futuros que pueden retomar la investigación realizada desde otras perspectivas, tales como:

- Realizar una evaluación directa del consumo real de los equipos tecnológicos que componen el centro de datos comparado con la información teórica obtenida de esta investigación. En la que se implementen equipos de medición de energía consumida por cada equipo en un periodo de tiempo determinado.
- Realizar una evaluación del consumo de energía de los equipos del centro de datos en la que se tome en consideración las variables de temperatura externa e interna del centro de datos y la carga de trabajo que realicen los equipos

tecnológicos (respaldo de información, transformación de información, transferencia de información, renderizado de video, etcétera).

- Realizar una comparación del consumo de energía de un centro de datos físico contra un centro de datos virtual alojado en un proveedor de servicio especializado.
- Realizar un estudio en el que se evalúe la emisión de la Huella de Carbono Digital de diferentes centros de datos en distintas regiones de México en los que se empleen diversas pruebas de carga de trabajo.
- Emplear algoritmos de minería de datos para la identificación de las áreas de los equipos que se pueden optimizar en relación con su consumo de energía y cargas de trabajo.
- Desarrollar una plataforma que permita llevar el registro del consumo de energía de los equipos tecnológicos de un centro de datos y las emisiones de Huella de Carbono Digital.
- Desarrollar una investigación que aborde las acciones que están realizando otras instituciones u organizaciones internacionales para reducir la Huella de Carbono Digital, y como esas acciones pueden ser adoptadas o adaptadas a un contexto local en México.

Alojamiento de la Tesis en el Repositorio Institucional	
Título de la Tesis:	Evaluación de la Huella de Carbono Digital de las TIC en un centro de datos.
Autor de la Tesis:	Héctor Eduardo Vidal de la Cruz
ORCID:	https://orcid.org/0000-0003-1404-3098
Resumen de la Tesis:	El desarrollo tecnológico ha estado en incremento a lo largo de las revoluciones industriales en donde la globalización ha influido con la necesidad de cada día estar más conectado con otras partes del mundo, jugando aquí un papel importante el Internet. Este desarrollo tecnológico conllevó a que de manera relacionada se incrementara la contaminación tecnológica, en específico para esta investigación, la Huella de Carbono Digital. Dicha Huella de Carbono Digital consiste en la liberación de Gases de Efecto Invernadero producidos por el consumo de energía proveniente de combustibles fósiles para el funcionamiento de equipos eléctricos y electrónicos tecnológicos como los que componen un centro de datos de una organización educativa. Los Gases de Efecto Invernadero representan una amenaza para la humanidad al generar cambios meteorológicos radicales que amenazan la producción de alimentos, así como, la modificación del entorno, causando enfermedades y muertes, generando desestabilización social que amenaza a las generaciones futuras. El objetivo de esta investigación fue crear un modelo de estimación de la Huella de Carbono Digital generado por el consumo de energía eléctrica de los equipos de las Tecnologías de la Información y Comunicación del centro de datos de una organización educativa como la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. El enfoque de esta investigación es cuantitativo. Se aplicó un método de cuatro pasos, en el que se hace énfasis en la recolección de datos y el diagnóstico antes de la ejecución de acciones, así como, enfatiza la cuidadosa evaluación de los resultados después de realizar dichas acciones. El principal resultado de esta investigación fue la determinación de las emisión de dióxido de carbono de los equipos tecnológicos que conforman el centro de datos de una organización educativa como la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, y a su vez como las emisiones de dióxido de carbono se comparan con otras fuentes de emisión como vehículos y casas residenciales, de igual manera se desarrolló un informe

	para las autoridades correspondientes en donde se indiquen los resultados encontrados de la investigación, complementado con recomendaciones obtenidas a partir de dos artículos científicos desarrollos en paralelo a esta investigación para la adopción y/o adaptación de estrategias que permitan reducir la Huella de Carbono Digital.
Palabras claves de la Tesis:	Consumo de energía, Contaminación atmosférica, Dióxido de carbono.
Referencias citadas:	Las referencias de esta investigación están contenidas de la página 85.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

Referencias

- Acevedo-Díaz, J. A., García-Carmona, A., Aragón-Méndez, M. del M., & Oliva-Martínez, J. M. (2017). Modelos científicos: Significado y papel en la práctica científica. *Revista Científica*, 30(3), Article 3. <https://doi.org/10.14483/23448350.12288>
- Ajenstat, F., & Arellano, P. (2023, marzo 22). *Salesforce Tableau named a Leader in the 2023 Gartner® Magic Quadrant™ for Analytics and BI Platforms*. Tableau. <https://www.tableau.com/blog/tableau-leader-gartner-magic-quadrant-analytics-business>
- Aliverti, P. (2017). *Electrónica para makers Guía completa* (1er ed.). Marcombo. <https://latam.casadellibro.com/libro-electronica-para-makers-guia-completa/9788426724496/5341599>
- Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Refugiados. (2018, diciembre 19). Contaminación: Qué tipos hay y qué puedes hacer tú | eACNUR. ACNUR. https://eacnur.org/blog/que-tipos-de-contaminacion-existen-tc_alt45664n_o_pstn_o_pst/
- Amazon. (2022). *AWS lanza una herramienta para medir la huella de carbono de los clientes*. Amazon Web Services, Inc. <https://aws.amazon.com/es/about-aws/whats-new/2022/03/aws-launches-customer-carbon-footprint-tool/>
- American Psychological Association. (2019). *APA Dictionary of Psychology*. <https://dictionary.apa.org/>
- Arias, F. (2012). *El proyecto de investigación Introducción a la metodología científica* (6ta ed.). Episteme. <https://www.researchgate.net/publication/301894369>

- Basel Convention. (2011). *E-Waste*.
<http://www.basel.int/Implementation/Ewaste/Overview/tabid/4063/Default.aspx>
- Castañeda, C. E. M. (2017). Tipología de modelos científicos de explicación. Ciencia y complejidad. *Sociología y tecnociencia*, 7(2), Article 2.
<https://doi.org/10.24197/st.2.2017.58-72>
- Cisco. (2020, agosto 9). *¿Qué es un centro de datos?* Cisco.
https://www.cisco.com/c/es_mx/solutions/data-center-virtualization/what-is-a-data-center.html
- Cisco. (2023). *Cisco Annual Internet Report 2018-2023*.
<https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.pdf>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2005). *Protocolo de Kyoto [De la Convención Marco sobre el Cambio Climático]* | Observatorio del Principio 10.
<https://observatoriop10.cepal.org/es/tratados/protocolo-kyoto-la-convencion-marco-cambio-climatico>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2013). *Huella de carbono, exportaciones y estrategias empresariales frente al cambio climático*.
<https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/4101/S2013998rev1.pdf>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2016). *Acuerdo de París [De la Convención Marco sobre el Cambio Climático]* | Observatorio del Principio 10.
<https://observatoriop10.cepal.org/es/tratados/acuerdo-paris-la-convencion-marco-cambio-climatico>

- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2017, noviembre 1). *Daño y pérdida de biodiversidad* [Text]. CEPAL.
<https://www.cepal.org/es/temas/biodiversidad/perdida-biodiversidad>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2018). *Informe nacional de monitoreo de la eficiencia energética de México*.
https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/43612/1/S1800496_es.pdf
- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. (2014, enero 30). Se publica Norma Oficial Mexicana que limita el consumo de energía eléctrica “en espera”. *gob.mx*. <http://www.gob.mx/conuee/articulos/se-publica-norma-oficial-mexicana-que-limita-el-consumo-de-energia-electrica-en-espera-29363>
- Cornelio, E. (2019). *Programa Sectorial de Movilidad Sostenible*. Secretaria de Movilidad.
https://tabasco.gob.mx/sites/default/files/users/planeacion_spf/11.%20Programa%20Sectorial%20de%20Movilidad%20Sostenible%202019-2024.pdf
- Data Center Journal. (2020). *Facilities and Data Centers in Mexico* | *DataCenterJournal*.
<https://www.datacenterjournal.com/data-centers/mexico/>
- Data Center Map. (s/f). *Mexico Data Centers*. <https://www.datacentermap.com/mexico/>
- Fernández, L., & Gutiérrez, M. (2013). Bienestar Social, Económico y Ambiental para las Presentes y Futuras Generaciones. *Información tecnológica*, 24(2), 121–130.
<https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000200013>
- Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica. (2020, abril 24). Energía en Espera > Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica. *Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica*. https://www.fide.org.mx/?page_id=17188

Figma. (2023a). *Empezar – Figma Learn—Centro de ayuda*.
<https://help.figma.com/hc/en-us/categories/360002051613-Getting-Started>

Figma. (2023b). *Figma Software Services Agreement*. Figma.
<https://www.figma.com/ssa/>

Figma. (2023c). *Pricing for Figma’s Free, Professional, and Organization plans*. Figma.
<https://www.figma.com/pricing/>

Foster, S., & Elzinga, D. (2015). El papel de los combustibles fósiles en un sistema energético sostenible | Naciones Unidas. *UN Chronicle*, 52(3).
<https://www.un.org/es/chronicle/article/el-papel-de-los-combustibles-fosiles-en-un-sistema-energetico-sostenible>

Fundación Aquae. (2021, diciembre 28). *Tipos de contaminación y sus principales consecuencias*. Fundación Aquae. <https://www.fundacionaquae.org/wiki/tipos-contaminacion/>

GNU. (2022, enero 3). *Por qué es necesaria la GPL Affero—Proyecto GNU - Free Software Foundation*. <https://www.gnu.org/licenses/why-affero-gpl.html>

Gobierno de México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, & Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2022). *México: Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero, 1990-2019*.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/737226/156_2022_INEGYCEI_1990-2019_NIR.pdf

- Google. (2019). *Google Maps*. <https://www.google.com.mx/maps/@18.008213,-92.9237899,3a,29.7y,208.99h,91.95t/data=!3m6!1e1!3m4!1s1Lwzy2XBYQceqw0uK1cwVw!2e0!7i16384!8i8192?entry=ttu>
- Google. (2023). *Huella de carbono*. Google Cloud. <https://cloud.google.com/carbon-footprint?hl=es-419>
- Guamán, C. R. S., Vivar, S. A. M., Rivera, D. P. P., & Jadan, B. E. V. (2021). Impacto ambiental por consumo de energía eléctrica en los Data Centers. *Dilemas contemporáneos: Educación, Política y Valores*. <https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i.2786>
- International Business Machines. (2022, agosto 12). *¿Qué son los centros de datos?* <https://www.ibm.com/mx-es/cloud/learn/data-centers>
- International Energy Agency. (2022). *Data centres & networks—Fuels & Technologies*. IEA. <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/data-centres-networks>
- Jamovi Project. (2022). *features—Jamovi*. <https://www.jamovi.org/features.html>
- Jamovi Project. (2023, abril 14). *jamovi desktop—Jamovi*. <https://www.jamovi.org/download.html>
- Johansen, O. (2019). *Introducción a la teoría general de sistemas*. Limusa.
- Joyanes, L. (2017). *Industria 4.0. La cuarta revolución industrial* (Primera). Alfaomega Grupo Editor. https://books.google.com.mx/books?id=akxOEAAAQBAJ&source=gbs_book_other_versions

Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública, DOF 09-05-2016 (2016). https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LFTAIP_200521.pdf

Ley General de Cambio Climático, DOF 11-05-2022 (2012). <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC.pdf>

López-Villarreal, L. M., Aguilar, K. M., Macías, E. V., Hernández, I., López, L. M., & López, S. (2022). AHORRO DE ENERGÍA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA ZONA DE LA CULTURA DE LA UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO. *Journal of Energy, Engineering Optimization and Sustainability*, 6(1), Article 1. <https://doi.org/10.19136/jeeos.a6n1.4846>

Microsoft. (2020a, junio 2). *Usar Access o Excel para administrar los datos—Soporte técnico de Microsoft*. <https://support.microsoft.com/es-es/office/usar-access-o-excel-para-administrar-los-datos-09576147-47d1-4c6f-9312-e825227fcaea>

Microsoft. (2020b, junio 15). *Tareas básicas en Excel—Soporte técnico de Microsoft*. <https://support.microsoft.com/es-es/office/tareas-b%C3%A1sicas-en-excel-dc775dd1-fa52-430f-9c3c-d998d1735fca>

Microsoft. (2022, junio 15). *Contrato de servicios de Microsoft*. <https://www.microsoft.com/es-es/servicesagreement/>

Naciones Unidas. (1998). *Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. https://observatoriop10.cepal.org/sites/default/files/documents/treaties/protocolo_de_kyoto_sp.pdf

Naciones Unidas. (2015a). *Acuerdo de París*.

https://observatoriop10.cepal.org/sites/default/files/documents/treaties/accuerdo_de_paris_sp.pdf

Naciones Unidas. (2015b, septiembre 25). La Asamblea General adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. *Desarrollo Sostenible*.

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>

Naciones Unidas. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una oportunidad para América Latina y el Caribe*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141_es.pdf

Naciones Unidas. (2019, noviembre 29). *Cambio climático | Naciones Unidas*. United Nations; United Nations. <https://www.un.org/es/global-issues/climate-change>

Naciones Unidas. (2020, noviembre 25). *Sostenibilidad | Naciones Unidas*. United Nations; United Nations. <https://www.un.org/es/impacto-acad%C3%A9mico/sostenibilidad>

Naciones Unidas. (2022a, febrero 16). *La contaminación mata nueve millones de personas al año, el doble que el COVID-19 | Noticias ONU*. <https://news.un.org/es/story/2022/02/1504162>

Naciones Unidas. (2022b, febrero 17). *El ruido, un asesino escandaloso en las ciudades | Noticias ONU*. <https://news.un.org/es/story/2022/02/1504212>

Olvera, D. R. C. (2022). La nube contaminante. Un análisis socioambiental de la huella de carbono digital. *PAAKAT: Revista de Tecnología y Sociedad*, 12(22). <http://dx.doi.org/10.32870/Pk.a12n22.730>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2018, mayo 2). *La contaminación de los suelos está contaminando nuestro futuro*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1126977/>

Organización Meteorológica Mundial. (2019a). *Boletín sobre los gases de efecto invernadero—N°15: Estado de los gases de efecto invernadero en la atmósfera según las observaciones mundiales realizadas en 2018* (15). https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10127

Organización Meteorológica Mundial. (2019b, noviembre 25). *La concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera alcanza un nuevo récord*. <https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/la-concentraci%C3%B3n-de-gases-de-efecto-invernadero-en-la-atm%C3%B3sfera-alcanza>

Organización Mundial de la Salud. (2016, abril 29). *Radiaciones ionizantes: Efectos en la salud y medidas de protección*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ionizing-radiation-health-effects-and-protective-measures>

Organización Mundial de la Salud. (2021, octubre 30). *Cambio climático y salud*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health>

Organización Mundial de la Salud. (2022a, marzo 21). *Agua para consumo humano*.

<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>

Organización Mundial de la Salud. (2022b, junio 13). *Contaminación atmosférica*.

<https://www.who.int/es/health-topics/air-pollution>

Organización para el Desarrollo Sustentable. (2023, abril 9). *IMPACTO AMBIENTAL DE*

LA CONTAMINACION TECNOLOGICA – Organización para el Desarrollo

Sustentable.

<https://ods.com.ar/impacto-ambiental-de-la-contaminacion-tecnologica/>

Ortiz, F. (2006). *Metodología de la investigación: El proceso y sus técnicas*. Limusa.

<https://libreria-limusa.com/producto/metodologia-de-la-investigacion/>

Pacio, G. (2014). *Data centers hoy*. Alfaomega Grupo Editor.

<https://books.google.com.pe/books?id=43xNDAAAQBAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>

Paniagua, D. K. B., Granados, A. H., Cruz, E. B. D., Villavicencio, K. G. C., & Valencia,

H. M. (2020, diciembre 14). Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos

(RAEE): Impacto social, ambiental, gestión y metodologías sobre su manejo.

ENERLAC. Revista de energía de Latinoamérica y el Caribe, 4(2), Article 2.

Patsavellas, J., & Salonitis, K. (2019). The Carbon Footprint of Manufacturing

Digitalization: Critical literature review and future research agenda. *Procedia CIRP*,

81, 1354–1359. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.04.026>

Pimienta, J., & De la Orden, A. (2017). *Metodología de la investigación* (3ed ed.).

Pearson.

<https://instipp.edu.ec/Libreria/libro/Pimienta->

- Metodolog%C3%ADa%20de%20la%20investigaci%C3%B3n%20ra%20ed-comprimido.pdf
- Presidencia de la República. (2021). *Tercer informe de gobierno 2020—2021* (3). Presidencia de la República. <https://framework-gb.cdn.gob.mx/informe/5b8e7a983a893dfcbd02a8e444abfb44.pdf>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2022). *Fronteras 2022: Ruido, llamas y desequilibrios – Nuevos temas de interés ambiental* (DEW/2461/NA). https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/38059/Frontiers2022_SP.pdf?sequence=5&isAllowed=y
- Rodríguez-Eugenio, N., McLaughlin, M., & Pennock, D. (2019). *La contaminación del suelo: Una realidad oculta*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/3/i9183es/i9183es.pdf>
- Secretaría de Energía. (2021). *Balance Nacional de Energía 2020*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/707654/BALANCE_NACIONAL_ENERGIA_0403.pdf
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2018, julio 24). *Diferencia entre sustentable y sostenible*. gob.mx. <http://www.gob.mx/semarnat/articulos/diferencia-entre-sustentable-y-sostenible>
- SEMARNAT. (2020). *Consumo de energía por hogar*. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio_2021/dgeiawf.semarnat.gob.mx_8080/ibi_apps/WFServlet1a10.html

- Sharma, P., & Dash, B. (2022). The Digital Carbon Footprint: Threat to An Environmentally Sustainable Future. *International Journal of Computer Science & Information Technology*, 14(3), 19–29. <https://doi.org/10.5121/ijcsit.2022.14302>
- 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/abfba1>
- Tableau Software. (2015, enero 15). *Tableau para estudiantes*. Tableau. <https://www.tableau.com/es-es/academic/students>
- Tableau Software. (2018, noviembre 15). *Tableau Desktop*. Tableau. <https://www.tableau.com/es-mx/products/desktop>
- Townsend, J. E. (2021). La huella de carbono digital en los centros de datos privados. En *DESARROLLO, AMBIENTE Y SOCIEDAD PERSPECTIVA MULTIDISCIPLINARIA* (Vol. 1). Universidad Tecnológica Empresarial de Guayaquil. <https://www.uteg.edu.ec/wp-content/uploads/2022/10/TOMO-1-DAS.pdf>
- United Nations Children’s Fund. (2019, diciembre 2). *Medio ambiente y cambio climático* | UNICEF. <https://www.unicef.org/es/medio-ambiente-cambio-climatico>
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2015, diciembre 11). *Abordar la problemática de la calidad y la contaminación del agua en el marco de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) – mejorar la capacidad jurídica, política, institucional y humana*. UNESCO.

<https://es.unesco.org/themes/garantizar-suministro-agua/hidrologia/escasez-calidad/calidad-contaminacion>

United Nations E-waste Coalition. (2019). *A New Circular Vision for Electronics—Time for a Global Reboot* (p. 24). <https://www.itu.int/en/ITU-D/Climate-Change/Documents/2019/A-New-Circular-Vision-for-Electronics.pdf>.

<https://www.itu.int:443/en/ITU-D/Climate-Change/Pages/ewaste/A-New-Circular-Vision-for-Electronics-Time-for-a-Global-Reboot.aspx>

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. (s/f). *Firman la UJAT y Microsoft México convenio de colaboración para “modernizar la educación”*. Recuperado el 2 de mayo de 2023, de <https://www.ujat.mx/Noticias/Interior/29417>

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. (2014, marzo). Manual general de organización de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. *Gaceta Juchimán*, 3(34). <https://gacetajuchiman.ujat.mx/wp-content/uploads/2021/10/MANUAL-GENERAL-DE-ORGANIZACION-VIGENTE-2014.pdf>

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. (2020). *Plan de Desarrollo Institucional 2020-2024* (p. 63). Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. <https://archivos.ujat.mx/2020/planeacion/PDI%202020-2024-1.pdf>

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. (2024). *4to Informe de actividades 2023-2024* (4). Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. <https://archivos.ujat.mx/2024/rectoria/4to%20Informe%202023-2024.pdf>

Vidal-Cruz, H. E., Francisco L., J. J., & Corona F., A. (2023). La contaminación tecnológica tangible e intangible desde una perspectiva de 3 proveedores de

- servicio de cómputo en la nube. *INVESTIGACIÓN APLICADA, UN ENFOQUE EN LA TECNOLOGÍA*, 16. <https://doi.org/10.60968/IAET.3594-035X>
- VMware. (2021). *Panel de virtualización y eficiencia de carbono*. <https://docs.vmware.com/es/VMware-Aria-Operations/SaaS/Configuring-Operations/GUID-00EFA908-6B8E-4D5D-967C-2E56161FD1BE.html>
- Walsh, N. (2020, enero 16). *Microsoft Sustainability Calculator helps enterprises analyze the carbon emissions of their IT infrastructure* | Azure Blog | Microsoft Azure. Azure Blog. <http://azure.microsoft.com/es-es/blog/microsoft-sustainability-calculator-helps-enterprises-analyze-the-carbon-emissions-of-their-it-infrastructure/>
- Walsh, N. (2022, abril 22). *How Microsoft measures datacenter water and energy use to improve Azure Cloud sustainability* | Azure Blog | Microsoft Azure. Azure Blog. <http://azure.microsoft.com/es-es/blog/how-microsoft-measures-datacenter-water-and-energy-use-to-improve-azure-cloud-sustainability/>
- World Health Organization. (2021, marzo 31). *Air quality and health*. <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/air-quality-and-health/health-impacts>
- World Wildlife Fund. (2018, abril 3). *Glosario ambiental: ¿Qué son los Gases de Efecto Invernadero (GEI)?* <https://www.wwf.org.co/?325754/Que-son-los-Gases-de-Efecto-Invernadero-GEI>
- World Wildlife Fund. (2021, febrero 17). *¿Emisiones térmicas? ¿en qué consisten y por qué empeoran la crisis climática?* World Wildlife Fund.

<https://www.worldwildlife.org/descubre-wwf/historias/emisiones-termicas-en-que-consisten-y-por-que-empeoran-la-crisis-climatica>

Yris, W. H. M. (2007). *Red de la UJAT y nuevas tecnologías*.
http://148.202.106.112/bitstream/handle/11305/886/Presentacion_hector_manuel.pdf?sequence=5&isAllowed=y

México.

Autónoma de Tabasco.

Glosario

A

ACNUR: Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Refugiados

AGPL3: *Affero General Public License 3*

ANOVA: Análisis de la varianza

APA: *American Psychological Association*

C

CAFÉ: Cargado, Amargo, Fresco y Extremadamente caliente

CEPAL: Comisión Económica para América Latina y el Caribe

CH₄: Metano

CO₂: Dióxido de carbono

CONUEE: Comisión Nacional para el Uso de Eficiente de la Energía

CRE: Comisión Reguladora de Energía

CSV: *Comma Separated Values*

D

DOF: Diario Oficial de la Federación

DTII: Dirección de Tecnologías de Información e Innovación

F

FIDE: Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica

G

GEI: Gases de Efecto Invernadero

GNU: *GNU's Not Unix*

H

HC: Huella de Carbono

HCD: Huella de Carbono Digital

I

IaaS: Infrastructure as a Service

IBM: International Business Machines

IEA: International Energy Agency

ISO: International Organization for Standardization

K

KWh: Kilo Watts hora

L

LED: Light Emitting Diode

M

MWh: Mega Watts hora

N

NAS: Network Attached Storage

N₂O: Óxido Nitroso

NO₂: Dióxido de nitrógeno

O

O₃: Ozono

OCDE: Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos

ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible

ODS: Organización para el Desarrollo Sustentable

OMM: Organización Meteorológica Mundial

OMS: Organización Mundial de la Salud

ONU: Organización de las Naciones Unidas

ONUAA: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

P

PaaS: Platform as a Service

PNUMA: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

R

RAEE: Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos

S

SaaS: Software as a Service

SEMARNAT: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

SENER: Secretaría de Energía

SO₂: Dióxido de azufre

SPSS: Statistical Package for Social Sciences

SQL: Structured Query Language

T

tCO₂: Toneladas de dióxido de carbono

TGS: Teoría General de Sistema

TIC: Tecnologías de la Información y Comunicación

TWh: TeraWatt-hora

U

UJAT: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

UNESCO: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

UNICEF: United Nations Children's Fund

UPS: Uninterruptable Power Supply

W

WH: Watts hora

WHO: World Health Organization

WWF: World Wildlife Fund

Apéndice A. Oficio de aceptación para realización de estancia de investigación

Figura 16

Oficio de aceptación para realización de estancia de investigación



UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO
"ESTUDIO EN LA FE. ACCIÓN EN LA FE"

Dirección de
Tecnologías de
Información
e Innovación



28 de septiembre de 2023
Oficio No. 0621/DTII

Mtro. Oscar Alberto González González
Director de la División Académica de
Ciencias y Tecnologías de la Información
Presente.

En atención a su oficio No.1388/DACYTI/CP/2023, por este medio me permito indicar que se acepta al alumno Héctor Eduardo Vidal de la Cruz, estudiante de la Maestría en Administración de Tecnologías de la Información, con matrícula 222H19002; para que realice su estancia en la Dirección de Tecnologías de Información e Innovación de Septiembre a Diciembre del presente año.

Por lo anterior al término de su estancia nos conceda copia de los resultados del trabajo realizado.

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

Atentamente

Ing. Benjamín Martínez Ramírez
Director



U.J.A.T.

DIRECCIÓN DE TECNOLOGÍAS DE
INFORMACIÓN E INNOVACIÓN



COORDINACIÓN DE
POSGRADO

Ccp. Interesado
Ccp. Archivo.
Ing. BMR/FMRG/dtc



Av. Universidad S/N, Zona de la Cultura, Col. Magisterial
Villahermosa, Centro, Tabasco. C.p. 86040
Tel. 9933581500 Ext. 6037
E-mail: direccion.dti@ujat.mx

www.ujat.mx

Apéndice B. Dataset de equipos tecnológicos del centro de datos**Tabla 13***Dataset de equipos tecnológicos del centro de datos*

No	Categoría	Voltaje(V)	Amperaje(A)	Watts(V*A)	ConsumoMáximo	ConsumoMedio	ConsumoDía	ConsumoMes	ConsumoAño
1	Red	90	2.2	198	60	30	1,440	43,790	525,485
2	Red	100	5	500	484	242	11,616	353,243	4,238,911
3	Red	230	0.24	55.2	55	27.5	1,320	40,141	481,694
4	Red	230	0.24	55.2	55	27.5	1,320	40,141	481,694
5	Red	264	2.5	660	300	150	7,200	218,952	2,627,424
6	Red	264	2.5	660	300	150	7,200	218,952	2,627,424
7	Almacenamiento	264	2.5	660	600	300	14,400	437,904	5,254,848
8	Computadora de escritorio	265	-	-	250	125	6,000	182,460	2,189,520
9	Red	220	3	660	660	330	15,840	481,694	5,780,333
10	Red	100	0.5	50	40	20	960	29,194	350,323
11	Procesamiento	220	-	-	750	375	18,000	547,380	6,568,560
12	Procesamiento	220	-	-	750	375	18,000	547,380	6,568,560
13	Procesamiento	220	-	-	750	375	18,000	547,380	6,568,560
14	Procesamiento	240	14.4	3,456	2,700	1,350	64,800	1,970,568	23,646,816
15	Procesamiento	-	-	-	480	240	11,520	350,323	4,203,878
16	Procesamiento	240	2.4	576	550	275	13,200	401,412	4,816,944
17	Procesamiento	240	2.4	576	550	275	13,200	401,412	4,816,944
18	Procesamiento	-	-	-	550	275	13,200	401,412	4,816,944
19	Procesamiento	-	-	-	550	275	13,200	401,412	4,816,944
20	Procesamiento	-	-	-	550	275	13,200	401,412	4,816,944

Evaluación de la Huella de Carbono Digital de las TIC en un centro de datos

No	Categoría	Voltaje(V)	Amperaje(A)	Watts(V*A)	ConsumoMáximo	ConsumoMedio	ConsumoDía	ConsumoMes	ConsumoAño
21	Procesamiento	-	-	-	550	275	13,200	401,412	4,816,944
22	Procesamiento	-	-	-	1,100	550	26,400	802,824	9,633,888
23	Procesamiento	-	-	-	1,100	550	26,400	802,824	9,633,888
24	Procesamiento	-	-	-	1,100	550	26,400	802,824	9,633,888
25	Procesamiento	-	-	-	1,100	550	26,400	802,824	9,633,888
26	Procesamiento	-	-	-	570	285	13,680	416,009	4,992,106
27	Procesamiento	-	-	-	570	285	13,680	416,009	4,992,106
28	Procesamiento	-	-	-	570	285	13,680	416,009	4,992,106
29	Procesamiento	-	-	-	570	285	13,680	416,009	4,992,106
30	Procesamiento	-	-	-	570	285	13,680	416,009	4,992,106
31	Procesamiento	-	-	-	570	285	13,680	416,009	4,992,106
32	Procesamiento	-	-	-	570	285	13,680	416,009	4,992,106
33	Procesamiento	-	-	-	750	375	18,000	547,380	6,568,560
34	Procesamiento	-	-	-	750	375	18,000	547,380	6,568,560
35	Procesamiento	-	-	-	750	375	18,000	547,380	6,568,560
36	Procesamiento	-	-	-	750	375	18,000	547,380	6,568,560
37	Procesamiento	-	-	-	750	375	18,000	547,380	6,568,560
38	Procesamiento	-	-	-	750	375	18,000	547,380	6,568,560
39	Procesamiento	-	-	-	750	375	18,000	547,380	6,568,560
40	Procesamiento	-	-	-	750	375	18,000	547,380	6,568,560
41	Procesamiento	-	-	-	750	375	18,000	547,380	6,568,560
42	Procesamiento	240	-	-	1,570	785	37,680	1,145,849	13,750,186
43	Procesamiento	-	-	-	750	375	18,000	547,380	6,568,560
44	Procesamiento	-	-	-	750	375	18,000	547,380	6,568,560
45	Procesamiento	-	-	-	750	375	18,000	547,380	6,568,560

Evaluación de la Huella de Carbono Digital de las TIC en un centro de datos

No	Categoría	Voltaje(V)	Amperaje(A)	Watts(V*A)	ConsumoMáximo	ConsumoMedio	ConsumoDía	ConsumoMes	ConsumoAño
46	Procesamiento	-	-	-	750	375	18,000	547,380	6,568,560
47	Procesamiento	-	-	-	750	375	18,000	547,380	6,568,560
48	Procesamiento	-	-	-	750	375	18,000	547,380	6,568,560
49	Procesamiento	-	-	-	750	375	18,000	547,380	6,568,560
50	Procesamiento	-	-	-	750	375	18,000	547,380	6,568,560
51	Almacenamiento	-	-	-	550	275	13,200	401,412	4,816,944
52	Red	-	-	-	715	357.5	17,160	521,836	6,262,027
53	Red	-	-	-	260	130	6,240	189,758	2,277,101
54	Red	-	-	-	260	130	6,240	189,758	2,277,101
55	Almacenamiento	240	3	720	580	290	13,920	423,307	5,079,686
56	Almacenamiento	240	3	720	580	290	13,920	423,307	5,079,686
57	Almacenamiento	200	3.6	720	550	275	13,200	401,412	4,816,944
58	Procesamiento	240	-	-	1,100	550	26,400	802,824	9,633,888
59	Procesamiento	240	-	-	1,100	550	26,400	802,824	9,633,888
60	Red	250	-	-	240	120	5,760	175,162	2,101,939
61	Almacenamiento	240	3	720	580	290	13,920	423,307	5,079,686
62	Almacenamiento	240	4.3	1,032	600	300	14,400	437,904	5,254,848
63	Almacenamiento	240	6.2	1,488	1,485	742.5	35,640	1,083,812	13,005,749
64	Almacenamiento	240	3	720	580	290	13,920	423,307	5,079,686
65	Procesamiento	240	-	-	1,100	550	26,400	802,824	9,633,888
66	Procesamiento	240	-	-	1,100	550	26,400	802,824	9,633,888
67	Computadora de escritorio	230	2	460	240	120	5,760	175,162	2,101,939
68	Almacenamiento	-	-	-	650	325	15,600	474,396	5,692,752
69	Almacenamiento	-	-	-	460	230	11,040	335,726	4,028,717
70	Almacenamiento	-	-	-	750	375	18,000	547,380	6,568,560

Evaluación de la Huella de Carbono Digital de las TIC en un centro de datos

No	Categoría	Voltaje(V)	Amperaje(A)	Watts(V*A)	ConsumoMáximo	ConsumoMedio	ConsumoDía	ConsumoMes	ConsumoAño
71	Almacenamiento	240	-	-	1,400	700	33,600	1,021,776	12,261,312
72	Almacenamiento	240	-	-	550	275	13,200	401,412	4,816,944
73	Almacenamiento	240	-	-	550	275	13,200	401,412	4,816,944
74	Almacenamiento	240	3.8	912	410	205	9,840	299,234	3,590,813
75	Almacenamiento	240	3.8	912	410	205	9,840	299,234	3,590,813
76	Almacenamiento	240	-	-	170	85	4,080	124,073	1,488,874
77	Monitoreo	240	0.86	206.4	207.6	103.8	4,982	151,515	1,818,177
78	Videoconferencia	240	4	960	700	350	16,800	510,888	6,130,656
79	Enfriamiento	230	40	9,200	9,200	4,600	220,800	6,714,528	80,574,336
80	Enfriamiento	230	40	9,200	9,200	4,600	220,800	6,714,528	80,574,336
81	Enfriamiento	230	40	9,200	9,200	4,600	220,800	6,714,528	80,574,336
82	Enfriamiento	230	40	9,200	9,200	4,600	220,800	6,714,528	80,574,336
83	Monitoreo	-	-	-	345	172.5	8,280	251,795	3,021,538
84	Monitoreo	24	0.45	10.8	10.8	5.4	259	7,882	94,587
85	Iluminación	-	-	-	30	15	720	21,895	262,742
86	Iluminación	-	-	-	30	15	720	21,895	262,742
87	Iluminación	-	-	-	30	15	720	21,895	262,742
88	Iluminación	-	-	-	30	15	720	21,895	262,742
89	Iluminación	-	-	-	30	15	720	21,895	262,742
90	Iluminación	-	-	-	30	15	720	21,895	262,742
91	Iluminación	-	-	-	30	15	720	21,895	262,742
92	Iluminación	-	-	-	30	15	720	21,895	262,742
93	Iluminación	-	-	-	30	15	720	21,895	262,742
94	Iluminación	-	-	-	30	15	720	21,895	262,742
95	Iluminación	-	-	-	30	15	720	21,895	262,742

Evaluación de la Huella de Carbono Digital de las TIC en un centro de datos

No	Categoría	Voltaje(V)	Amperaje(A)	Watts(V*A)	ConsumoMáximo	ConsumoMedio	ConsumoDía	ConsumoMes	ConsumoAño
96	Iluminación	-	-	-	30	15	720	21,895	262,742
97	Iluminación	-	-	-	30	15	720	21,895	262,742
98	Iluminación	-	-	-	30	15	720	21,895	262,742
99	Iluminación	-	-	-	30	15	720	21,895	262,742
100	Iluminación	-	-	-	30	15	720	21,895	262,742
101	Iluminación	-	-	-	30	15	720	21,895	262,742
102	Iluminación	-	-	-	30	15	720	21,895	262,742
103	Iluminación	-	-	-	26	13	624	18,976	227,710
104	Iluminación	-	-	-	26	13	624	18,976	227,710
105	Iluminación	-	-	-	26	13	624	18,976	227,710
106	Iluminación	-	-	-	26	13	624	18,976	227,710
107	Iluminación	-	-	-	26	13	624	18,976	227,710
108	Iluminación	-	-	-	26	13	624	18,976	227,710
109	Iluminación	-	-	-	26	13	624	18,976	227,710
110	Iluminación	-	-	-	26	13	624	18,976	227,710
111	Iluminación	-	-	-	26	13	624	18,976	227,710
112	Iluminación	-	-	-	26	13	624	18,976	227,710
113	Iluminación	-	-	-	26	13	624	18,976	227,710
114	Iluminación	-	-	-	26	13	624	18,976	227,710
115	Iluminación	-	-	-	26	13	624	18,976	227,710
116	Iluminación	-	-	-	26	13	624	18,976	227,710
117	Iluminación	-	-	-	26	13	624	18,976	227,710
118	Iluminación	-	-	-	26	13	624	18,976	227,710
119	Iluminación	-	-	-	26	13	624	18,976	227,710
120	Iluminación	-	-	-	26	13	624	18,976	227,710

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

Apéndice C. Informe de resultado de investigación





Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

División Académica de Ciencias y Tecnologías de la Información



**Informe ejecutivo de inteligencia de negocio
aplicado en el centro de datos de la UJAT**

Autores:

LSC. Héctor Eduardo Vidal de la Cruz

Dr. Julián Javier Francisco León

Dr. Arturo Corona Ferreira

Villahermosa, Tabasco, Agosto 2024.



Tabla de contenido

Índice de ilustraciones	7
Índice de tablas	8
Descripción del negocio	9
Misión y visión	13
Misión	13
Visión 2028	13
Modelo de negocio	14
Cadena de valor empresarial	16
Objetivo	16
Funciones	16
Objetivos estratégicos	18
Evaluación de infraestructura	20
Diagnóstico actual del negocio	22
Desarrollo de propuesta de Inteligencia de Negocio	25
Identificación y planteamiento de la problemática detectada a resolver	25
Objetivo de la propuesta	28
Justificación o impacto de la propuesta	28
Etapa de extracción	31
Recopilación de datos	31

Revisión de datos.....	32
Búsqueda de hojas técnicas	32
Etapa de consolidación	33
Categorización de equipos	34
Creación de dataset.....	34
Búsqueda de datos complementarios	35
Etapa de explotación	37
Consumo total máximo de energía.....	37
Consumo total medio de energía.....	37
Consumo total medio de energía por categoría de equipos	37
Emisiones de CO ₂ del centro de datos	38
Emisiones de CO ₂ de un automóvil.....	39
Emisiones de CO ₂ de una casa residencial.....	40
Interpretación de resultados	40
Comparación de las emisiones de CO ₂ del centro de datos contra emisiones de vehículos	41
Comparación de las emisiones de CO ₂ del centro de datos contra emisiones de casa residencial	41
Etapa de visualización.....	43
Toma de decisiones a nivel estratégico	45

Proveedores de cómputo en la nube.....	46
Fabricantes de equipos tecnológicos para centros de datos	47
Proceso de generación de energía.....	48
Método sintético de HCD	50
Modelo de estimación de HCD	51
Discusión.....	53
Conclusiones	55
Trabajos futuros.....	56
Referencias	58

Índice de ilustraciones

Ilustración 1 Ubicación de las Divisiones Académicas en los diferentes municipios del Estado de Tabasco.....	9
Ilustración 2 Edificio de Dirección de Tecnologías de Información e Innovación.....	10
Ilustración 3 Organigrama de Dirección de Tecnologías de Información e Innovación	11
Ilustración 4 Modelo de negocio del centro de datos de la UJAT.....	15
Ilustración 5 Objetivos estratégicos establecidos por la UJAT	18
Ilustración 6 Listado de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible	19
Ilustración 7 Servidores del centro de datos de la UJAT	20
Ilustración 8 Análisis PESTEL del centro de datos de la UJAT	23
Ilustración 9 Consumo de energía en México de los años 2005 - 2020.....	27
Ilustración 10 Carga de dataset en Tableau	43
Ilustración 11 Creación de gráficas en Tableau.....	44
Ilustración 12 Dashboard para visualización de datos.....	45
Ilustración 13 Proceso de generación y entrega de energía eléctrica.....	49
Ilustración 14 Método sintético de HCD	50
Ilustración 15 Modelo de estimación de HCD	52

Índice de tablas

Tabla 1 Objetivos y metas de los ODS con los que se alinea la investigación.....	29
Tabla 2 Variables identificadas de las hojas técnicas	33
Tabla 3 Variables calculadas.....	33
Tabla 4 Datos de emisiones de CO ₂ del parque vehicular en Tabasco 2019.....	36
Tabla 5 Consumo total medio de energía por categoría de equipos	38
Tabla 6 Resumen de datos para cálculo de CO ₂ del centro de datos	39
Tabla 7 Resumen de datos para el cálculo de CO ₂ de un automóvil.....	39
Tabla 8 Resumen de datos para el cálculo de CO ₂ de una casa residencial	40
Tabla 9 Resumen de datos para el cálculo de equivalencias de CO ₂ del centro de datos a vehículos	41
Tabla 10 Resumen de datos para el cálculo de equivalencias de CO ₂ del centro de datos a casas residenciales	42

Descripción del negocio

La Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) se ha posicionado como la principal institución de educación superior en el Estado de Tabasco, como lo señala la información publicada en el 4to Informe de Actividades del periodo escolar 2023-2024 de la UJAT, ya que posee una oferta de 132 programas educativos distribuidos a través de 12 divisiones académicas ubicadas en distintos municipios del Estado de Tabasco (ver Ilustración 1), donde en el ciclo escolar 2023-2024 atendió a un total de 44,068 alumnos de modalidades escolarizadas y no escolarizadas, en programas de licenciaturas, posgrado y centros de extensión (Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, 2024).

Ilustración 1 Ubicación de las Divisiones Académicas en los diferentes municipios del Estado de Tabasco



Fuente: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (2024).

Para dar solución a los requerimientos tecnológicos que demandan la calidad educativa y los servicios asociados de diferentes sistemas institucionales, la UJAT hace uso de diversas tecnologías y equipos para brindar una solución rápida y efectiva.

Por lo anterior, se creó la Dirección de Tecnologías de Información e Innovación (DTII) ubicado en la Zona de la Cultura, en la ciudad de Villahermosa, Tabasco (ver Ilustración 2), la cual tiene por objetivo dirigir y evaluar programas institucionales para impulsar, establecer y administrar la aplicación de las tecnologías de información e innovación a los procesos de gestión de la Universidad, con el propósito de contar con los recursos para el diseño e implementación de estrategias organizacionales de administración del cambio y competitividad.

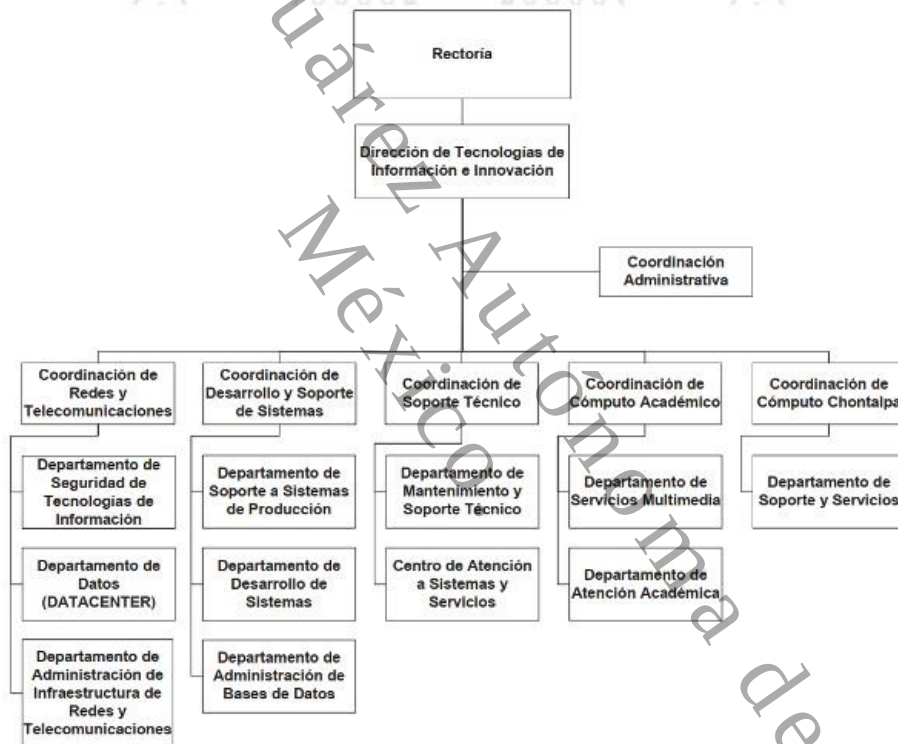
Ilustración 2 Edificio de Dirección de Tecnologías de Información e Innovación



Fuente: Google (2019).

De acuerdo con información publicada en el Manual General de la Organización de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT, 2014) señala que, en la Dirección de Tecnologías de Información e Innovación, bajo la Coordinación de Redes y Telecomunicaciones, se cuenta con el Departamento de Datos (DATACENTER) (ver Ilustración 3).

Ilustración 3 Organigrama de Dirección de Tecnologías de Información e Innovación



Fuente: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (2014).

Desde el Departamento de Datos se administran los procesos e infraestructura del centro de datos de la Universidad, el cual realiza el intercambio, almacenamiento, comunicación y procesamiento de la información electrónica de los diferentes

sistemas asociados, como correo electrónico, sistemas de calificación, Red Inalámbrica UJAT, entre otros.

Por lo anterior, el centro de datos de la UJAT es un recurso indispensable para las actividades y estrategias de la Universidad, en la cual, es de interés seguir innovando y mejorando los servicios e infraestructura existente, en el cual se enfoca este trabajo de Inteligencia de Negocios.

Misión y visión

La UJAT está comprometida a apoyar el desarrollo y crecimiento de la educación a través de la docencia, investigación y extensión y difusión de la cultura en la entidad, ha establecido su visión y misión en el Plan de Desarrollo a largo plazo 2028 (Piña, 2016) para definir un horizonte claro y deseable en toda la institución.

Misión

La Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, como institución pública de educación superior, tiene la misión de contribuir de manera significativa a la transformación de la sociedad y al desarrollo del país, con particular interés en el Estado de Tabasco, a través de la formación sólida e integral de profesionales capaces de adquirir, generar, difundir y aplicar el conocimiento científico, tecnológico y humanístico, con ética y responsabilidad para ser mejores individuos y ciudadanos.

Visión 2028

La Universidad tiene reconocimiento nacional e internacional por los excelentes indicadores de calidad de sus programas de estudio, su alta responsabilidad social, su democracia y gobernabilidad interna, por ser abierta e incluyente en la formación cultural; por su impulso al desarrollo de la región, el país y el mundo; a través de la producción y aplicación del conocimiento.

Modelo de negocio

En este trabajo se utilizó el diagrama Business Model Canvas (BMC) para la estructuración del modelo de negocios del centro de datos de la UJAT.

La identificación del BMC en el contexto de un centro de datos universitario es relevante para proporcionar una comprensión clara y estructurada de la creación, entrega y captura de valor.

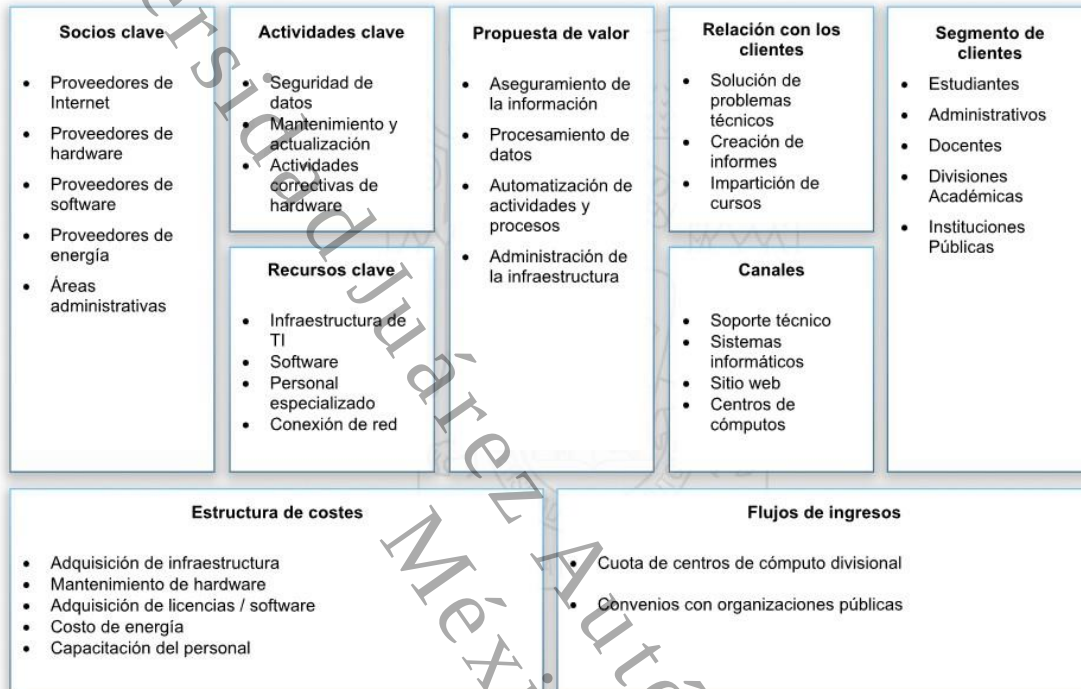
Este diagrama permite identificar la comunicación interna y externa asociadas al centro de datos, asegurando que los administrativos y demás partes interesadas comprendan de manera integral la estrategia y los objetivos del centro de datos.

Además, el BMC garantiza la alineación del modelo de negocio con los objetivos institucionales, facilitando la optimización eficiente de recursos financieros y tecnológicos. Este diagrama promueve la adaptabilidad a cambios en el entorno, identificación de oportunidades de mejora, gestión proactiva de riesgos y una comunicación efectiva con diversas partes interesadas, elementos críticos para el éxito sostenible del centro de datos en el entorno universitario.

En última instancia, el BMC proporciona una guía estratégica robusta y respalda la sostenibilidad a largo plazo, elementos cruciales para la toma de decisiones ejecutivas en el ámbito universitario.

En la Ilustración 4 se muestra el resultado del análisis creado del BMC enfocado al centro de datos de la UJAT.

Ilustración 4 Modelo de negocio del centro de datos de la UJAT



Fuente: Elaboración propia.

Cadena de valor empresarial

El centro de datos de la UJAT es un recurso indispensable en el que se concentra infraestructura y servicios para las operaciones académicas, administrativas y de servicio en general, en la que se hace uso de tecnología de vanguardia, por ello en el Manual General de la Organización de la UJAT se han establecido y descrito el objetivo y las funciones que debe cumplir el Departamento de Datos, encargado de la administración del centro de datos universitario, el cual describe lo siguiente:

Objetivo

Administrar los procesos e infraestructura del Centro de Datos Universitario asegurando su operación, con el propósito de garantizar el desarrollo de las actividades de intercambio, almacenamiento, comunicación y procesamiento de la información electrónica.

Funciones

1. Proponer la creación y reformas al marco normativo institucional relativo a la operación del DATACENTER.
2. Administrar y analizar la infraestructura de los servidores de las bases de datos de la Universidad, procurando su optimización y mejora permanente.
3. Asegurar el funcionamiento de los servidores web de la Universidad.
4. Asesorar e informar en los procesos de desarrollo y mantenimiento de sistemas.

5. Establecer mecanismos de seguridad de información, así como programar la realización de respaldos.
6. Vigilar y mantener en funcionamiento la infraestructura y sistemas del DATACENTER universitario.
7. Mantener en condiciones de operación la infraestructura de vigilancia de la Universidad y resguardar las videograbaciones capturadas, observando el marco normativo institucional.
8. Mantener las condiciones de operación de la pantalla panorámica digital de la Universidad y proporcionarle mantenimiento requerido.
9. Apoyar en la integración del informe anual de actividades de la Dirección de Tecnologías de Información e Innovación.
10. Cumplir las disposiciones reglamentarias que establezcan los órganos competentes de la Universidad.
11. Realizar todas aquellas actividades necesarias para el debido cumplimiento de sus funciones.

Objetivos estratégicos

Los objetivos del centro de datos están alineados a los objetivos que se han establecido en la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, los cuales están plasmados en el Plan de Desarrollo Institucional 2020 – 2024, integradas en 5 ejes estratégicos que contienen 51 políticas y 15 objetivos estratégicos con 183 estrategias generales, y 25 estrategias que corresponden a dos ejes transversales (ver Ilustración 5).

Ilustración 5 Objetivos estratégicos establecidos por la UJAT

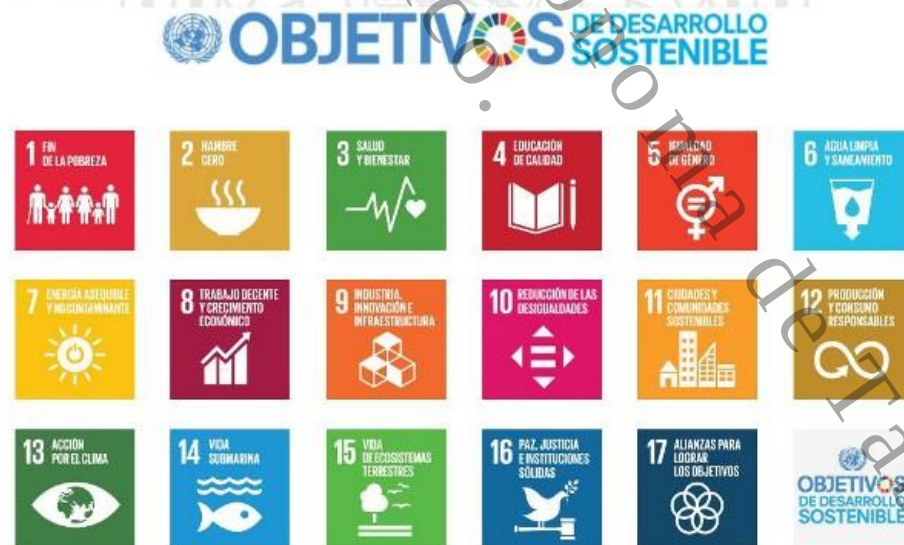
			ESTRATEGIAS						
EJES ESTRATEGICOS	POLITICAS	OBJETIVOS ESTRATEGICOS	GENERALES					EQUIDAD Y MOVILIDAD SOCIAL	EXTENSIONISMO
CALIDAD	PCA1	OECA1	ECA1.1	ECA1.2	ECA1.3	ECA1.4	ECA1.5	ETEMS 1.1	ETE 1.1
	PCA2		ECA1.6	ECA1.7	ECA1.8	ECA1.9	ECA1.10		
	PCA3		ECA1.11	ECA1.12	ECA1.13	ECA1.14	ECA1.15		
	PCA4		ECA1.16	ECA1.17	ECA1.18	ECA1.19	ECA1.20		
	PCA5		ECA1.21	ECA1.22	ECA1.23	ECA1.24	ECA1.25		
EN LOS PROGRAMAS EDUCATIVOS	PCA6	OECA2	ECA2.1	ECA2.2	ECA2.3	ECA2.4	ECA2.5	ETEMS 1.2	ETE 1.2
	PCA7		ECA2.6	ECA2.7	ECA2.8	ECA2.9	ECA2.10		
	PCA8		ECA2.11	ECA2.12	ECA2.13	ECA2.14	ECA2.15		
	PCA9		ECA3.1	ECA3.2	ECA3.3	ECA3.4	ECA3.5		
	PCA10		ECA3.6	ECA3.7	ECA3.8	ECA3.9	ECA3.10		
	PCA11	OECA3	ECA3.11	ECA3.12	ECA3.13	ECA3.14	ECA3.15	ETEMS 1.4	ETE 1.3
	PCA12		ECA3.16	ECA3.17	ECA3.18	ECA3.19	ECA3.20		
	PCA13		ECA3.21						
PRODUCCIÓN, GESTIÓN, APLICACIÓN Y DIVULGACIÓN DEL CONOCIMIENTO	PT1	OEIT1	EIT1.1	EIT1.2	EIT1.3	EIT1.4	EIT1.5	ETEMS 1.5	ETE 1.4
	PT2		EIT1.6	EIT1.7	EIT1.8	EIT1.9			
	PT3								
	PT4		EIT2.1	EIT2.2	EIT2.3	EIT2.4	EIT2.5		
	PT5		EIT2.6	EIT2.7	EIT2.8	EIT2.9	EIT2.10		
	PT6	OEIT2	EIT2.11					ETEMS 1.6	ETE 1.5
	PT7		EIT3.1	EIT3.2	EIT3.3	EIT3.4	EIT3.5		
	PT8		EIT3.6	EIT3.7	EIT3.8	EIT3.9	EIT3.10		
	PT9		EIT3.11	EIT3.12	EIT3.13	EIT3.14			
CULTURA Y VALORES UNIVERSITARIOS	PCV1	OECV1	ECV1.1	ECV1.2	ECV1.3	ECV1.4		ETEMS 1.8	ETE 1.6
	PCV2		ECV1.5	ECV1.6	ECV1.7	ECV1.8			
	PCV3		ECV1.9	ECV1.10	ECV1.11	ECV1.12			
	PCV4		ECV1.13	ECV1.14	ECV1.15	ECV1.16			
	PCV5		ECV1.17						
	PCV6	OECV2	ECV2.1	ECV2.2	ECV2.3	ECV2.4		ETEMS 1.9	ETE 1.7
	PCV7		ECV2.5	ECV2.6	ECV2.7	ECV2.8			
	PCV8		ECV2.9	ECV2.10					
	PCV9								
	PCV10		ECV3.1	ECV3.2	ECV3.3	ECV3.4			
	PCV11	OECV3	ECV3.5	ECV3.6	ECV3.7	ECV3.8		ETEMS 1.10	ETE 1.8
	PCV12		ECV3.9	ECV3.10	ECV3.11				
VINCULACIÓN CON RESPONSABILIDAD SOCIAL	PVRS1	OEVR1	EVR1.1	EVR1.2	EVR1.3	EVR1.4		ETEMS 1.11	ETE 1.9
	PVRS2		EVR1.5	EVR1.6					
	PVRS3								
	PVRS4		EVR2.1	EVR2.2	EVR2.3	EVR2.4			
	PVRS5		EVR2.5	EVR2.6	EVR2.7	EVR2.8			
	PVRS6	OEVR2						ETEMS 1.12	ETE 1.10
	PVRS7		EVR3.1	EVR3.2	EVR3.3	EVR3.4			
	PVRS8		EVR3.5	EVR3.6	EVR3.7				
GESTIÓN EFICAZ Y TRANSPARENTE	PGET1	OEGET1	EGET1.1	EGET1.2	EGET1.3	EGET1.4		ETEMS 1.14	ETE 1.10
	PGET2		EGET1.5	EGET1.6	EGET1.7	EGET1.8			
	PGET3								
	PGET4		EGET2.1	EGET2.2	EGET2.3	EGET2.4			
	PGET5		EGET2.5	EGET2.6	EGET2.7	EGET2.8			
	PGET6	OEGET2	EGET2.9					ETEMS 1.15	ETE 1.10
	PGET7		EGET3.1	EGET3.2	EGET3.3	EGET3.4			
	PGET8		EGET3.5	EGET3.6	EGET3.7	EGET3.8			
	PGET9		EGET3.9						

Fuente: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (2024).

Estos objetivos estratégicos de la UJAT están inspirados en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), los cuales fueron establecidos por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) para ser cumplidos en los alcances marcados en la Agenda 2030.

El desarrollo de la Agenda 2030 fue el resultado de la reunión de 193 estados miembros de la Organización de las Naciones Unidas, en el que se incluyeron sociedades civiles, privadas y autoridades académicas, llevada a cabo en el año 2015, en la que se establecieron los Objetivos de Desarrollo Sostenible con 17 objetivos (ver Ilustración 6) y 169 metas para ser alcanzadas en el año 2030, con la finalidad de alcanzar una igualdad y dignidad entre las personas, haciendo esfuerzos para cambiar las desigualdades económicas, sociales y ambientales (Naciones Unidas, 2018).

Ilustración 6 Listado de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible



Fuente: Naciones Unidas (2022).

Evaluación de infraestructura

Ante el desarrollo tecnológico existente y la demanda de los diferentes servicios que se requieren en el ámbito académico, es crucial mantener una evaluación de la infraestructura tecnológica que existe en el centro de datos de la UJAT, lo que permite garantizar la eficiencia operativa y la continuidad de las actividades universitarias.

En el centro de datos universitario se monitorea y evalúa constantemente los equipos tecnológicos, validando que se encuentre operando en perfectas condiciones, se apliquen las actualizaciones correspondientes, se validan los métodos de seguridad establecidos, así como el monitoreo de temperatura y humedad en el espacio reservado de equipos de servidores, ver Ilustración 7.

Ilustración 7 Servidores del centro de datos de la UJAT



Fuente: Yris (2007).

De igual modo, se realiza una evaluación constante de la infraestructura de comunicación con las diferentes Divisiones Académicas distribuidas en los diferentes municipios del Estado de Tabasco, como la Red UJAT, sistemas administrativos, sistemas de calificaciones, correo electrónico institucional, sitio web, entre otros.

Diagnóstico actual del negocio

El análisis PESTEL, una herramienta que permite desde un nivel estratégico examinar factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ambientales y legales, esenciales para obtener una comprensión general del entorno de un centro de datos universitario. Este método proporciona una evaluación detallada del entorno externo, permitiendo la identificación de posibles impactos y oportunidades.

En el contexto del centro de datos de la UJAT, revela la influencia de regulaciones gubernamentales, cambios económicos, tendencias tecnológicas emergentes y consideraciones ambientales. Al comprender estos elementos, la UJAT puede tomar decisiones informadas, adaptarse proactivamente a cambios y diseñar estrategias que mejoren la eficiencia, seguridad y sostenibilidad de su infraestructura tecnológica.

El resultado de los diferentes aspectos analizados con la técnica PESTEL se puede visualizar en la Ilustración 8.

Ilustración 8 Análisis PESTEL del centro de datos de la UJAT

Políticos • Regulaciones Gubernamentales: Evaluar la legislación relacionada con la gestión de datos, la privacidad y la seguridad de la información. • Objetivos de Desarrollo Sostenible.	Económicos • Costos de inscripción: pagos que tienen que realizar los estudiantes. • Pago de servicios: Biblioteca, centro de cómputo, tramites de oficios, etc.	Sociales • Cultura Digital: Considerar la adopción digital y la aceptación de tecnologías en la comunidad universitaria. • Expectativas de los Estudiantes: Entender las demandas de los estudiantes en términos de acceso a recursos digitales y servicios en línea.
Tecnológicos • Avances Tecnológicos: Evaluar la evolución de la tecnología de centros de datos, incluyendo soluciones de almacenamiento, procesamiento y seguridad. • Innovaciones Educativas: Considerar cómo las tecnologías emergentes pueden mejorar los métodos de enseñanza y la investigación.	Ecológicos • Sostenibilidad: Evaluar la presión social y regulatoria para adoptar prácticas más sostenibles en términos de energía y gestión de residuos. • Impacto Ambiental: Considerar la necesidad de cumplir con regulaciones ambientales y reducir la huella de carbono.	Legales • Normativas de Protección de Datos: Cumplir con leyes de protección de datos y privacidad que afecten el manejo de información en el centro de datos. • Contratos y Acuerdos Legales: Evaluar el impacto de acuerdos legales y contratos con proveedores de servicios y socios.

Fuente: Elaboración propia.



**Desarrollo de propuesta de
Inteligencia de Negocio**

Desarrollo de propuesta de Inteligencia de Negocio

A partir del análisis realizado sobre el centro de datos de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, se desarrolló una propuesta de inteligencia de negocio enfocado en los objetivos de la universidad, la cual se describe en las siguientes secciones.

Identificación y planteamiento de la problemática detectada a resolver

El dióxido de carbono (CO_2) es uno de los principales Gases de Efecto Invernadero de mayor abundancia de aproximadamente dos tercios sobre los demás GEI (Naciones Unidas, 2019), seguido por el metano (CH_4), el óxido nitroso (N_2O), entre otros gases, los cuales, al acumularse en la atmósfera, absorben y retienen la radiación infrarroja proveniente del sol, causando el incremento de la temperatura en la atmósfera, derivando en un cambio climático mundial, en donde dichos gases son producidos principalmente por las actividades industrializadas del ser humano al quemar combustibles fósiles, realizar la deforestación de bosques y sobre explotar los recursos naturales (Organización Meteorológica Mundial [OMM], 2019b, 2019a; *World Wildlife Fund [WWF]*, 2018).

El cambio climático provocado por los GEI, es un riesgo para la humanidad; desde los cambios meteorológicos radicales que amenazan la producción de alimentos (olas de calor, precipitaciones intensas, sequías y ciclones), hasta el aumento del nivel del mar que genera un riesgo inminente de inundaciones catastróficas

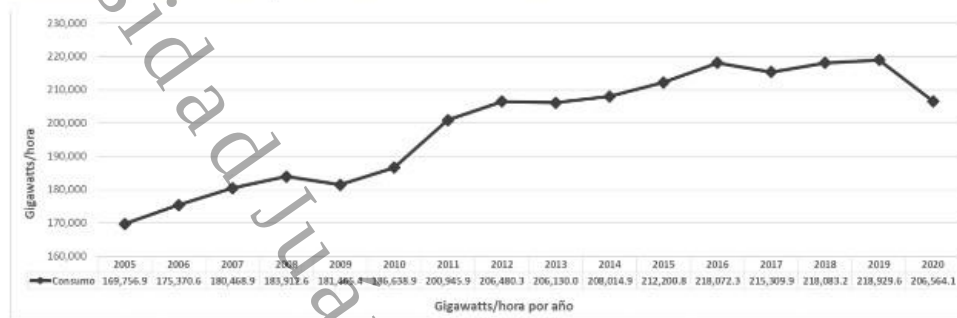
(Naciones Unidas, 2019; Organización Mundial de la Salud [OMS], 2021), causando muertes y enfermedades que desestabilizan la igualdad social amenazando a las generaciones futuras (*United Nations Children's Fund [UNICEF]*, 2019).

En México, en el año 2019 las emisiones de Gases de Efecto Invernadero ascendieron a más de 736 millones de toneladas de CO₂ equivalente, donde las actividades necesarias para producir energía eléctrica representan el mayor porcentaje de las emisiones de CO₂ con el 23.3%, seguida por las emisiones de autotransporte con 18.5%, como lo indica el informe del Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (Gobierno de México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, e Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2022) del periodo 1990-2019.

La principal producción de energía en México proviene de combustibles fósiles, donde en el año 2020 los hidrocarburos representaron el 84.06% de la producción primaria de energía, como lo indica el informe Balance Nacional de Energía del año 2020 publicado por la Secretaría de Energía (Secretaría de Energía [SENER], 2021), donde señala que el 56.32% de la energía primaria se generó por la producción de petróleo crudo.

La demanda de energía ha estado en aumento, en donde en el periodo de los años 2005 al 2019 se percibió un incremento en el consumo de energía en México, en contraste, en el año 2020 se tuvo un descenso en el consumo de energía causado por la pandemia de COVID-19, ver Ilustración 9, tal como lo indican datos publicados en el 3er Informe de Gobierno del año 2020 – 2021 (Presidencia de la República, 2021).

Ilustración 9 Consumo de energía en México de los años 2005 - 2020



Fuente: Elaboración propia con datos de Presidencia de la República (2021). *No se incluyen los datos del año 2021, ya que sólo abarcan hasta el mes de junio.

En el aspecto tecnológico, los centros de datos demandan un consumo de energía para el funcionamiento de los equipos eléctricos y electrónicos que operan las 24 horas, los 7 días de la semana. En donde las organizaciones requieren tener diversos equipos que les permitan almacenar, procesar y compartir datos masivos, así como, diferentes tipos de recursos para el funcionamiento de sistemas computacionales. Los centros de datos varían de acuerdo con su propósito y diseño, teniendo diferencias en la cantidad y tipos de dispositivos tecnológicos que lo conforman, siendo necesarios sistemas de enfriamiento, infraestructura de red, recursos de cómputo, sistemas de almacenamiento, sistemas de seguridad y sistemas de respaldo eléctrico (Cisco, 2020b; *International Business Machines [IBM]*, 2022).

El consumo constante de energía proveniente de combustibles fósiles genera una Huella de Carbono (HC), asociada a las emisiones indirectas generadas por las actividades empresariales y el uso de productos y servicios fuera de la empresa

(Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2013). El consumo de energía de todos los equipos tecnológicos que conforman un centro de datos genera emisiones indirectas de CO₂ conociéndose como Huella de Carbono Digital (Sharma & Dash, 2022). La Huella de Carbono Digital se estima tenga un incremento con la digitalización de sistemas y la creación de más centros de datos (Olvera, 2022).

Objetivo de la propuesta

El objetivo de este trabajo, es ofrecer un acercamiento sobre las emisiones de CO₂ que son liberadas al ambiente, por el consumo de energía de los equipos tecnológicos que conforman el centro de datos de la UJAT, ya que partir de estos datos se pueden desarrollar estrategias y la planificación de acciones que permitan reducir dichas emisiones para dar cumplimiento en parte a las estrategias establecidas en la agenda 2030 establecida por la ONU, en específico, para los objetivos 9 y 13 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Justificación o impacto de la propuesta

La Universidad Juárez Autónoma de Tabasco comprometida con el apoyo de alcanzar las metas de transformación internacional, nacional y estatal, ha desarrollado el Plan de Desarrollo Institucional 2020-2024 en el que ha establecido metas que se alinean con los compromisos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 que han sido establecidos por la Organización de las Naciones Unidas (ONU); "Como Casa de Estudios comprometida con el bienestar

integral de la sociedad, se trabaja en la Agenda 2030 para alcanzar los ODS marcados por la ONU." (UJAT, 2020, p. 63).

Este trabajo apoyaría a dos objetivos establecidos en los ODS en el aspecto ambiental, los cuales se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1 Objetivos y metas de los ODS con los que se alinea la investigación

Objetivo	Meta	Indicador
9. Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación	9.4. De aquí a 2030, modernizar la infraestructura y reconvertir las industrias para que sean sostenibles, utilizando los recursos con mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y ambientalmente racionales, y logrando que todos los países tomen medidas de acuerdo con sus capacidades respectivas	9.4.1. Emisiones de CO ₂ por unidad de valor añadido
13. Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos	13.2. Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales	13.2.1. Número de países que han comunicado el establecimiento o la puesta en marcha de una política, estrategia o plan integrado que aumente su capacidad para adaptarse a los efectos adversos del cambio climático y que promueven la resiliencia al clima y un desarrollo con bajas emisiones de gases de efecto invernadero sin comprometer por ello la producción de alimentos (por ejemplo, un plan nacional de adaptación, una contribución determinada a nivel nacional, una comunicación nacional o un informe bienal de actualización)

Fuente: Elaboración propia con datos de Naciones Unidas (2018).

Siendo así este trabajo un aporte a las estrategias que se desarrollen, para alcanzar de manera interna en la Universidad dichos objetivos de sostenibilidad y responsabilidad con el medio ambiente.

De igual manera, esta investigación aportó información sobre la Huella de Carbono Digital, así como un modelo que sirve para estimar las emisiones de CO₂ de un centro de datos en un contexto universitario en México, permitiendo cuantificar dichas emisiones a partir del consumo eléctrico de los equipos tecnológicos, apoyando a tomar decisiones y acciones de acuerdo con la magnitud de las emisiones estimadas, las cuales son desconocidas por los autores.

Con la implementación de dicho modelo de estimación de emisiones de CO₂, se tuvo una herramienta que contempla todos los componentes tecnológicos físicos que conforman un centro de datos adaptado al contexto de México, tal como lo hacen en las zonas en las que se encuentran los centros de datos de proveedores de servicio de cómputo en la nube como *VMware* (2021), *Google Cloud Platform* (Google, 2023), *Amazon Web Services* (Amazon, 2022), *Microsoft Azure* (Walsh, 2020), entre otros, que han desarrollado herramientas para estimar las emisiones de CO₂ por el uso de equipos tecnológicos para el computo en la nube.

Etapa de extracción

Para realizar este trabajo, se hizo el trámite de estancia de investigación en el Departamento de Datos a cargo de la Dirección de Tecnologías de Información e Innovación, en el cual, se tuvieron diversas reuniones con el personal técnico a cargo de los equipos tecnológicos, así como de las funciones de administración y gestión de las políticas de seguridad, en el cual se le indicaron al investigador, las normas y políticas de seguridad en cuestión de la privacidad de datos y seguridad de los equipos, por lo que se llegó a un acuerdo de confidencialidad para no difundir información sensible al término de esta investigación, ya que para el propósito de este trabajo, se solicitó las marcas y modelos de todos los equipos tecnológicos que componen el espacio reservado de equipos tecnológicos del centro de datos. Una vez aceptados los acuerdos de confidencialidad, se generó el oficio de aceptación de la estancia de investigación.

Recopilación de datos

Por parte del responsable de los equipos que componen el centro de datos, se proporcionó un archivo de Excel con el listado de los equipos con los campos de información de marca, modelo y una breve descripción, categorizados en servidores e infraestructura.

Revisión de datos

Se realizó una revisión de cada registro del documento proporcionado, ya que se detectó inconsistencias en algunos registros que presentaban datos que no correspondían a los campos de información indicados, como modelos y marcas en un sólo campo, registros en el modelo que contenían partes del número de serie, nombres de marcas abreviados o escritos con diferente nomenclatura y omisión parcial del modelo del equipo.

De igual manera, se observó la ausencia de registros de equipos eléctricos como luminarias y equipos de contraincendios, por lo que solicitó la información correspondiente para que se integrará en el listado de equipos.

Búsqueda de hojas técnicas

A partir de los datos de marca y modelo de cada equipo tecnológico, se realizaron las búsquedas de las hojas técnicas de los equipos, en las que se indican todas las especificaciones, entre ellas el consumo eléctrico. Se presentaron diferentes complicaciones para encontrar algunas hojas técnicas, ya que algunos equipos son antiguos y los fabricantes ya no las tienen disponibles en sus sitios web, por lo que se tuvo que recurrir a consultar dichas hojas técnicas en sitios web de socios tecnológicos o revendedores de equipos, generando incertidumbre si los datos fueron manipulados, ya que algunas hojas técnicas presentan diseños y logos de los revendedores.

En total se realizaron la búsqueda de hojas técnicas de 153 equipos, de los cuales, 79 equipos pertenecen a la clasificación de servidores y 74 equipos a la clasificación de infraestructura.

Etapa de consolidación

Se realizó la revisión de cada una de las hojas técnicas para integrar en el archivo de Excel los datos de voltaje, amperaje y consumo máximo de cada equipo, las cuales se describen en la Tabla 2.

Tabla 2 Variables identificadas de las hojas técnicas

Variable	Descripción
Voltaje (Voltio)	Es la unidad de medida de la tensión, se obtiene dividiendo la energía potencial entre la cantidad de carga, identificado con la letra V (Aliverti, 2017)
Amperaje (Amperio)	Es la unidad de medida de la cantidad de carga de la corriente eléctrica, identificado con la letra A (Aliverti, 2017)
ConsumoMáximo	Es la cantidad de energía máxima requerida para el funcionamiento de un equipo eléctrico

Fuente: Elaboración propia.

De igual manera, con los valores obtenidos de las hojas técnicas que se calcularon las variables complementarias watt, consumo medio, consumo por día, consumo por mes y consumo por año, las cuales se describen en la Tabla 3.

Tabla 3 Variables calculadas

Variable	Descripción
Watt (Potencia)	Es la unidad de medida de la cantidad de energía requerida para realizar una acción, se obtiene multiplicando el voltaje por el amperaje, identificado con la letra W (Aliverti, 2017)
ConsumoMedio	Valor obtenido dividiendo el valor de la variable ConsumoMáximo entre dos
ConsumoDía	Valor obtenido multiplicando la variable ConsumoMedio por 24

ConsumoMes	Valor obtenido multiplicando la variable ConsumoDía por 30.41
ConsumoAño	Valor obtenido multiplicando la variable ConsumoMes por 12

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la revisión de las hojas técnicas y consultas realizadas con el personal técnico del centro de datos, se identificaron equipos tecnológicos que no consumen energía directa de la red eléctrica o que no se encuentran en operación de manera continua, por lo que se descartaron los datos de esos equipos, dichos equipos fueron: detectores de humo, bombas de agua y unidades de distribución de energía. Después de hacer el descarte de los registros en el listado de los equipos, se quedó con un total de 120 registros.

Categorización de equipos

A partir de la información presente en las hojas técnicas de los equipos e información publicado en los sitios web de los fabricantes, se realizó la clasificación de cada uno de los equipos en las categorías: red, almacenamiento, computadora de escritorio, procesamiento, monitoreo, videoconferencia, enfriamiento e iluminación.

Creación de dataset

Una vez registrado todos los datos requeridos de los equipos tecnológicos que componen el centro de datos, se procedió a eliminar los valores de marca y modelo de los quipos, con la finalidad de dar cumplimiento con el acuerdo de confidencialidad indicado por DTII.

Así mismo, se generó el archivo de dataset en formato de Valores Separados por Coma (CSV por sus siglas en inglés).

Búsqueda de datos complementarios

Se realizó la búsqueda de información complementaria para el desarrollo de esta investigación, dichos datos se enlistan en los siguientes puntos.

Factor de Emisión

El Factor de Emisión del Sistema Eléctrico Nacional es un valor estadístico proporcionado por la Comisión Reguladora de Energía, para el cálculo de las emisiones indirectas de gases de efecto invernadero por consumo de energía proveniente de las centrales eléctricas que entregan energía a la red eléctrica nacional, dicho valor es generado anualmente. Para el cual, en el año 2023 el valor se estableció en 0.438 tCO₂ / MWh.

Emisiones de CO₂ de vehículos

Para comparar las emisiones de CO₂ generadas por el consumo de energía del centro de datos de la UJAT, se utilizó como valor de contraste las emisiones de CO₂ generadas por el parque vehicular en el Estado de Tabasco, los cuales se indican en el Programa Sectorial de Movilidad Sostenible 2019 – 2024 de la Secretaría de Movilidad (Cornelio, 2019), los valores utilizados se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4 Datos de emisiones de CO₂ del parque vehicular en Tabasco 2019

Concepto	Valor
Automóviles	348,021
Promedio de Km por año	15,000
Total de Km recorridos por total de vehículos	5,220,315,000
Rendimiento de Km/L	10
Litros de combustibles	522,031,500
KgCO ₂ /L	2.3
Tons anuales de CO ₂	1,200,672.45

Fuente: Elaboración propia.

Consumo promedio de energía de casa residencial

Se utilizó como valor de contraste el consumo promedio de energía de una casa residencial en el Estado de Tabasco del año 2016 publicado por Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) el cual indica que el valor promedio anual de consumo de energía es de 3,156.87 kWh por residencia (SEMARNAT, 2020). Se hace énfasis que se utilizó este valor del año 2016 dada la ausencia de información cercana al año 2024 sobre el valor promedio de consumo de energía de una casa residencial en el Estado de Tabasco.

Etapas de explotación

En esta etapa se hizo uso de los datos contenidos en el *dataset* de los equipos que componen el centro de datos, así como, se utilizaron los datos complementarios para calcular los siguientes valores.

Consumo total máximo de energía

El consumo total máximo de energía es la suma de todos los valores de la variable Consumo-Máximo de los equipos que se contienen en el *dataset*. Este valor es utilizado como referencia para indicar cuanto es la máxima cantidad de energía que puede llegar a consumir por hora todos los equipos que componen el centro de datos, dicho valor es 90,285.40 Wh.

Consumo total medio de energía

El consumo total medio de energía es la suma de todos los valores de la variable Consumo-Medio de los equipos que se contienen en el *dataset* o se puede obtener dividiendo entre dos el valor del consumo total máximo de energía. Este valor es utilizado como referencia para indicar una aproximación real de la cantidad de energía que utilizan por hora los equipos que componen el centro de datos, dicho valor es 45,142.70 Wh.

Consumo total medio de energía por categoría de equipos

El consumo total medio de energía por categoría es utilizado como referencia para indicar una aproximación real de la cantidad de energía utilizan por hora de los equipos del centro de datos de acuerdo con las categorías indicadas en el *dataset*.

Estos datos son utilizados para identificar cuáles son las categorías de equipos que más energía consumen, los cuales se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5 Consumo total medio de energía por categoría de equipos

Categoría	Valor (Wh)
Almacenamiento	5,727.5
Computadora de escritorio	245
Enfriamiento	18,400
Iluminación	504
Monitoreo	281.7
Procesamiento	17,920
Red	1,714.5
Videoconferencia	350
Consumo total medio de energía	45,142.70

Fuente: Elaboración propia.

Emisiones de CO₂ del centro de datos

Para determinar las emisiones de CO₂ del centro de datos, se realizó la suma de todos los valores de la variable Consumo-Mes, generando la cantidad 65,874,920.50 Wh, posteriormente, dicho valor se dividió entre 1,000,000 para convertirlo a mWh, generando el valor máximo de consumo de energía de 65.89 mWh por mes. Este valor se dividió entre dos para obtener el valor medio de consumo de energía de 32.945 mWh por mes.

El valor medio de consumo de energía por mes se multiplicó por el factor de emisión establecido en 0.438 tCO₂ / mWh, dando como resultado 14.43 tCO₂ liberado al mes por el consumo de energía de los equipos tecnológicos que componen el centro de datos. En la Tabla 6 se muestra el resumen de los datos utilizados.

Tabla 6 Resumen de datos para cálculo de CO₂ del centro de datos

Variable	Valor
Consumo-Mes	65,874,920.50 Wh
Wh a mWh	1,000,000
Consumo-Mes (Convertido)	65.89 mWh por mes
Consumo-Mes medio	32.945 mWh por mes
Factor de Emisión	0.438 tCO ₂ / mWh
Emisiones de CO ₂ del centro de datos	14.43 tCO ₂ por mes

Fuente: Elaboración propia.

Emisiones de CO₂ de un automóvil

Para determinar las emisiones CO₂ de un automóvil en el Estado de Tabasco, se utilizó el valor total de las toneladas anuales de CO₂ dividido entre el parque vehicular del Estado, establecido en 348,021 unidades, dando como resultado 3.45 tCO₂ liberados al año por un sólo vehículo. En la Tabla 7 se muestra el resumen de los datos utilizados.

Tabla 7 Resumen de datos para el cálculo de CO₂ de un automóvil

Variable	Valor
Tons anuales de CO ₂ de vehículos	1,200,672.45
Total de vehículos Automóviles	348,021
Emisiones por vehículo	3.45 tCO ₂ por año

Fuente: Elaboración propia.

Emisiones de CO₂ de una casa residencial

Para determinar las emisiones de CO₂ de una casa residencial en el Estado de Tabasco, se utilizó el valor promedio anual de consumo de energía establecido en 3,156.87 kWh por residencia, dicho valor se dividió entre 1,000 para convertirlo a mWh, generando el valor de 3.156 mWh por año, el cual se multiplicó por el factor de emisión establecido en 0.438 tCO₂ / mWh, dando como resultado 1.382 tCO₂ liberado al año por el consumo de energía de una casa residencial. En la Tabla 8 se muestra el resumen de los datos utilizados.

Tabla 8 Resumen de datos para el cálculo de CO₂ de una casa residencial

Variable	Valor
Consumo Promedio Anual	3,156.87 kWh
kWh a mWh	1,000
Consumo Promedio Anual (Convertido)	3.156 mWh
Factor de Emisión	0.438 tCO ₂ / mWh
Emisiones de CO ₂ de casa residencial	1.382 tCO ₂ por año

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación de resultados

Para tener un panorama amplio sobre las emisiones de CO₂ generados por el consumo de energía de los equipos que componen el centro de datos de la UJAT, se realizó una comparación de las equivalencias de las emisiones de CO₂ producidos por vehículos en el Estado de Tabasco, de igual manera, las emisiones del centro de datos se compararon con la equivalencia de las emisiones de CO₂ generadas por casas residenciales del Estado de Tabasco y posteriormente se generó un *Dashboard* con todos los datos generados.

Comparación de las emisiones de CO₂ del centro de datos contra emisiones de vehículos

Para determinar a cuantos vehículos equivalen las emisiones del CO₂ del centro de datos de la UJAT, se dividió entre 12 el valor de las emisiones anuales para obtener las emisiones mensuales de un vehículo en el Estado de Tabasco, dando como resultado la emisión de 0.288 tCO₂ por mes.

Las emisiones de CO₂ del centro de datos se dividió entre la emisión vehicular para obtener la equivalencia de la cantidad de vehículos, el cual se indica que es equivalente a las emisiones de 50.19 vehículos por mes en el Estado de Tabasco. En la Tabla 9 se muestra el sumen de los datos utilizados.

Tabla 9 Resumen de datos para el cálculo de equivalencias de CO₂ del centro de datos a vehículos

Variable	Valor
Emisiones por vehículo	3.45 tCO ₂ por año
Emisiones por vehículo (Convertido)	0.288 tCO ₂ por mes
Emisiones del centro de datos	14.43 tCO ₂ por mes
Equivalencia de vehículos	50.19 vehículos por mes

Fuente: Elaboración propia.

Comparación de las emisiones de CO₂ del centro de datos contra emisiones de casa residencial

Para determinar a cuantas casas residenciales equivalen las emisiones de CO₂ del centro de datos de la UJAT, se dividió entre 12 el valor de las emisiones anuales para obtener las emisiones mensuales de una casa residencial en el Estado de Tabasco, dando como resultado la emisión de 0.115 tCO₂ por mes.

Las emisiones de CO₂ del centro de datos se dividió entre la emisión de la casa residencial para obtener la equivalencia de la cantidad de casas, el cual se indica que es equivalente a las emisiones de 125.3 casas residenciales por mes en el Estado de Tabasco. En la Tabla 10 se muestra el resumen de los datos utilizados.

Tabla 10 Resumen de datos para el cálculo de equivalencias de CO₂ del centro de datos a casas residenciales

Variable	Valor
Emisiones de CO ₂ de casa residencial	1.382 tCO ₂ por año
Emisiones de CO ₂ de casa residencial (Convertido)	0.115 tCO ₂ por mes
Emisiones del centro de datos	14.43 tCO ₂ por mes
Equivalencias de casas residenciales	125.3 casas por mes

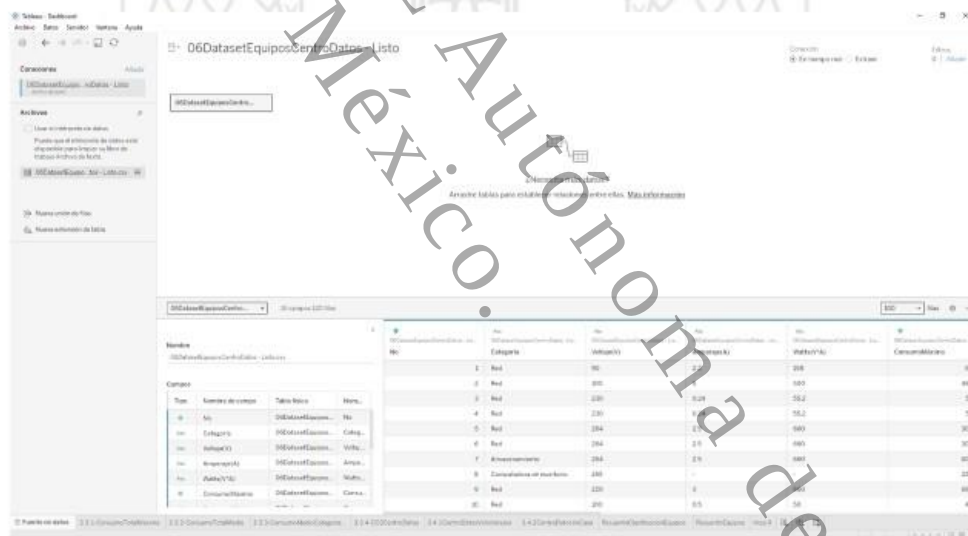
Fuente: Elaboración propia.

Etapas de visualización

A partir de los datos contenidos en el *dataset* de equipos y los datos calculados, se realizó un *Dashboard* para tener una visión completa sobre las emisiones de CO₂ del centro de datos, así como su comparación con las emisiones de vehículos y casas residenciales del Estado de Tabasco.

Para la creación del *Dashboard* se utilizó el *software Tableau* en el cual se cargó el *dataset* y se realizaron el cálculo de las variables de emisiones de CO₂ de los vehículos y las casas residenciales (ver Ilustración 10).

Ilustración 10 Carga de dataset en Tableau



Fuente: Elaboración propia.

En *Tableau* cada gráfica o representación de valores debe ser creada de manera separa en una hoja, tal como se muestra en la Ilustración 11, las cuales, posteriormente integraran los elementos del *Dashboard*.

Ilustración 11 Creación de gráficas en Tableau

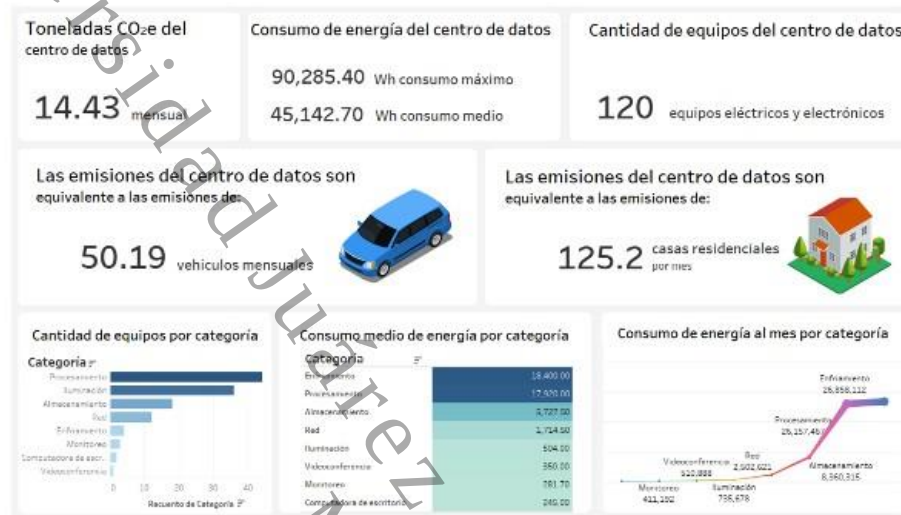
The screenshot shows the Tableau interface. On the left, there's a list of tables under 'Datos' and 'Tareas'. The main view is a line chart titled 'ConsumoEnergiaCategorias'. The y-axis is labeled 'Número de Consumidores' and ranges from 0 to 2000. The x-axis is labeled 'Categoría' and includes categories like 'Comunidades', 'Municipios', 'Industria', 'Residencial', 'Educación', 'Salud', 'Transporte', 'Gobierno', 'Comercio', 'Industria', 'Servicios', 'Otros'. A red line connects the data points, showing a sharp increase starting from 'Industria' and peaking at 'Edificios' with approximately 1900 consumers. To the right of the chart, there are several interactive elements like filters and a 'Mostrar' button.

Fuente: Elaboración propia.

Para la creación del *Dashboard*, se realizó la agrupación de las gráficas sobre un *Layout* sobre el cual se distribuyeron para presentar la información distribuida en diferentes secciones, como se muestra en la Ilustración 12.

Para la creación del *Dashboard*, se realizó la agrupación de las gráficas sobre un *Layout* sobre el cual se distribuyeron para presentar la información distribuida en diferentes secciones, como se muestra en la Ilustración 12.

Ilustración 12 Dashboard para visualización de datos



Fuente: Elaboración propia.

Toma de decisiones a nivel estratégico

Los resultados de esta investigación parten de la identificación del proceso de generación de energía y como esta es llevada a los usuarios finales para su uso a través de equipos eléctricos y electrónicos, ya que permite entender que la contaminación asociada a la Huella de Carbono Digital (HCD) está marcada por las fuentes de energías utilizadas para producir energía eléctrica y distribuirla, por lo que el CO₂ de la HCD no se libera en el sitio en el que se utiliza el equipo eléctrico o electrónico final, siendo el caso de esta investigación, el centro de datos de la UJAT.

Los resultados obtenidos de este trabajo, están dirigidos a los encargados del centro de datos de la UJAT, el cual se complementó con información de dos artículos científicos desarrollados en paralelo a este trabajo de investigación.

Proveedores de cómputo en la nube

Vidal-Cruz *et al.*, (2023) desarrollaron la evaluación de los tres principales proveedores de cómputo en la nube, los cuales fueron seleccionados a partir de los criterios de cantidad de ingresos percibidos al corte de diciembre del año 2022, que proveyeran servicios de infraestructura como servicio (*IaaS*, por sus siglas en inglés), plataforma como servicio (*PaaS*, por sus siglas en inglés) y *software* como servicio (*SaaS*, por sus siglas en inglés), siendo seleccionados los servicios de *Microsoft Azure*, *Amazon Web Services* y *Google Cloud Platform*.

La información de la evaluación se recolectó de publicaciones directas realizadas por cada proveedor a través de medios oficiales en sitios web, *blogs* e informes, en donde se validó que la información no excediera la antigüedad de 10 años. En los resultados de este estudio se identificó que en la información publicada en los últimos 10 años el servicio *Microsoft Azure* destina el 50% de sus acciones a reducir la contaminación intangible, mientras que el servicio de *Google Cloud Platform* destina el 75% para reducir su contaminación intangible, y se destaca que el servicio *Amazon Web Services* destina el 100% de sus acciones a reducir su contaminación tecnológica intangible.

De los resultados anteriores, se recomienda la adopción del servicio *Amazon Web Services* como proveedor de cómputo en la nube, al tener mayores acciones para reducir la contaminación tecnológica intangible.

Fabricantes de equipos tecnológicos para centros de datos

Las empresas de tecnologías analizadas fueron Pure Storage, NetApp HPE, Infinidat, IBM, Dell y Huawei, por ser empresas líderes de la industria, tal como lo informa Gartner en un informe publicado en el año 2023.

De las estrategias realizadas por estas empresas se identificó la adopción de certificaciones internacionales como forma de reducir la Huella de Carbono Digital generadas por el consumo eléctrico de los equipos tecnológicos de un centro de datos, por lo que se recomiendan la adopción de las siguientes certificaciones.

ISO 9001: Es una certificación enfocada en la aplicación de un Sistema de Gestión de Calidad. Se identificó que esta ISO se puede aplicar para mejorar la eficiencia de la calidad de los procesos relacionados con las funciones del centro de datos, relacionando que, a mejor eficiencia en las actividades realizadas, será menor la demanda de procesos que tengan que realizar los equipos tecnológicos, asociando a que se requerirá menor consumo de energía, de a su vez se reduzca la Huella de Carbono Digital.

ISO 14001: Es una certificación enfocada en la aplicación de un Sistema de Gestión Ambiental. Se identificó que esta ISO se puede aplicar para evaluar los procesos y actividades del centro de datos, con la finalidad de Planificar, Hacer, Verificar y Actuar con acciones necesarias para el cuidado del medio ambiente, para el alcance de este trabajo, se aplicaría enfocado en la contaminación tecnológica en la que se dispongan adecuadamente de los desechos tecnológicos, reciclado, reparación y prevención de afectaciones al ambiente.

ISO 50001: Es una certificación enfocada a la aplicación de un Sistema de Gestión de Energía. Se identificó que esta ISO se puede aplicar para evaluar la eficiencia energética del sistema eléctrico del centro de datos, al igual que, asegurar que la energía este siendo utilizada adecuadamente en los procesos establecidos en el centro de datos. Esta certificación serviría de base para la elaboración de estrategias de adopción de fuentes de energía alternativas para el funcionamiento de los equipos, como hacer uso de energía a través de paneles solares.

A partir de la información antes mencionada, se ofrece una serie de opciones que la UJAT puede adoptar y/o adaptar con base a las estrategias y objetivos establecidos para su reducción de Huella de Carbono Digital.

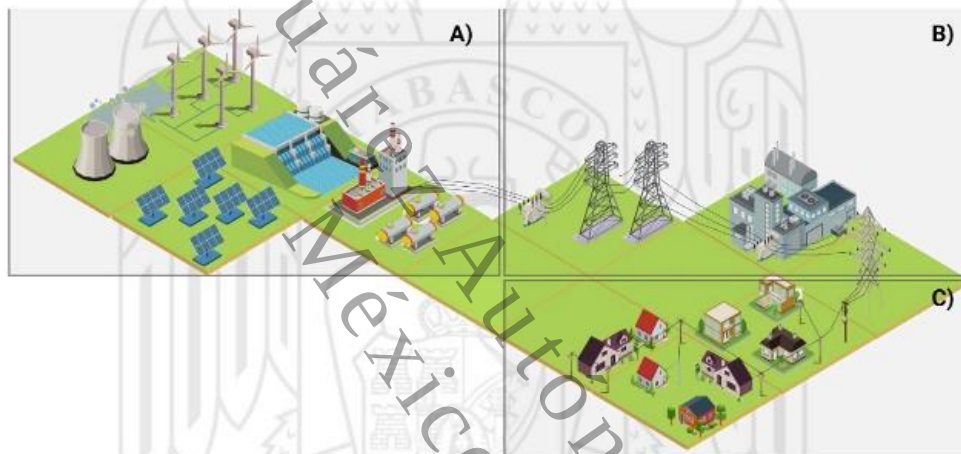
Proceso de generación de energía

Los resultados de esta investigación parten de la identificación del proceso de generación de energía y como esta es llevada a los usuarios finales para su uso a través de equipos eléctricos y electrónicos, ya que permite entender que la contaminación asociada a la Huella de Carbono Digital (HCD) está marcada por las fuentes de energías utilizadas para producir energía eléctrica y distribuirla, por lo que el CO₂ de la HCD no se libera en el sitio en el que se utiliza el equipo eléctrico o electrónico final, siendo el caso de esta investigación, el centro de datos de la UJAT.

En la Ilustración 13 se muestra el proceso completo de la HCD, el cual inicia con la generación de energía a partir de diferentes fuentes, como nucleares, eólicas, solar, hidroeléctricas, hidrocarburos, carbón, entre otras fuentes (Ilustración 13A). La segunda etapa del proceso consiste en transformar la energía eléctrica para

posteriormente distribuirla a estaciones eléctricas cerca de ciudades o comunidades (Ilustración 13B). La tercera etapa conlleva el distribuir la energía eléctrica a los usuarios finales (casas y empresas) para el uso de equipos eléctricos y electrónicos (Ilustración 13C), siendo el caso específico de esta investigación, el centro de datos de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Ilustración 13 Proceso de generación y entrega de energía eléctrica



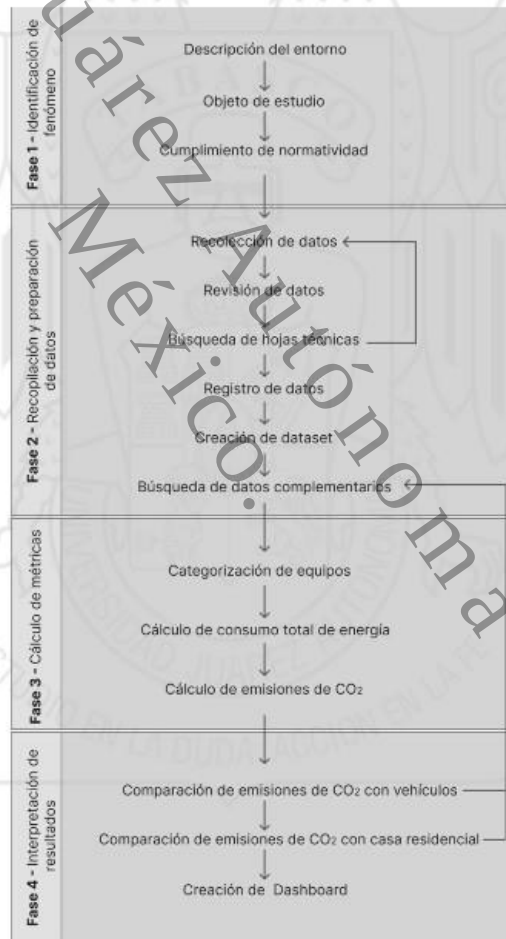
Fuente: Elaboración propia. Panel A: Generación de energía. Panel B: Transformación de energía. Panel C: Distribución de energía a usuarios finales.

Conocer las etapas del proceso de generación de energía hasta la entrega de energía a usuarios finales, permitió entender las fuentes de información que se pueden utilizar para la generación del modelo de estimación de CO₂ de Huella de Carbono Digital de esta investigación.

Método sintético de HCD

Un resultado no previsto de esta investigación fue el desarrollo de un método denominado por los investigadores como "Método sintético de HCD" fundamentado en el Método Sintético. Dicho método sirve para la estimación de la Huella de Carbono Digital (Ilustración 14).

Ilustración 14 Método sintético de HCD



Fuente: Elaboración propia.

Durante el proceso de aplicación del método de esta investigación, se identificaron puntos de mejoras que se aplicaron al Método Sintético de HCD, durante la ejecución del paso de búsqueda de hojas técnicas, al estar buscando las hojas técnicas de los equipos y estas no sean encontradas, se recurra al paso de recolección de datos para la validación de que los datos capturados sean correctos.

Otra mejora identificada fue durante la obtención de los datos de comparación de las emisiones de CO₂ con vehículos y la comparación de las emisiones de CO₂ con casa residencial, ya que se debe verificar que los procedimientos realizados sean correctos, utilizando las unidades correspondientes y los decimales necesarios, con la finalidad de reducir sesgos en los datos.

A partir del Método Sintético de HCD se desarrolló y documentó el modelo de estimación de Huella de Carbono Digital.

Modelo de estimación de HCD

El desarrollo del modelo de estimación de la Huella de Carbono Digital está fundamentado en la Teoría General de Sistemas, en la Ilustración 15 se muestran los componentes del modelo desarrollado, en el cual los elementos de Entrada identificados son "Consumo de energía de equipos del centro de datos" el cual se obtuvo a partir de las hojas técnicas de los fabricantes de los equipos. "Factor de Emisión" del Sistema Eléctrico Nacional del año 2023. "Consumo de energía de casa residencial" y "Emisión de CO₂ de vehículos" utilizados como valor de contraste de las emisiones del centro de datos. Los elementos de Proceso son "Transformación de variables" y "Equivalencias de valores" de acuerdo con los cálculos realizados. Los elementos de Salida es la "Emisiones de CO₂" del centro

de datos, "Equivalencia de CO₂ comparada con casas residenciales" y "Equivalencia de CO₂ comparada con vehículos". Los elementos de Retroalimentación son "Ajustes en la cantidad de decimales", "Validación de transformación de variables" y "Rectificación en el consumo de energía de los equipos del centro de datos".

Ilustración 15 Modelo de estimación de HCD



Fuente: Elaboración propia.

Discusión

En el desarrollo de esta investigación se logró determinar las emisiones de CO₂ del centro de datos asociadas a la Huella de Carbono Digital, el cual se estima en 14.43 tCO₂ por mes, en el cual se utilizaron como valores de contrastes otras fuentes de emisión de CO₂ como vehículos del Estado de Tabasco, el cual se estima una la equivalencia de 50.19 vehículos por mes con respecto a las emisiones del centro de datos, así como de igual manera se estima la equivalencia de 125.3 casas residenciales por mes comparado con las emisiones del centro de datos.

La comparación de equivalencias de las emisiones de dióxido de carbono del centro de datos con respecto a otras fuentes de emisión de CO₂ permiten tener un dimensionamiento sobre las afectaciones que se generan al ambiente, así como apoyar al establecimiento de métricas e indicadores para objetivos que busquen reducir dicha Huella de Carbono Digital.

De los resultados obtenidos como la creación de un Método sintético de HCD, un modelo de estimación de HCD, un Dashboard de emisiones y un informe de resultados desarrollado complementado con dos artículos científicos, proporciona información a la literatura científica existente, tal como lo han realizado investigadores como Olvera (2022), López-Villarreal et al. (2022), Guamán et al. (2021), y Townsend (2021). De igual manera se proporciona información para los usuarios finales, siendo en esta investigación los encargados del centro de datos de la UJAT.

De la investigación realizada por López-Villarreal et al. (2022) titulada "Ahorro de la Energía y eficiencia energética en la zona de la cultura de la Universidad Juárez

Autónoma de Tabasco" se observa que se puede hacer un aporte en la metodología utilizada, en la cual se puede reemplazar la metodología Producción más Limpia (P+L) por el Método Sintético de HCD para emplear instrumentos de medición exactos sobre el consumo de energía de los equipos eléctricos y electrónicos que componen el centro de datos.

Conclusiones

A partir de la información antes mencionada, se ofrece una serie de opciones que la UJAT puede adoptar y/o adaptar a partir de las estrategias y objetivos establecidos para su reducción de Huella de Carbono Digital.

Como conclusión de este trabajo, se hace el señalamiento que el propósito de estimar las emisiones de CO₂ del centro de datos de la UJAT, no es estigmatizar las tecnologías como malas o perjudicial, sino conocer y comprender las emisiones de CO₂ de la Huella de Carbono Digital que emite la tecnología por el consumo de energía y a su vez, plantear y establecer las estrategias necesarias para reducir dichas emisiones.

Trabajos futuros

Durante el desarrollo de esta investigación, se identificaron trabajos futuros que pueden retomar la investigación realizada desde otras perspectivas, tales como:

- Realizar una evaluación directa del consumo real de los equipos tecnológicos que componen el centro de datos comparado con la información teórica obtenida de esta investigación. En la que se implementen equipos de medición de energía consumida por cada equipo en un periodo de tiempo determinado.
- Realizar una evaluación del consumo de energía de los equipos del centro de datos en la que se tome en consideración las variables de temperatura externa e interna del centro de datos y la carga de trabajo que realicen los equipos tecnológicos (respaldo de información, transformación de información, transferencia de información, renderizado de video, etcétera).
- Realizar una comparación del consumo de energía de un centro de datos físico contra un centro de datos virtual alojado en un proveedor de servicio especializado.
- Emplear algoritmos de minería de datos para la identificación de las áreas de los equipos que se pueden optimizar en relación con su consumo de energía y cargas de trabajo.
- Desarrollar una plataforma que permita llevar el registro del consumo de energía de los equipos tecnológicos de un centro de datos y las emisiones de Huella de Carbono Digital.

- Desarrollar una investigación que aborde las acciones que están realizando otras instituciones u organizaciones internacionales para reducir la Huella de Carbono Digital, y como esas acciones pueden ser adoptadas o adaptadas a un contexto local en México.

Referencias

- Aliverti, P. (2017). *Electrónica para makers Guía completa* (1er ed.). Marcombo.
<https://latam.casadellibro.com/libro-electronica-para-makers-guia-completa/9788426724496/5341599>
- Amazon. (2022). *AWS lanza una herramienta para medir la huella de carbono de los clientes*. Amazon Web Services, Inc. <https://aws.amazon.com/es/about-aws/whats-new/2022/03/aws-launches-customer-carbon-footprint-tool/>
- Cisco. (2020, agosto 9). *¿Qué es un centro de datos?* Cisco. https://www.cisco.com/c/es_mx/solutions/data-center-virtualization/what-is-a-data-center.html
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2013). *Huella de carbono, exportaciones y estrategias empresariales frente al cambio climático*. <https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/4101/S2013998rev1.pdf>
- Cornelio, E. (2019). *Programa Sectorial de Movilidad Sostenible*. Secretaría de Movilidad.
https://tabasco.gob.mx/sites/default/files/users/planeacion_spf/11.%20Programa%20Sectorial%20de%20Movilidad%20Sostenible%202019-2024.pdf
- Gobierno de México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, & Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2022). *México: Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero, 1990-2019*.

- https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/737226/156_2022_INEGY_CEI_1990-2019_NIR.pdf
- Google. (2019). *Google Maps*. <https://www.google.com.mx/maps/@18.008213,-92.9237899,3a,29.7y,208.99h,91.95t/data=!3m6!1e1!3m4!1s1Lwzy2XBYQc eqw0uK1cwVwI2e0!7i16384!8i8192?entry=ttu>
- Google. (2023). *Huella de carbono*. Google Cloud. <https://cloud.google.com/carbon-footprint?hl=es-419>
- Guamán, C. R. S., Vivar, S. A. M., Rivera, D. P. P., & Jadan, B. E. V. (2021). Impacto ambiental por consumo de energía eléctrica en los Data Centers. *Dilemas contemporáneos: Educación, Política y Valores*. <https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i.2786>
- International Business Machines. (2022, agosto 12). *¿Qué son los centros de datos?* <https://www.ibm.com/mx-es/cloud/learn/data-centers>
- López-Villarreal, L. M., Aguilar, K. M., Macías, E. V., Hernández, I., López, L. M., & López, S. (2022). AHORRO DE ENERGÍA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA ZONA DE LA CULTURA DE LA UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO. *Journal of Energy, Engineering Optimization and Sustainability*, 6(1), Article 1. <https://doi.org/10.19136/jeeos.a6n1.4846>
- Naciones Unidas. (2019, noviembre 29). *Cambio climático | Naciones Unidas*. United Nations; United Nations. <https://www.un.org/es/global-issues/climate-change>
- Naciones Unidas. (2022). *Objetivos y metas de desarrollo sostenible [Blog]*. Desarrollo Sostenible.

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Olvera, D. R. C. (2022). La nube contaminante. Un análisis socioambiental de la huella de carbono digital. *PAAKAT: Revista de Tecnología y Sociedad*, 12(22). <http://dx.doi.org/10.32870/Pk.a12n22.730>

Organización Meteorológica Mundial. (2019a). *Boletín sobre los gases de efecto invernadero—N° 15: Estado de los gases de efecto invernadero en la atmósfera según las observaciones mundiales realizadas en 2018* (15). https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10127

Organización Meteorológica Mundial. (2019b, noviembre 25). *La concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera alcanza un nuevo récord*. <https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/la-concentraci%C3%B3n-de-gases-de-efecto-invernadero-en-la-atm%C3%B3sfera-alcanza>

Organización Mundial de la Salud. (2021, octubre 30). *Cambio climático y salud*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health>

Piña, J. (2016). *Plan de Desarrollo a Largo Plazo 2028*. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. <https://www.ujat.mx/rectoria/7119>

Presidencia de la República. (2021). *Tercer informe de gobierno 2020—2021* (3). Presidencia de la República. <https://framework-gb.cdn.gob.mx/informe/5b8e7a983a893dfcbd02a8e444abfb44.pdf>

Secretaría de Energía. (2021). *Balance Nacional de Energía 2020*.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/707654/BALANCE_NACIONAL_ENERGIA_0403.pdf

SEMARNAT. (2020). *Consumo de energía por hogar*.
https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio_2021/dgeiawf.semarnat.gob.mx_8080/ibi_apps/WFServlet1a10.html

Sharma, P., & Dash, B. (2022). The Digital Carbon Footprint: Threat to An Environmentally Sustainable Future. *International Journal of Computer Science & Information Technology*, 14(3), 19–29.
<https://doi.org/10.5121/ijcsit.2022.14302>

Townsend, J. E. (2021). La huella de carbono digital en los centros de datos privados. En *DESARROLLO, AMBIENTE Y SOCIEDAD PERSPECTIVA MULTIDISCIPLINARIA* (Vol. 1). Universidad Tecnológica Empresarial de Guayaquil. <https://www.uteg.edu.ec/wp-content/uploads/2022/10/TOMO-1-DAS.pdf>

United Nations Children's Fund. (2019, diciembre 2). *Medio ambiente y cambio climático* | UNICEF. <https://www.unicef.org/es/medio-ambiente-cambio-climatico>

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. (2014, marzo). Manual general de organización de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. *Gaceta Juchimán*, 3(34). <https://gacetajuchiman.ujat.mx/wp-content/uploads/2021/10/MANUAL-GENERAL-DE-ORGANIZACION-VIGENTE-2014.pdf>

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. (2020). *Plan de Desarrollo Institucional 2020-2024* (p. 63). Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. <https://archivos.ujat.mx/2020/planeacion/PDI%202020-2024-1.pdf>

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. (2024). *4to Informe de actividades 2023-2024* (4). Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. <https://archivos.ujat.mx/2024/rectoria/4to%20Informe%202023-2024.pdf>

Vidal-Cruz, H. E., Francisco L., J. J., & Corona F., A. (2023). La contaminación tecnológica tangible e intangible desde una perspectiva de 3 proveedores de servicio de cómputo en la nube. *INVESTIGACIÓN APLICADA, UN ENFOQUE EN LA TECNOLOGÍA*, 16. <https://doi.org/10.60968/IAET.3594-035X>

VMware. (2021). *Panel de virtualización y eficiencia de carbono*. <https://docs.vmware.com/es/VMware-Aria-Operations/SaaS/Configuring-Operations/GUID-00EFA908-6B8E-4D5D-967C-2E56161FD1BE.html>

Walsh, N. (2020, enero 16). *Microsoft Sustainability Calculator helps enterprises analyze the carbon emissions of their IT infrastructure* | Azure Blog | Microsoft Azure. Azure Blog. <http://azure.microsoft.com/es-es/blog/microsoft-sustainability-calculator-helps-enterprises-analyze-the-carbon-emissions-of-their-it-infrastructure/>

World Wildlife Fund. (2018, abril 3). *Glosario ambiental: ¿Qué son los Gases de Efecto Invernadero (GEI)?* <https://www.wwf.org.co/?325754/Que-son-los-Gases-de-Efecto-Invernadero-GEI>

Yris, W. H. M. (2007). *Red de la UJAT y nuevas tecnologías*.
http://148.202.106.112/bitstream/handle/11305/886/Presentacion_hector_mmanuel.pdf?sequence=5&isAllowed=y





Anexo A. Factor de Emisión del Sistema Eléctrico Nacional 2023

Figura 17

Factor de Emisión del Sistema Eléctrico Nacional 2023

**MEDIO AMBIENTE**
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

**2024**
Felipe Carrillo
PUERTO
GOBIERNO DEL PROLETARIADO, REVOLUCIONARIO Y DEFENSOR DEL PAÍS

**MEDIO AMBIENTE**
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

**2024**
Felipe Carrillo
PUERTO
GOBIERNO DEL PROLETARIADO, REVOLUCIONARIO Y DEFENSOR DEL PAÍS