





# **Universidad Autónoma de Ciudad Juárez**

**Instituto de Ingeniería y Tecnología**

**Departamento de Eléctrica y Computación**

**Maestría en Cómputo Aplicado**

## **“Sistema de Índice de Calidad de Aire con Participación Comunitaria para Ciudad Juárez”**

Tesis para obtener el grado de  
Maestro en Cómputo Aplicado

Nabile Edith Rodríguez García

“Becada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología”

**Bajo la Dirección del**

**Dr. Israel Hernández Hernández**

**Y la Codirección del**

**M. en C. Fernando Estrada Saldaña**

Ciudad Juárez, Chihuahua, Noviembre de 2020

## Agradecimientos

En primer lugar, deseo expresar mi agradecimiento al director y codirector de esta tesis, Dr. Israel Hernández y Mtro. Fernando Estrada, por la dedicación y apoyo que han brindado a este trabajo, por el respeto a mis sugerencias e ideas y por la dirección y el rigor que ha facilitado a las mismas.

Al Dr. Felipe Adrián Vázquez, director del Centro de Ciencias Atmosféricas y Tecnologías Verdes (CECATEV) y responsable del proyecto Red Climatológica y de Calidad del Aire UACJ en Ciudad Juárez, por sus valiosos comentarios y por la oportunidad de trabajar en este importante proyecto para Ciudad Juárez

Gracias por la confianza ofrecida desde el inicio de este proyecto.

A mi esposo, por su apoyo incondicional y por siempre creer en mí.

A mi familia, por el amor y cariño, pero sobre todo a mis padres por el don de la vida.

A mis compañeros, por el tiempo compartido.

A mis amigos, por los momentos inolvidables y la motivación mutua.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por el apoyo durante la realización de este proyecto.

Y sobre todo gracias a ti, por leer cada palabra.

“Nuestra recompensa se encuentra en el esfuerzo y no en el resultado.

Un esfuerzo total, es una victoria completa”

Mahatma Gandhi

Gracias totales.

## Índice de Contenidos.

<b>1. Planteamiento</b> .....	<b>11</b>
<b>1.1 Antecedentes</b> .....	<b>11</b>
<b>1.2. Definición del problema</b> .....	<b>16</b>
<b>1.3. Objetivos</b> .....	<b>16</b>
1.3.1. <i>Objetivo general</i> .....	16
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	16
<b>1.4. Justificación</b> .....	<b>17</b>
<b>2. Marco referencial</b> .....	<b>18</b>
<b>2.1. Marco conceptual</b> .....	<b>18</b>
<b>2.2. Marco teórico</b> .....	<b>19</b>
2.2.1. <i>Normatividad NADF-009-AIRE-2006</i> .....	19
2.2.1.1 <i>Propósito del IMECA</i> .....	19
2.2.1.2. <i>Uso de las concentraciones de los contaminantes atmosféricos criterio para obtener el IMECA</i> .....	20
2.2.2. <i>Normatividad NADF-009-AIRE-2017</i> .....	20
2.2.2.1. <i>Índice de calidad del aire</i> .....	21
2.2.2.2. <i>Comunicación de riesgos</i> .....	22
2.2.3. <i>Estación Meteorológica</i> .....	24
2.2.3.1. <i>Partes de estación meteorológica</i> .....	24
2.2.3.2. <i>Clasificación de estaciones</i> .....	24
2.2.4. <i>Estación de calidad de aire</i> .....	25
2.2.4.1. <i>Clasificación de estaciones de calidad de aire por tipo de operación</i> .....	25
2.2.5. <i>Variables de calidad de aire</i> .....	26
2.2.5.1. <i>Partícula Atmosférica: definición y efectos de la contaminación ambiental</i> .....	26
2.2.5.2. <i>Ozono: definición y efectos de la contaminación ambiental</i> .....	28
2.2.5.3. <i>CO: definición y efectos de la contaminación ambiental</i> .....	29
2.2.6. <i>NOM-172-SEMARNAT-2019</i> .....	29
<b>2.3. Marco tecnológico</b> .....	<b>31</b>
2.3.1. <i>Servicio Web (Web Service)</i> .....	31
2.3.1.1. <i>Tipos de Servicio Web</i> .....	32
2.3.2. <i>XML (eXtensible Markup Language)</i> .....	32
2.3.3. <i>PHP</i> .....	32
2.3.4. <i>JavaScript</i> .....	33

- 2.3.5. *WeeWX*..... 32
- 3. Metodología de Desarrollo..... 34**
  - 3.1. Iteración I..... 34**
    - 3.1.1. *Objetivo*..... 34
    - 3.1.2. *Análisis*..... 35
      - 3.1.2.1. *Índice de calidad de aire*..... 35
      - 3.1.2.2. *Selección de herramientas*..... 35
    - 3.1.3. *Diseño* ..... 36
    - 3.1.4. *Validación del Cliente*..... 38
  - 3.2. Iteración II..... 38**
    - 3.2.1. *Objetivo*..... 38
    - 3.2.2. *Análisis*..... 38
      - 3.2.2.1. *Etapas para un índice de calidad de aire*..... 39
    - 3.2.3. *Diseño* ..... 45
    - 3.2.4. *Codificación*..... 48
    - 3.2.5. *Pruebas* ..... 48
    - 3.2.6. *Validación del Cliente*..... 49
  - 3.3. Iteración III..... 49**
    - 3.3.1. *Objetivo*..... 49
    - 3.3.2. *Análisis*..... 49
    - 3.3.3. *Diseño* ..... 49
- 4.Resultados ..... 53**
- 5.Conclusiones ..... 63**
- Referencias..... 65**
- Apéndice. Lista de Acrónimos ..... 69**
- Anexo I ..... 72**
- Anexo II..... 74**
- Anexo III ..... 77**
- Anexo IV ..... 78**

## Índice de Figuras.

Figura 1. Metodología de modelo iterativo basada en prototipos utilizada en el proyecto.....	34
Figura 2. Obtención de un XML. ....	37
Figura 3. Modelo conceptual para obtener un índice de calidad de aire.....	38
Figura 4. Etapas para obtener un índice de calidad.....	39
Figura 5. Diagrama de flujo para un ICAV.....	46
Figura 6. Diagrama para el desarrollo de un script. ....	47
Figura 7. Prueba inicial de extracción a partir de un XML.....	49
Figura 8. Prueba inicial de extracción a partir de un XML.....	49
Figura 9. Prueba final de extracción a partir de un XML.....	49
Figura 10. Sitio web completo con ICAV.....	51
Figura 11. Código QR enlazado al sitio web de ICAV.....	52
Figura 12. Condiciones del 13/07/19. ....	62

## Índice de Tablas

Tabla I. Modelos de colores del Índice de Calidad del Aire. ....	23
Tabla II. Diferencia entre el Índice NOM-172-SEMARNAT-2019 y el NADF-009-AIRE-2017....	31
Tabla III. Diferencias entre Javascript y PHP.....	36
Tabla IV. Indicador de calidad.....	40
Tabla V. Intervalos de concentración por contaminante.....	40
Tabla VI. Ecuaciones para el CA por contaminante.....	41
Tabla VII. Ejemplo de cálculo.....	44
Tabla VIII. Resultado de ejemplo de cálculo.....	44
Tabla IX. Interpretación de ejemplo.....	45

## Índice de Gráficas

Gráfica 1. Índice de calidad general del 6 de Febrero.....	54
Gráfica 2. Índice de calidad para ozono del 6 de febrero.....	54
Gráfica 3. Índice de calidad para monóxido de carbono del 6 de febrero.....	55
Gráfica 4. Índice de calidad para partículas suspendidas 2.5 del 6 de febrero.....	55
Gráfica 5. Índice de calidad general del 7 de marzo.....	56
Gráfica 6. Índice de calidad para ozono del 7 de marzo.....	56
Gráfica 7. Índice de calidad para monóxido de carbono del 7 de marzo.....	57
Gráfica 8. Índice de calidad para partículas suspendidas del 7 de marzo.....	57
Gráfica 9. Índice de calidad general del 2 de abril.....	58
Gráfica 10. Índice de calidad para ozono del 2 de abril.....	58
Gráfica 11. Índice de calidad para monóxido de carbono 2 de abril.....	59
Gráfica 12. Índice de calidad para partículas suspendidas 2 de abril.....	59
Gráfica 13. Índice de calidad general del 20 de mayo.....	60
Gráfica 14. Índice de calidad para ozono del 20 de mayo.....	60
Gráfica 15. Índice de calidad para monóxido de carbono del 20 de mayo.....	61
Gráfica 16. Índice de calidad para partículas suspendidas 2.5 del 20 de mayo.....	61

## **Introducción**

Actualmente el Centro de Ciencias Atmosféricas y Tecnologías Verdes (CECATEV) se encuentra desarrollando el proyecto Red Climatológica y de Calidad del Aire UACJ en Ciudad Juárez (RCCA), enfocado en el monitoreo ambiental de bajo costo para determinar la calidad del aire. Los parámetros de calidad del aire considerados de acuerdo con las características ambientales de Ciudad Juárez son los gases considerados criterio como son: Ozono(O<sub>3</sub>), Monóxido de Carbono (CO), y Partículas Suspendidas conocidas como finas (PM<sub>2.5</sub>), donde también considera los parámetros meteorológicos de temperatura y humedad. El sistema en cuestión comprende el uso de estaciones meteorológicas y de calidad de aire, y también la manufactura de analizadores ambientales de bajo costo, los cuales son instalados en lugares públicos con espacios abiertos en un núcleo urbano.

Una vez instalados, estos comienzan el monitoreo y recolección de datos de los parámetros de calidad de aire y meteorológicos, los cuales se envían a un base de datos remota para su almacenamiento. Después son almacenados y pasan por un control de calidad, que permite mantener la integridad y su uso confiable para futuras actividades de análisis de datos. Posteriormente se determina la calidad de aire por medio del cálculo de un índice de calidad de aire que indica el grado de contaminación del aire presente y que está referenciado al Índice Metropolitano de Calidad del Aire (IMECA). Este indicador es difundido a la comunidad utilizando un esquema de colaboración comunitaria, que busca fomentar la conciencia colectiva de la comunidad respecto a los efectos de la calidad del aire en la salud de las personas mediante la generación de información útil relacionada con las condiciones ambientales.

Es importante mencionar que el término participación comunitaria en el contexto del proyecto, se limita a proporcionar información del índice de calidad del aire actual y sus respectivas recomendaciones a las personas, para que estas puedan tomar conciencia y acciones encaminadas a cuidar su salud, cuando la calidad del aire no sea buena.

El proyecto propone un sistema de calidad de aire para Ciudad Juárez orientado por estaciones artesanales de bajo costo creadas por la UACJ con el objetivo de instalarlas en el núcleo urbano mencionado. Por lo tanto, se establece los gases criterio que fueron previamente seleccionados, con el objetivo de constituir un índice de calidad de aire vigente (ICAV) y aplicable a las estaciones artesanales e incluso a estaciones de referencia. El ICAV utiliza un método propuesto por etapas para lograr una interpretación de acuerdo con colores establecidos para brindar sugerencias a personas susceptibles ante la mala calidad de aire a través de una página web.

En el primer capítulo se describe el planteamiento del problema. El segundo capítulo describe el marco teórico y marco tecnológico. El tercer capítulo describe la metodología utilizada para determinar el cálculo de un índice de calidad de aire, así como las etapas que lo constituyen. En el cuarto capítulo se evalúan los resultados de la calidad del aire utilizando el índice de calidad de aire, así como la relación entre tiempo y calidad. En el último capítulo, se presentan las conclusiones del proyecto, así como posibles mejoras y visión de oportunidades relacionadas con los contaminantes.

## 1. Planteamiento

### 1.1 Antecedentes

La contaminación del aire, también llamada contaminación atmosférica, se refiere a la presencia y acumulación de gases en el aire y partículas sólidas, que, en altas concentraciones, pueden tener un impacto negativo en la salud de los seres vivos, según estudios descritos en [1], [2], [3] y [4].

Los principales contaminantes del aire pueden ser gaseosos y en forma de partículas sólidas [5]. Los contaminantes gaseosos más comunes (considerados dentro de los contaminantes criterio) son el monóxido de carbono, el ozono, el óxido de carbono, los hidrocarburos, los óxidos de nitrógeno y los óxidos de azufre [5][6]. Existen diversos motivos y acciones que producen estos gases, por ejemplo, la quema de combustibles fósiles asociada a la industria, la quema de basura y al uso de automóviles. Los contaminantes de partículas sólidas de mayor interés son las partículas finas suspendidas en el aire cuyo diámetro es menor de 2.5 micras ( $\mu\text{m}$ ), conocidas por  $\text{PM}_{2.5}$  y las partículas gruesas cuyo diámetro oscila entre 2.5 y 10  $\mu\text{m}$ , conocidas por  $\text{PM}_{10}$  [6]. Estas por lo regular se inhalan fácilmente y pueden afectar el sistema respiratorio inferior (tráquea, bronquios, los bronquiolos y los alvéolos), donde pueden generar procesos inflamatorios y cardiovasculares [3][7][8]. No todos los contaminantes criterios y partículas mencionadas anteriormente están presentes en el aire de un determinado núcleo urbano. Por ejemplo, un núcleo urbano pudiera presentar altas concentraciones de ozono, monóxido de carbono y partículas  $\text{PM}_{2.5}$ , y no observar concentraciones relevantes de los otros gases criterios. De ahí que el sistema propuesto se puede adaptar para monitorear y servir con información específica para los contaminantes relevantes en una comunidad dada.

Además, existe una preocupación global por el incremento en los costos de salud relacionados a una mala calidad del aire sobre todo en los núcleos urbanos, los cuales muchos de ellos no cuentan con sistemas de monitoreo de calidad del aire, que contemple umbrales y contingencias por mala calidad [5] [9].

Con objeto de traducir la información técnica de la calidad del aire al público en general, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) implementó un Índice de Calidad del Aire (AQI, por sus siglas en inglés), para la notificación diaria de la calidad del aire a la comunidad en un lenguaje simple y consistente para relacionar la calidad del aire con los efectos en la salud de personas vulnerables[10]. El AQI considera cinco contaminantes ambientales criterio: **ozono, contaminación por partículas (PM), monóxido de carbono, dióxido de azufre y dióxido**

**de nitrógeno.** El valor del índice indica el grado de contaminación ambiental y está directamente relacionado con los efectos en la salud de las personas. De esta forma, un valor del AQI de 0 a 50 indica que existe un riesgo escaso para la salud. Un valor del AQI en el rango de 51 a 100 indica que la calidad del aire es aceptable, pero para algunos contaminantes podría existir una preocupación moderada para la salud de un grupo pequeño de personas extremadamente sensibles a la contaminación ambiental. Un AQI en el rango de 101 a 150 indica que las personas de grupos sensibles pueden padecer efectos en la salud, aunque probablemente no afecta a las personas en general. Un AQI en el rango de 151 a 200 indica que todas las personas pueden comenzar a padecer efectos en la salud y aquellas personas de grupos sensibles son más propensas a padecer efectos más graves. Un AQI en el rango de 201 a 300 requiere advertencias sanitarias de condiciones de emergencias en el que la probabilidad es alta de que toda la población sea afectada. Un AQI de 301 a 500 requiere emitir una alerta sanitaria y toda la población puede padecer efectos sanitarios graves. Los valores mayores de 500 se consideran por encima del índice de la calidad del aire (AQI).

El cálculo del AQI considera lo siguiente:

- Se calcula la concentración promedio de cada contaminante ambiental con los datos recopilados en las últimas 24 horas.
- Se determina por el promedio de las concentraciones promedio de cada contaminante ambiental.

Lo anterior tiene la ventaja de que con tal información es posible la predicción de la calidad de aire para días posteriores. Sin embargo, el considerar los datos recopilados de los contaminantes ambientales en un periodo de 24 horas, puede generar un margen de error significativo en el cálculo del AQI para el día actual, ya que no sería capaz de reaccionar a la fluctuación de los parámetros ambientales a lo largo del día.

Por otro lado, se han realizado esfuerzos para crear estaciones de monitoreo de calidad del aire, las cuales contengan sensores para medir el nivel de concentración de contaminantes ambientales que pueden afectar la salud de las personas: ozono, partículas suspendidas, monóxido de carbono, dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno. Existen las estaciones de referencia que tienen un alto valor comercial y se recomiendan instalar 1 por cada 500,000 habitantes. También se encuentran las estaciones secundarias con un valor comercial de aproximadamente la mitad del valor de las estaciones de referencia y pueden ser instaladas 1 por cada 250,000 habitantes.

Ambas estaciones requieren un mantenimiento especializado periódico y en caso de alguna descompostura, se tiene que reemplazar el sensor o el equipo. Tanto las estaciones de referencia como las estaciones secundarias están preparadas para soportar índices de calidad ambiental basados en el AQI. Sin embargo, existe otra alternativa poco utilizada que puede ser efectiva en el monitoreo de la calidad del aire, que es la creación artesanal de analizadores ambientales con microcontroladores y sensores de bajo costo (unas decenas de dólares). Esta alternativa permite instalar analizadores en grandes cantidades dentro de un núcleo urbano, teniendo un cálculo más preciso de las zonas con mayor concentración de contaminantes ambientales. Esta alternativa no requiere mantenimiento especializado y en caso de descompostura se reemplaza por otro igual. Uno de los retos que se tiene al usar esta alternativa es el algoritmo de interpretación de resultados, ya que los dispositivos de bajo costo al momento de monitorear un parámetro ambiental emiten una señal de voltaje (en voltios) que, con el adecuado algoritmo de interpretación de datos, tiene un valor proporcional a un valor medido en una estación de referencia.

En la Ciudad de México, se implementó el Índice Metropolitano de Calidad de Aire (IMECA) para monitorear la calidad del aire, de acuerdo con las normas de protección a la salud vigentes en la Ciudad de México y sus alrededores[11]. El IMECA tiene su fundamento en la Norma Ambiental Mexicana NADF-009-2017 [12] donde se establecen los requisitos para el cálculo y la difusión del IMECA. Se utilizan estaciones de referencia y secundarias para monitorear la calidad del aire. El índice de calidad del aire se reporta cada hora los 365 días del año, para cada una de las 29 estaciones de monitoreo de la calidad del aire en la CDMX y la zona conurbada. La difusión del IMECA comprende radio, televisión, medios impresos, internet, redes sociales y aplicaciones para teléfonos móviles.

También se ha encontrado que otros estados de México han implementado en base a normas mexicanas relacionadas con calidad de aire y medición de concentraciones de gases criterio, algunos sistemas de monitoreo de la calidad del aire para hacer frente a la contaminación presente en el ambiente, tales como el SIMEG del estado de Guanajuato, CEMCAQ del estado de Querétaro, RAMA del estado de México, SIGA del estado de Jalisco, SIMA del estado de Nuevo León (Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire) [13].

Los sistemas de monitoreo mencionados anteriormente utilizan un esquema de procesamiento de datos a través de estaciones de calidad de aire y meteorológicas para brindar reportes respecto a gases criterio y variables meteorológicas respectivamente, donde también se representan de manera

individual la calidad de aire a través de sitios web. Así mismo se considera el IMECA como fundamento en cada uno de ellos y asociado como referencia para la calidad respecto a utilizar el valor de la mayor concentración de gases criterio resultante para indicar recomendaciones dirigidas a la población, especialmente a personas o grupos sensibles.

Sin embargo, al igual que las estaciones de monitoreo de la Ciudad de México, las estaciones de calidad de aire utilizadas para monitorear los contaminantes ambientales son de referencia y secundarias, las cuales son costosas y por lo mismo se instalan pocas en un núcleo urbano, requieren mantenimiento especializado periódico y en caso de averías es necesario reemplazar la estación por un equipo similar.

Dado el avance significativo de la contaminación del aire y su efecto en las personas que viven en núcleos urbanos, se hace necesario el desarrollo de sistemas, mecanismos y/o metodologías que permitan monitorear la calidad del aire y alertar a la población cuando los niveles de calidad del aire pongan en riesgo la salud de las personas.

El incremento en los costos de salud en relación con una mala calidad del aire en entornos urbanos ha llamado fuertemente la atención a nivel global. En Ciudad Juárez, Chihuahua si bien se tiene un monitoreo de la calidad del aire, no se cuenta con un programa de calidad de aire que contemple umbrales y contingencias por mala calidad. Tal monitoreo atiende de manera integrada las mediciones de concentraciones de gases criterio como el Ozono, CO y PM<sub>2.5</sub>, así como las variables meteorológicas de humedad, velocidad de viento y temperatura. Para lograr lo anterior es necesario instalar estratégicamente sensores en diferentes áreas de la ciudad, extraer su información, almacenarlos en bases de datos, analizar los datos y crear un mecanismo de alerta ciudadana cuando el valor del índice puede perjudicar la salud de las personas. La participación comunitaria es un elemento primordial en el desarrollo del sistema, donde naturalmente existe la preocupación por parte de la población por la calidad del aire que respiran y la necesidad de proponer ideas y comentarios al respecto a las autoridades correspondientes [14][15][16].

Además, es necesario comprender la importancia de establecer modelos y plataformas para desarrollar alertas en tiempo real. En [17] se extiende la opinión acerca de la sequía y como es que es un riesgo a gran escala proveniente de la naturaleza, por lo que un sistema de alerta temprana y un sistema de comunicación, envían activamente información a las comunidades cercanas, con la intención de prepararlos ante la posible amenaza. Sin embargo, se plantea que existen sistemas de

alerta temprana para la sequía que han sido implementados en diferentes niveles de gobierno, para obtener la posibilidad de informar a las comunidades que no tenga el acceso a la información.

En [18] se propone la implementación de un sistema de alerta en los sistemas eléctricos en Colombia, como medida de protección, con el objetivo de aumentar la calidad en el servicio que se proporciona a la ciudadanía. En relación con lo anterior fue el cambio en las regulaciones de mejorar la planeación y operación de los circuitos eléctricos, además que debe de estar diseñado para resistir en fenómenos atmosféricos, incluyendo las posibles fallas.

En [19] se menciona que los ciudadanos están expuestos a la contaminación en las actividades diarias, lo cual puede resultar en una gran variedad de efectos en la salud. A su vez, presentan *Airsense*, un sistema de monitoreo de calidad de aire, que colecta y agrega datos a través de un sensor, con el fin de monitorear la contaminación del aire en la ciudad. También se introduce un dispositivo de bajo costo, ligero, bajo consumo de energía llamado *Air Quality Monitoring Device* (AQMD), para demostrar que un celular y el AQMD pueden funcionar en conjunto y compartir datos por medio de la nube (espacio de almacenamiento en internet).

La calidad del aire juega un papel muy importante, tal que, una evaluación de desempeño realizada en [20], considera modelos de calidad de aire así como herramientas para predecir la toxicidad de los gases y aerosoles que se encuentran en la atmósfera. Tal evaluación permite conocer la relación entre calidad y ambiente. Como resultado se plantea la evaluación estadística para crear conciencia no solo a la comunidad científica, si no al mundo entero. También, otro estudio en [21] busca relacionar los efectos ambientales con el área de salud, por lo que propone un marco de referencia (framework) para entender el impacto de la calidad del aire en la salud y en el que, después de analizar estos efectos, se discuten algunos retos para mejorar la salud de cada una de las personas que están directamente relacionadas con el estudio. Además, es interesante que no solo se involucra el sector salud sino a otros sectores, lo cual muestra la prioridad e importancia de la calidad del ambiente en la salud pública de las personas.

En la actualidad se busca estudiar la relación entre la calidad de aire y salud. En [22] se clasifican los riesgos en la salud en base a niveles de calidad del aire a través de un algoritmo de árbol de decisiones del cual se obtuvieron mejores resultados que el algoritmo de Bayes. Además, se define un índice de calidad ambiental como un valor numérico usado para medir-conocer el nivel de contaminación en el aire.

Una reciente investigación señala a la contaminación del aire como la causante de diversas enfermedades, por lo cual se plantea la necesidad de un sistema de monitoreo de calidad del aire para mejorar la calidad de vida del ser humano [23]. Así mismo se propone un método usando una red neuronal para clasificar en categorías basadas en concentraciones de partículas suspendidas en el aire.

## **1.2. Definición del problema**

Estadísticas del Plan Estratégico de Juárez 2018 [24] indican un incremento en el número vehicular que circulan por la calle y un aumento de la industria maquiladora. Así mismo, al recorrer la ciudad se puede observar un número de negocios informales (por ejemplo, negocios de hamburguesas, pollos al carbón, entre otros) ocasionando que ciertos contaminantes se incrementen en el ambiente. Estos contaminantes pueden estar directamente relacionados con la salud humana y en la mayoría de los casos la gente lo desconoce.

Estudios realizados por el CECATEV han encontrado que los contaminantes ambientales presentes en el ambiente de Ciudad Juárez que pueden afectar la salud de las personas son:

- Ozono ( $O_3$ )
- Monóxido de carbono (CO)
- Partículas suspendidas 2.5 ( $PM_{2.5}$ )

Actualmente Ciudad Juárez no cuenta con un índice de calidad del aire y tampoco una forma de que la gente esté enterada de los riesgos para su salud cuando la calidad del aire no es buena.

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Favorecer la prevención a la sociedad de los riesgos para la salud de la calidad de aire mediante la implementación de un Sistema de Índice de Calidad de Aire con Participación Comunitaria para Ciudad Juárez.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

De la misma manera, está propuesta tiene objetivos específicos que proponen una investigación y aplicación para obtener el resultado y producto de un proyecto.

1. Desarrollar un sistema web para utilizar el índice de calidad de aire, mediante la consulta y visualización de información para el usuario final (comunidad).
2. Desarrollar una interfaz para conectar el índice de calidad de aire con la plataforma de almacenamiento de datos para realizar la extracción y gestión de las variables de calidad de aire correspondientes.
3. Diseñar un método basado en metadatos para gestionar la información de las estaciones meteorológicas y de calidad de aire.
4. Diseñar el método para el índice de calidad de aire.

#### **1.4. Justificación**

La implementación de un sistema de índice de calidad de aire con participación comunitaria para Ciudad Juárez permitirá:

1. Sentar las bases para que Ciudad Juárez tenga los medios para calcular su Índice de Calidad Ambiental.
2. Empoderar a la población con información de calidad de aire que les permita tomar acciones para cuidar su salud. Por ejemplo, podrán decidir entre hacer ejercicio en un parque o resguardarse en su casa por la mala calidad del aire. También podrán exigir a las autoridades una mejor calidad del aire.
3. Ayudar a las personas a prevenir enfermedades respiratorias que se pueden agravar cuando existen enfermedades crónicas.
4. Interactuar con cualquier tipo de estación de monitoreo ambiental, incluyendo las estaciones de monitoreo del aire, fabricadas en el CECATEV de manera artesanales y de bajo costo, lo cual permite extender la cobertura del sistema de índice de calidad de aire.
5. Desarrollar tecnología propia para este tipo de aplicaciones, que permita al CECATEV-UACJ consolidarse como líder en monitoreo ambiental.
6. Exportar la tecnología a otras entidades con problemas similares.

La importancia que actualmente brinda el proyecto a desarrollar es que la Norma Oficial Mexicana *NOM-172-SEMARNAT-2019* es de observancia obligatoria para los gobiernos estatales o municipales responsables del monitoreo de la calidad del aire mediante el desarrollo de índices de calidad de aire a nivel nacional.

## **2. Marco referencial**

### **2.1. Marco conceptual**

A continuación, más que un glosario de términos, se describen conceptos básicos para facilitar la comprensión de la presente sección.

#### Climatología

Es la Ciencia que se encarga de estudiar, describir y analizar los fenómenos atmosféricos a largo plazo. Su principal objetivo es el proveer la identificación de un determinado lugar, describiendo la serie de eventos que lo pudieran afectar en la línea del tiempo.

#### Meteorología

Ciencia enfocada al estudio de la atmósfera, tomando en cuenta las propiedades y los fenómenos que en ella tienen lugar por lo que se basa en el conocimiento de una serie de variables.

#### Índice de calidad de aire

Relación ordenada entre ozono, monóxido de carbono y partículas suspendidas 2.5 donde se establece niveles significativos para la vida del ser humano.

#### Concentración

Valor recolectado de un sensor de una estación de calidad de aire.

#### Punto de corte

Valor permisible mínimo o máximo de un intervalo de concentración.

#### Intervalo de concentración

Puntos de corte mínimo de máximo para medir la concentración de una variable de calidad de aire.

#### Ecuación de transformación

Ecuación utilizada para transformar.

#### Intervalo de calidad de aire

Representación del resultado obtenido a partir del cálculo de una variable de calidad de aire, este se ve reflejado en distintos intervalos que se clasifican de acuerdo con los efectos que pueden ser asociados en la exposición prolongada a la mala calidad de aire.

#### Sistema de alerta temprana

Sistema para el escenario de prevención y aviso a las autoridades correspondientes.

Variable de calidad de aire

Variable que se obtiene a partir de los sensores que componen a una estación de calidad de aire.

Sensor

Dispositivo que capta de manera automática una variable.

Contaminación ambiental

Presencia de agentes de tipo físico, químico y biológico, que alteran el entorno ambiental, provocando efectos dañinos para la salud, el bienestar y el hábitat de la vida de los seres vivos en general.

Salud ambiental

Estado de bienestar físico y social que tiene una persona.

Script

Es un archivo que contiene una serie de comandos ordenados para ser ejecutados y resolver una determinada tarea.

## **2.2. Marco teórico**

En la siguiente sección se describirán temas relacionados en el dominio de la calidad de aire.

### **2.2.1. Normatividad NADF-009-AIRE-2006**

En 1982 se diseñó el conocido Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA), cuya metodología transforma a una escala adimensional las concentraciones de contaminantes criterio en el ambiente de la Ciudad de México. El IMECA está basado en el Índice Estándar de Contaminantes (*Pollutant Standard Index* o *PSI* por sus siglas en inglés) utilizado en Estados Unidos. Fue el primer intento por tener en México un indicador de calidad ambiental. Fue hasta 1986 que el IMECA comenzó a difundirse a la población a través de diversos medios. Hoy día en su difusión intervienen la radio, la prensa, la televisión y la Internet [25][26][27][28]. El IMECA es revisado periódicamente y actualizado cuando surgen cambios en las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) de salud ambiental.

#### **2.2.1.1 Propósito del IMECA**

El propósito fundamental del IMECA es informar a la población de manera oportuna y continua, sobre los niveles de contaminación atmosférica, los probables daños a la salud de las personas que ocasiona y las medidas de protección que se pueden tomar en la Ciudad de México [29][30]. La norma vigente considera que debe existir un proceso transparente en la obtención del IMECA y cálculos

numéricos que sean parte de un proceso metodológico; que la información que proporcione sea entendible para la población y que comunique los riesgos a la salud asociados a la exposición de contaminantes atmosféricos criterio [31].

#### **2.2.1.2. Uso de las concentraciones de los contaminantes atmosféricos criterio para obtener el IMECA**

Las concentraciones de los contaminantes criterio O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y CO se expresarán en partes por millón (ppm), mientras que las concentraciones de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> se expresarán en microgramos por metro cúbico (µg/m<sup>3</sup>) [31].

La información recolectada de los contaminantes en el ambiente de la Ciudad de México para calcular el IMECA, provienen de estaciones de monitoreo que cumplen rigurosamente los criterios de representación física y espacial y recomendaciones de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) para instalar estaciones de monitoreo y cumplir su función de vigilar la calidad del aire con fines de información pública [32].

#### **2.2.2. Normatividad NADF-009-AIRE-2017**

En la actualidad la contaminación atmosférica constituye un riesgo con un impacto mayor en la salud pública. Datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS) indican que cada año mueren más de siete millones de personas, lo cual equivale a una de cada ocho muertes en el mundo, como consecuencia de la exposición a la mala calidad del aire. Así mismo, en 2013, la Agencia Internacional para la Investigación en Cáncer (*IARC* por sus siglas en inglés) designó a la contaminación atmosférica como un agente cancerígeno en humanos [33] [34][35][36] [68].

Por lo anterior, se requieren mecanismos para informar a la población de manera adecuada y oportuna sobre los niveles de contaminación y su variación en el tiempo, con el fin de salvaguardar la salud pública. Se han implementaron metodologías que transforman las concentraciones de los contaminantes a una escala adimensional criterio, las cuales se basan en el *PSI* de Estados Unidos. El *PSI* fue propuesto por Ott y Thorn en 1975, modificado y adaptado por el Gobierno de EUA como un índice uniforme de la contaminación del aire. Este considera en sus estimaciones seis variables de contaminación del aire: CO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, partículas suspendidas totales (PST) y el producto SO<sub>2</sub> x PST. El *PSI* utiliza funciones lineales segmentadas para el cálculo de los subíndices y se reporta únicamente el subíndice máximo [37][12].

La norma ambiental NADF-009-AIRE-2017 de la ciudad de México, fue un esfuerzo por definir nuevos lineamientos para la generación, uso y difusión del Índice de Calidad del Aire IMECA, con el fin de consolidarla como una herramienta simple, veraz, transparente y oportuna que permita tomar acciones para cuidar la salud de las personas, mediante la diseminación de información de los riesgos asociados y recomendaciones preventivas.

En la Ciudad de México, la metodología para el cálculo del Índice de Calidad del Aire utiliza las Normas Oficiales Mexicanas en materia de salud ambiental vigentes, documentos de los cuales se deriva el valor límite permisible para la protección de la salud que equivale a los 100 puntos del Índice de cada contaminante [12] .

En 1986, se empezó a difundir oficialmente a la población el Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA) a través de los medios disponibles de la época. Actualmente, su difusión comprende radio, medios impresos, televisión, internet, redes sociales y aplicaciones para teléfonos móviles [12].

Asimismo, la difusión cotidiana del Índice de Calidad del Aire fomenta una cultura de prevención entre la población. También concientiza a las personas de manera objetiva sobre el problema que representa la contaminación ambiental y su impacto en la salud, lo cual contribuye a crear una conciencia ambiental y a fomentar la participación comunitaria en la solución del problema [12] .

Hoy en día esta norma también se puede ver como una guía para que otros estados del país puedan implementar sus índices de calidad ambiental.

### **2.2.2.1. Índice de calidad del aire**

La NADF-009-AIRE-2017 proporciona una descripción para el cálculo del Índice de Calidad del Aire con datos reportados por las Estaciones de Monitoreo continuo instaladas en la Ciudad de México.

La función para el cálculo del índice de calidad ambiental son las siguientes:

$$k = \frac{I_{sup} - I_{inf}}{PC_{sup} - PC_{inf}} \quad 2.1$$

Donde:

k=Constante de proporcionalidad, en ppm para O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y CO, mientras que para PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, en µg/m<sup>3</sup>.

$PC_{sup}$ =Concentración del punto de corte superior o igual a la concentración a evaluar, en ppm para  $O_3$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$  y  $CO$ , mientras que para  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ , en  $\mu g/m^3$ .

$PC_{inf}$ =Concentración del punto de corte inferior o igual a la concentración a evaluar, en ppm para  $O_3$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$  y  $CO$ , mientras que para  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ , en  $\mu g/m^3$ .

$I_{sup}$ =Índice de la  $PC_{sup}$ , adimensional.

$I_{inf}$ =Índice de la  $PC_{inf}$ , adimensional.

$$\text{Índice} = (k \times (C_{obs} - PC_{inf})) + I_{inf} \quad 2.2$$

Donde:

Índice= Índice de Calidad del Aire, adimensional.

$C_{obs}$ =Concentración observada del contaminante, en ppm para  $O_3$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$  y  $CO$ , y  $\mu g/m^3$  para  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ .

Una vez obtenidos los intervalos a considerar, se les asigna un color y cada color tiene asociado un mensaje informativo de manera entendible sobre el riesgo a la salud y recomendaciones que las personas pueden realizar para cuidar su salud.

#### **2.2.2.2. Comunicación de riesgos**

El índice de calidad de aire tiene asociado un color y una recomendación para el contaminante criterio de mayor magnitud (ver Tabla I). El manejo de colores sirve como un apoyo visual para que una persona pueda entender el estado de la calidad del aire de la zona donde reside o realiza sus actividades. Los términos de la calidad del aire asociadas a un color pueden ser: “buena”, “regular”, “mala”, “muy mala”, “extremadamente mala” y “peligrosa”. El uso de los calificativos “buena” o “regular” indica a la población que pueden realizar actividades cotidianas al aire libre con ciertas precauciones. Sin embargo, el uso de los calificativos “mala” o “muy mala” implican que la población debe estar atenta a la evolución del índice del contaminante atmosférico criterio de mayor magnitud en las horas siguientes, así como a los mensajes de prevención emitidos por las autoridades correspondientes, ya que su salud se encuentra en riesgo.

La difusión del Índice de Calidad del Aire por medio de un color y un calificativo deberá incorporar información sencilla de los riesgos a la salud humana, así como las acciones de prevención y protección que puede realizar la población.

**Tabla I.** Modelos de colores del Índice de Calidad del Aire.

Categoría	Intervalo	Riesgo a la salud	Recomendaciones
Buena	0 – 50	Existe poco o ningún riesgo para la salud.	Se puede realizar cualquier actividad al aire libre.
Regular	51 – 100	Los grupos susceptibles pueden presentar síntomas en la salud.	Las personas que son extremadamente susceptibles a la contaminación deben considerar limitar la exposición al aire libre.
Mala	101 -150	Los grupos susceptibles presentan efectos en la salud.	Los niños, adultos mayores, personas con enfermedades respiratorias y cardiovasculares, así como personas que realizan actividad física al aire libre deben limitar la exposición al aire libre.
Muy mala	151 -200	Todos pueden presentar efectos en la salud; quienes pertenecen a los grupos susceptibles experimentan efectos graves.	Los niños, adultos mayores, personas que realizan actividad física intensa o con enfermedades respiratorias y cardiovasculares, deben evitar la exposición al aire libre y el resto de la población debe limitar la exposición al aire libre.
Extremadamente mala	201 - 300	Toda la población tiene probabilidades de experimentar efectos graves en la salud.	Toda la población debe evitar la exposición al aire libre.
Peligrosa	301 - 500	Peligro.	Suspensión de actividades al aire libre.

Fuente: NADF-008-AMBT-2017 [38]

Cuando se trata de la población infantil, la difusión del Índice de Calidad del Aire debe incluir imágenes que los infantes puedan comprender y que reflejen el impacto en la salud que provoca la contaminación del aire.

La difusión del Índice de Calidad del Aire a la población debe ser ágil y oportuna, de tal forma que le permita tomar acciones precautorias para el cuidado de la salud. Para cumplir con lo anterior, se deben de utilizar medios de comunicación al alcance de la gente como teléfonos inteligentes, sitios web, redes sociales, entre otros. La información compartida debe adaptarse a las características (color, calificativo, mensaje de riesgo y recomendaciones) mencionadas anteriormente.

El Índice de Calidad del Aire (color, calificativo, mensajes de riesgo y recomendaciones) podrá reportarse con fines preventivos empleando herramientas de modelación y pronóstico, con la finalidad

de notificar de manera anticipada el estado de la calidad del aire o la posible presencia de una situación de riesgo o emergencia ambiental.

### **2.2.3. Estación Meteorológica**

Una estación meteorológica es una instalación donde se realizan de manera continua mediciones y observaciones puntuales de los diferentes parámetros meteorológicos utilizando los instrumentos adecuados para así poder establecer el comportamiento atmosférico [39].

Las estaciones meteorológicas miden, entre otras, las siguientes variables [40]:

- Temperatura exterior (que permite determinar la temperatura máxima y mínima)
- Temperatura de rocío
- Presión atmosférica
- Humedad relativa exterior
- Magnitud y dirección del viento
- Precipitación
- Tasa de precipitación
- Radiación solar
- Radiación ultravioleta (UV)

#### **2.2.3.1. Partes de estación meteorológica**

Una estación meteorológica comprende los siguientes elementos [41]:

1. Sensores: Medición de parámetros.
2. *Datalogger*: Muestra los sensores y almacena registros de datos procesados.
3. *Software*: Permite la comunicación y configuración remota con el *datalogger*.
4. Alimentación eléctrica: Puede ser mediante pilas alcalinas o baterías recargables.

#### **2.2.3.2. Clasificación de estaciones**

Las estaciones meteorológicas se pueden clasificar en:

##### Digital

Dispositivo electrónico que permite medir y registrar diversas variables meteorológicas.

##### Analógica

Estación meteorológica que se caracteriza por el hecho de que los instrumentos son analógicos, por lo que indican la medición por medio de esferas de agujas y escalas graduadas.

#### Profesional

Estación meteorológica digital cuya función es medir, registrar, monitorizar y analizar diversas variables meteorológicas con el objetivo de elaborar predicciones y realizar estudios climáticos.

#### Artesanal

Dispositivo de bajo costo cuya función es medir y registrar diversas variables meteorológicas con el objetivo de determinar las condiciones actuales y elaborar predicciones. Por su bajo costo, es posible instalar una cantidad considerable de dispositivos en una región densamente poblada con el objetivo de incrementar la cobertura del monitoreo.

### **2.2.4. Estación de calidad de aire**

Una estación de medición de la calidad del aire consiste en una caseta que contiene diversos equipos destinados a medir las concentraciones de uno o más contaminantes del aire y ciertos parámetros meteorológicos.[42]

Las estaciones de calidad de aire miden por lo regular las siguientes variables[42]:

- Monóxido de carbono
- Ozono
- Dióxido de azufre
- Monóxido de nitrógeno
- Dióxido de nitrógeno
- Partículas Suspendidas menores o iguales a 10  $\mu\text{m}$
- Partículas Suspendidas menores o iguales a 2.5  $\mu\text{m}$

#### **2.2.4.1. Clasificación de estaciones de calidad de aire por tipo de operación**

De acuerdo a [43] las estaciones se pueden clasificar por tipo de operación o movilidad como a continuación se describe:

**Estaciones manuales.** Normalmente, en estas estaciones, después de llevar a cabo el muestreo de los contaminantes, la muestra es trasladada a un laboratorio para su análisis. La toma y el manejo de muestra son etapas fundamentales en el sistema de medición de este tipo de estación, ya que de ella

depende la exactitud y la precisión de las mediciones, y para que la medición sea confiable se requiere que la muestra se transfiera inalterada al laboratorio.

**Estaciones automáticas.** Las estaciones automáticas, como su nombre lo indica, son aquellas que se encuentran integradas con por equipo de medición automático y continuo.

**Estaciones mixtas.** Uso combinado de muestreadores (de partículas) y analizadores automáticos (de gases). Por lo que hablar de una estación mixta es hablar de una integración de equipos manuales y automático.

**Estaciones Fijas.** Las estaciones se consideran fijas cuando los equipos de medición son colocados al interior de un inmueble de construcción permanente.

**Estaciones Móviles.** Las estaciones móviles son casi siempre motorizadas o remolcables y se emplean, por lo general, para campañas temporales y trabajos prospectivos o de investigación. Otras aplicaciones que tienen son: ser auxiliares en caso de una falla en alguna estación fija o cuando se presentan casos de emergencia atmosférica.

#### **2.2.5. Variables de calidad de aire**

A continuación, se mencionan algunas variables de calidad de aire con importancia para el proyecto.

##### **2.2.5.1. Partícula Atmosférica: definición y efectos de la contaminación ambiental**

En la actualidad, se pueden encontrar en el ambiente un gran número de contaminantes que tienen distintas repercusiones en el medioambiente y la salud humana. Entre estos se pueden mencionar a las partículas suspendidas, aeropartículas, material particulado y aerosoles, que pueden ser vistos como una mezcla de compuestos microscópicos o muy pequeños en forma de líquidos y sólidos suspendidos en el aire. Algunos ejemplos de estas partículas son el polvo, el humo e incluso las neblinas [44].

La exposición a los contaminantes atmosféricos como el material particulado, se asocia con diversos daños a la salud humana y la magnitud de los efectos depende de varios factores como las concentraciones en el aire, la dosis inhalada, la frecuencia y tiempo de exposición a los contaminantes, así como las características de la población expuesta [45]. Por tal motivo, el Estado mexicano, buscando prevenir problemas de salud pública por la exposición de las personas a dichos contaminantes, reconoce en el Artículo 4 constitucional, el derecho de toda persona a la protección de su salud, así como el derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. En este

sentido, la Ley General de Salud contiene los artículos 116 y 118, los cuales señalan que las autoridades sanitarias establecerán las normas, tomarán las medidas y realizarán actividades enfocadas a la protección de la salud humana ante los riesgos y daños dependientes de las condiciones del ambiente, para tal efecto, corresponde a esta Dependencia del Ejecutivo Federal (Secretaría de Salud), determinar los valores de concentración máxima permisible de contaminantes en el ambiente, al que un ser humano puede estar expuesto.

Las normas oficiales mexicanas actúan como un instrumento regulatorio que contribuye al establecimiento de límites máximos permisibles de contaminantes en el aire ambiente, a fin de garantizar el cuidado de la salud de la población. Las concentraciones que hoy se observan en numerosas ciudades del país, particularmente en aquellas ciudades con actividad industrial, implican riesgos para la salud, debido a que se encuentran por encima de los niveles establecidos por las normativas nacional e internacional aplicables.

El material particulado es una mezcla compleja de sustancias en estado líquido o sólido, que permanece suspendida en la atmósfera por periodos variables de tiempo. Por su origen, estas partículas pueden definirse como primarias o secundarias. Las primarias son aquellas producidas por alguna fuente contaminante y las secundarias son formadas en la atmosfera por la interacción química entre gases y partículas primarias [46].

El origen de las partículas puede ser de origen natural y antropogénico. Considerando el diámetro, éstas pueden clasificarse en  $PM_{10}$  (menor o igual a 10 micras),  $PM_{2.5}$  (menor o igual a 2.5 micras) y  $PM_{0.1}$  (menor o igual a 0.1 micras). El tamaño es un parámetro importante para caracterizar su comportamiento en la atmósfera y, por ende, la concentración a la que puede estar expuesta la población; también determina la capacidad de penetración y retención en diversas regiones de las vías respiratorias.

Estudios realizados en [48] y [49] muestran que las partículas de tipo  $PM_{10}$ , al entrar en contacto con un individuo, se alojan en la región extratorácica del tracto respiratorio (nariz, boca, naso, oro y laringofaringe). Estas partículas están compuestas de materiales de la corteza terrestre y tienen su origen en procesos de desintegración de partículas más grandes. Entre sus componentes, también pueden estar presentes material biológico como polen, esporas, virus o bacterias o provenir de la combustión incompleta de combustibles fósiles [47]. Las  $PM_{2.5}$  están formadas primordialmente por gases y por material liberado al ambiente durante la combustión. Estas se alojan principalmente en la región traqueobronquial (tráquea hasta bronquiolo terminal), aunque también pueden ingresar a los alvéolos. Las partículas ultrafinas ( $PM_{0.1}$ ) son generadas directamente por combustión y

actividad fotoquímica. Se alojan principalmente en la región alveolar, incrementando la posibilidad de atravesar la membrana alvéolo capilar hacia el flujo sanguíneo y transitar hacia otros órganos [48][49].

En términos generales, las partículas están formadas por un núcleo de carbono y por compuestos orgánicos e inorgánicos, adheridos a su superficie.

Estudios realizados en [50] sugieren que compuestos altamente tóxicos y carcinogénicos como el carbono elemental, compuestos orgánicos (especialmente los hidrocarburos aromáticos policíclicos), sulfatos, nitratos y determinados metales (arsénico, cadmio, fierro, zinc y níquel), producen el mayor impacto en la salud de las personas por partículas.

#### **2.2.5.2. Ozono: definición y efectos de la contaminación ambiental**

El ozono es una molécula con tres átomos de oxígeno que se forma directamente por la acción de la luz solar sobre el bióxido de nitrógeno. El ozono es el oxidante fotoquímico más importante en la capa de la atmósfera terrestre que está en contacto con la superficie de la tierra, también conocida como troposfera. Está formado por reacciones fotoquímicas en presencia de contaminantes precursores como NO<sub>x</sub> y compuestos orgánicos volátiles [42][51].

En la actualidad, problemas relacionados con el deterioro de la calidad del aire, debido principalmente al incremento del desarrollo industrial y el flujo vehicular, se han convertido en una prioridad para las autoridades de las grandes ciudades [52]. Esto se ha observado tanto a nivel mundial como en países de América Latina. En México, la presencia de múltiples contaminantes (partículas, dióxido de nitrógeno, ozono, etcétera) han estado afectando la calidad del aire, lo que representa un problema de salud pública que afecta la calidad de vida de las personas. Conforme avanza el desarrollo industrial, cada vez son más las personas afectadas por la exposición a concentraciones ambientales de contaminantes atmosféricos de alto riesgo, lo cual puede ocasionar daños irreversibles en su salud y afectar su calidad de vida [53].

La contaminación atmosférica se presenta cuando existe un desequilibrio en las concentraciones de los componentes del aire y la presencia cada vez mayor de contaminantes primarios y secundarios descritos anteriormente. El ozono se considera un contaminante secundario que se forma por una reacción fotoquímica entre emisiones primarias de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), compuestos orgánicos volátiles (COVs) o hidrocarburos (HCs) en presencia de la radiación solar, y está asociado a las condiciones geográficas, climatológicas y meteorológicas imperantes del medio ambiente. El tiempo

de vida del ozono en el ambiente es relativamente corto, registrándose las concentraciones más altas durante las horas del día en que se registra la mayor temperatura [54].

La exposición a los contaminantes atmosféricos como el ozono, puede ocasionar diferentes daños a la salud humana y la magnitud de los efectos depende de las concentraciones que se encuentran en el aire, de la dosis que se inhala, del tiempo y la frecuencia de exposición, así como de las características de la población expuesta [11].

La exposición al ozono puede causar una variedad de reacciones adversas agudas y crónicas. Como el ozono, es un gas potencialmente irritante y altamente oxidante, debido al aumento de radicales libres y la peroxidación lipídica, el daño causado por la exposición afecta principalmente a la mucosa a través del proceso de oxidación, sin embargo en ocasiones el daño puede ser mayor, pudiendo afectar a otros órganos o sistemas [11][55].

### **2.2.5.3. CO: definición y efectos de la contaminación ambiental**

El monóxido de carbono (CO), es un gas inodoro e incoloro que se produce por la combustión incompleta de compuestos de carbono, pueden verterlo al aire principalmente los vehículos automotores y la industria en menor escala. En la naturaleza, el CO puede ser emitido por los incendios forestales o la emisión de los procesos naturales que se llevan a cabo en los océanos.

El daño principal al cuerpo humano de este contaminante lo constituye su facilidad para combinarse con la hemoglobina dando lugar a una elevada formación de carboxihemoglobina y como consecuencia, disminuye la cantidad de oxihemoglobina y por ende la entrega de oxígeno a los tejidos [56].

Las consecuencias de la exposición al CO varían desde pequeñas cantidades en individuos que padecen deficiencias circulatorias (siendo los más afectados aquellos enfermos que padecen angina de pecho, así como aquellos con arterioesclerosis), hasta una intoxicación aguda por la inhalación de grandes cantidades del contaminante en espacios cerrados y/o en un lapso corto.

Por lo regular, cuando un individuo está expuesto al monóxido de carbono no lo percibe, debido a sus características de ser inodoro e incoloro y tampoco causa algún tipo de dolor o irritación en las mucosas [57]. Durante la exposición, la absorción y su excreción del monóxido de carbono dependen de la diferencia de la presión parcial del gas en la sangre y en el aire alveolar. Este compuesto compite con el oxígeno por los sitios de unión de las hemoproteínas acarreadoras de oxígeno y forma un

compuesto estable, la carboxihemoglobina (COHb), que desplaza al oxígeno, y de esta forma va disminuyendo la presión parcial de oxígeno en la sangre y ocasiona hipoxia tisular.

Estudios realizados en [51] y [56] indican que la relación entre el monóxido de carbono en el aire y las concentraciones de carboxihemoglobina en la sangre dependen principalmente de dos factores: la duración de la exposición y de la función cardiorrespiratoria del individuo. De acuerdo con la norma de calidad del aire de los Estados Unidos de Norteamérica, la concentración de carboxihemoglobina permisible en una persona expuesta a una concentración de 10mg por m<sup>3</sup> (9 ppm) de monóxido de carbono durante 8 horas o de 40 mg por m<sup>3</sup> (35 ppm) durante una hora está en un rango de 1.2 a 1.5%, pero en fumadores de 20 o más cigarrillos, por día puede alcanzar un valor de 4 a 7% [51][56].

Aunque existen estudios[58] que han observado que concentraciones de carboxihemoglobina en un rango de 3.2 a 4.2% están asociadas a un deterioro de la capacidad de razonar del individuo, en concentraciones de 5% o más se observan los verdaderos efectos nocivos para la salud. Entre los principales efectos de la exposición al monóxido de carbono están: alteraciones de la percepción y de las funciones cerebrales, disminución de los reflejos osteomusculares mareo, inconsciencia y muerte [58]. Las personas con insuficiencia cardiaca son particularmente vulnerables a este contaminante porque a diferencia de un individuo sano, no pueden compensar la falta de oxígeno con un aumento del flujo sanguíneo en el organismo. Esto ocasiona que la inhalación de monóxido de carbono pueda ocasionar desde una disminución de la capacidad para hacer ejercicio y dolores musculares, hasta manifestaciones clínicas de angina de pecho [59].

#### **2.2.6. NOM-172-SEMARNAT-2019**

Establece los lineamientos para la obtención y comunicación del Índice de Calidad del Aire y Riesgos a la Salud (Índice AIRE Y SALUD) para los gobiernos estatales o municipales responsables del monitoreo de la calidad del aire [60] [68].

Este nuevo índice estandariza el método para la obtención y difusión de los niveles de contaminación en todo México, al ser de observación obligatoria, promueve el monitoreo de la calidad del aire en todas las ciudades y zonas metropolitanas del país, así como el desarrollo de programas locales para la comunicación y prevención de riesgos en salud. Lo anterior se debe a que el problema de la contaminación ambiental comienza a generalizarse en todos los estados del país y no solo es un problema de la Ciudad de México. Con esto, también se busca que los estados tengan una guía para implementar sus propios índices de calidad ambiental.

La Tabla II muestra las diferencias entre el Índice AIRE y SALUD, y el NADF-009-AIRE-2017.

**Tabla II.** Diferencia entre el Índice NOM-172-SEMARNAT-2019 y el NADF-009-AIRE-2017.

<b>Índice AIRE Y SALUD</b>	<b>NADF-009-AIRE-2017</b>
Categorías para asignar cada intervalo de concentración	Algoritmo cuyo cálculo asigna las concentraciones con un valor del índice (escala de 0 a 500 puntos)
Uso de promedio ponderado de 12 horas para PM10 y PM2.5	Uso del promedio móvil de 24 horas relacionado con el indicador normado
Aplicación a nivel nacional	Aplicación en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM).
Valores más estrictos para algunos contaminantes (O3, SO2) y categorías relacionados con las guías de la Organización Mundial de la Salud (OMS) así como con los valores límites de las Normas Oficiales Mexicanas (NOM)	Valores relacionados con el indicador de corto plazo y largo plazo de las NOM y definiendo puntos de quiebre con base en lo establecido por la US- EPA en el CFR 40, parte 51.151.
Uso de cinco colores para designar las categorías	Uso de seis colores para designar las categorías, unificados con los que utiliza la US-EPA
Es el primer índice a nivel nacional	Este índice y sus actualizaciones, se reporta desde hace más de 30 años, en la ZMCM
Por el momento no está vinculado a la implementación de programas de prevención de riesgos y control de emisiones en eventos de alta concentración.	Los valores se usan de referencia para la instrumentación del Programa para Prevenir y Responder a Contingencias Ambientales Atmosféricas (PPRECAA) en la CDMX.

Fuente: INDICE AIRE Y SALUD [60]

## 2.3. Marco tecnológico

En esta sección se describe el marco tecnológico relacionado con el proyecto.

### 2.3.1. Servicio Web (Web Service)

Un servicio web se define como una aplicación software identificada por un URL cuyas interfaces se pueden definir, describir y descubrir mediante documentos *XML* [61]. Normalmente se refiere a una colección de procedimientos (métodos) a los que se puede llamar desde cualquier lugar de internet

o intranet, siendo este mecanismo de invocación totalmente independiente de la plataforma que se utilice y del lenguaje de programación en el que se haya implementado internamente el servicio.

#### **2.3.1.1. Tipos de Servicio Web**

Los servicios web pueden ser clasificados como a continuación se presentan:

##### Servicios Web SOAP

Los servicios web SOAP, o servicios *web big*, utilizan mensajes XML para intercomunicarse que siguen el estándar SOAP (*Simple Object Access Protocol*), un lenguaje XML que define la arquitectura y formato de los mensajes [62].

##### Servicios Web REST

Los servicios web REST (*Representational State Transfer Web Services*) son adecuados para escenarios de integración básicos ad-hoc. Dichos servicios Web se suelen integrar mejor con HTTP que los servicios basado en SOAP, ya que no requieren mensajes XML o definiciones del servicio en forma de fichero [63].

#### **2.3.2. XML (eXtensible Markup Language)**

*XML* se traduce como Lenguaje de Marcas Extensibles, aunque realmente es un meta-lenguaje de definición de documentos, originalmente diseñado para enfrentar los desafíos del almacenamiento e intercambio de datos entre aplicaciones web de forma segura [64]. Los archivos XML utilizan etiquetas para identificar información que se quiere procesar y a su vez estas etiquetas pueden estar anidadas dentro de otras etiquetas. La flexibilidad de XML lo ha hecho popular en el ámbito de las aplicaciones web y bases de datos [65].

#### **2.3.3. PHP**

Es un lenguaje de programación de propósito general, popular en el ámbito de las aplicaciones web. Los programas pueden ser en forma de scripts, programación estructurada o programación orientada a objetos. Tiene la característica de que los programas se ejecutan del lado del servidor que hospeda la aplicación. Código en PHP puede ser embebido en un archivo HTML para generar páginas web dinámicas (aquellas cuyo contenido varía con el tiempo). PHP permite gestionar formularios para recabar información y posteriormente almacenar la información recolectada en prácticamente cualquier base de datos [66].

#### **2.3.4. JavaScript**

JavaScript al igual que PHP, es un lenguaje de programación que permite crear aplicaciones web, pero a diferencia de PHP, el código de JavaScript se ejecuta en la computadora del cliente. Los navegadores de internet actuales permiten interpretar el código de JavaScript que se encuentra integrado a una página web [67]. JavaScript permite incorporar elementos dinámicos e interactivos a una página web. También el manejo de diversas animaciones, ventanas y efectos sobre el texto que aparece en la página web.

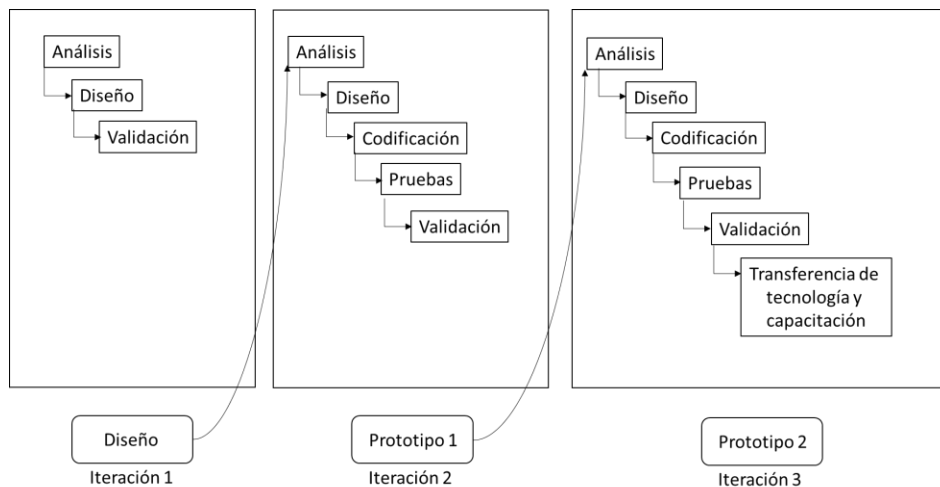
#### **2.3.5. WeeWX**

WeeWX es un programa de software de código abierto, escrito en Python, que permite interactuar con una estación meteorológica. El software es capaz de producir reportes, gráficos y páginas HTML. También permite producir y enviar datos de la estación a bases de datos remotas vía ftp, sftp y rsync. Una de las ventajas de este software es que puede ser utilizado en diversos tipos de estaciones climáticas. Es ampliamente utilizado, por lo que existe suficiente documentación y soporte [69].

### 3. Metodología de Desarrollo

Por la complejidad del proyecto se utilizó la metodología de modelo iterativo basado en prototipos, ya que el cliente, en este caso el CECATEV, tenía bien claro los objetivos generales del proyecto, pero no estaban claros los requisitos de entrada, procesamiento y salida. Es importante mencionar que, por la complejidad del proyecto, fue necesario dividirlo en los siguientes procesos: adquisición de datos, tratamiento de datos y determinación de la calidad del aire.

En el presente capítulo se presenta la metodología utilizada para su realización. Así mismo, se describe el análisis y elaboración del núcleo central del mismo, en donde se explica a detalle los elementos considerados y las decisiones que se tomaron para el cálculo del índice de calidad de aire. De manera general, la Figura 1 muestra la metodología utilizada, una primera iteración permitió entender de una mejor manera el proyecto en general, las etapas que lo componían, seleccionar las herramientas necesarias para la construcción de la solución y obtener un diseño inicial de la solución. Una segunda iteración permitió obtener un primer prototipo que contenía la integración de las etapas del proceso de tratamiento de datos. Una tercera iteración y un segundo prototipo fue necesario para integrar los diferentes procesos que componen el proyecto. A continuación, se describe a detalle la metodología de prototipos aplicada al desarrollo del proyecto.



**Figura 1.** Metodología de modelo iterativo basado en prototipos utilizada en el proyecto.

#### 3.1. Iteración I.

##### 3.1.1. Objetivo.

Obtener las bases conceptuales, selección de herramientas y un diseño inicial para la determinación del índice de calidad de aire.

### **3.1.2. Análisis.**

#### **3.1.2.1. Índice de calidad de aire**

El primer paso para el desarrollo del proyecto fueron las reuniones con los expertos (CECATEV) y asesores, en donde se dialogaron los requisitos y necesidades que se deberían de cumplir, así como las decisiones tomadas. También se dialogó sobre los posibles principios del índice que incluirían un indicativo de color para distinguir la calidad de aire, su cálculo y calificativos respectivos a cada color.

Los requisitos funcionales identificados fueron los siguientes:

- El sistema deberá de ser capaz de considerar gases criterio presentes en el núcleo urbano.
- El sistema deberá de ser capaz de mostrar un índice de calidad de aire relacionado con una paleta de colores.
- El sistema deberá de ser capaz de calcular un índice de calidad de aire a partir de los gases criterio establecidos.
- El sistema deberá de ser capaz de considerar la vigencia del índice de calidad de aire.
- El sistema deberá ser capaz de obtener los valores de los gases criterio de la estación de calidad de aire.

Existieron dos puntos importantes que se debieron destacar en la creación de este: la identificación de variables consideradas y las ecuaciones de transformación asignadas a cada una de las anteriores para obtener un resultado.

El primero fue que debe de generarse a partir de tres variables: ozono, monóxido de carbono y partículas 2.5. Dichas variables, están presentes en el ambiente de Ciudad Juárez y las estaciones meteorológicas del CECATEV pueden censar la presencia de estas variables. El segundo punto importante, que definió el cálculo del índice de calidad de aire, fue el hecho de establecer criterios en forma de ecuaciones de referencia para cada variable, tal que, dependiendo del valor censado, las ecuaciones de referencia calculan y ubican el nivel de contaminación ambiental y su relación con la salud de las personas. Los criterios establecidos permitieron definir colores para que las personas tengan una referencia visual de la calidad del aire.

#### **3.1.2.2. Selección de herramientas.**

Se estableció el lenguaje PHP y JavaScript para desarrollar la aplicación web. La Tabla III muestra las diferencias entre estos dos lenguajes, así como también la manera en cómo se complementan.

**Tabla III.** Diferencias entre JavaScript y PHP.

JavaScript	PHP
Lenguaje de programación de alto nivel que permite incluir múltiples características a las páginas web. Sus programas se ejecutan del lado del cliente.	Lenguaje de programación web popular y su principal característica es que los programas se ejecutan del lado del servidor.
Se utiliza para el desarrollo de interfaces con el usuario (front-end) y es extremadamente versátil.	Se utiliza para el desarrollo de los procesos que se conectan a la base de datos y su manipulación (back-end) dentro de la aplicación.
Es un lenguaje de un solo subproceso que está controlado por eventos, lo que significa que nunca se bloquea y todo se ejecuta simultáneamente.	Es un multiproceso, lo que significa que bloquea la E/S para llevar a cabo múltiples tareas simultáneamente.
El código se puede ver incluso después de que se interprete la salida.	El código solo se puede ver después de que el servidor lo interprete.
Se puede combinar con HTML, AJAX Y XML.	Se puede incrustar sólo con HTML.
Se utiliza para crear interfaces web dinámicas junto con HTML y CSS.	Hace todo tipo de cosas como crear contenido web personalizado, autenticar a los usuarios, manejar formularios, etc.

*Fuente: Elaboración propia.*

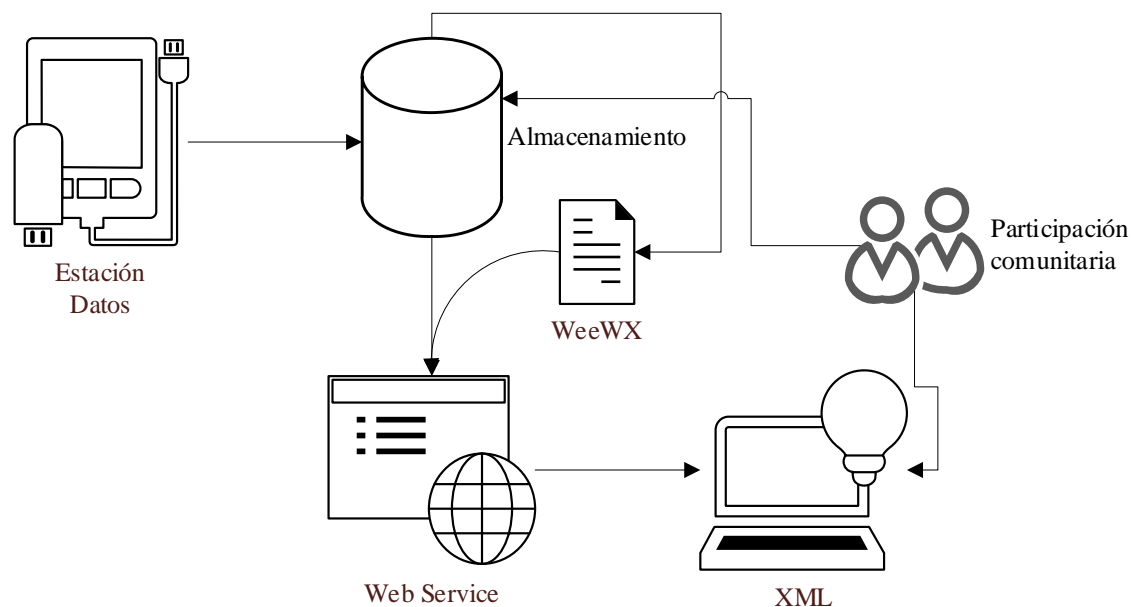
En general, las diferencias son el complemento de un lenguaje a otro respecto a las necesidades del proyecto pues la combinación de eventos brinda la dinámica necesaria para el desarrollo, definiendo desde el *back-end* la codificación necesaria hasta el *front-end* mostrando al usuario lo necesario para la visualización del índice de calidad de aire vigente.

### 3.1.3. Diseño

Uno de los retos del proyecto en general fue conocer como generan los datos las estaciones de calidad de aire. Por las características de las estaciones, la cantidad de datos enviados debían ser recolectados en

el menor tiempo posible. Se diseñó una estructura flexible que consideró un archivo XML que permitiera identificar las fuentes y valores de los datos. Este XML se integraría a un servicio web (WeeWx) instalado en cada estación y el cual es el encargado censar y enviar los datos crudos a un servidor web localizado en las instalaciones de la UACJ. Por cada estación meteorológica y de calidad de aire se tiene asignado un archivo XML.

Los XML contienen los valores reales de los instrumentos de la estación de calidad de aire y meteorológica respectivamente. Cada uno de los valores que se muestran en el archivo XML se recolectan cada cinco minutos, los cuales son actualizados y almacenados en la base de datos y como resultado, retorna el valor del instrumento. La Figura 2 representa la manera en cómo se obtiene tanto el servicio web como el XML.



**Figura 2.** Obtención de un XML.

Los contenidos de los XML son una extracción de la base de datos provenientes de las estaciones meteorológicas y de calidad de aire, para obtener los valores necesarios y requeridos para la creación de un índice de calidad de aire.

La modelación conceptual permitió representar el conocimiento del dominio de problema, para orientar el desarrollo del sistema como tal. La importancia de crear un modelo conceptual fue llevar de lo general o específico un dominio, es decir, poder llevar a la realidad y hacer ajustes para llegar a

la solución óptima y obtener los mejores resultados a partir del análisis para crear un índice de calidad de aire. La Figura 3 representa el modelo conceptual del proyecto en general.

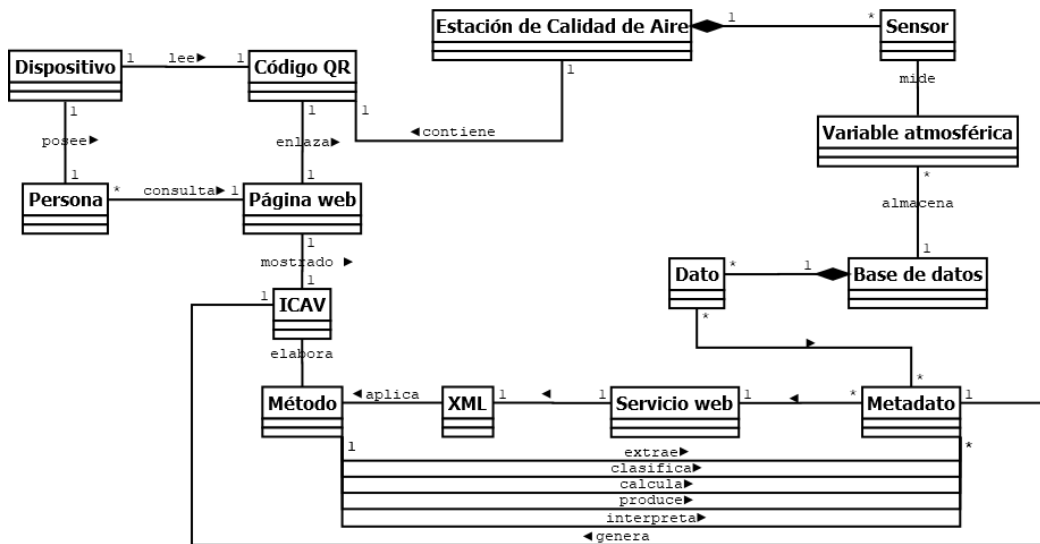


Figura 3. Modelo conceptual para obtener un índice de calidad de aire.

### 3.1.4. Validación del Cliente.

Los expertos que plantearon el problema definieron los requisitos principales para la realización del proyecto, explicando a detalle el funcionamiento de las estaciones meteorológicas y de calidad de aire, mostrando una completa disposición para apoyar en el desarrollo y resolver dudas acerca del conocimiento que se estaba por aprender. Además, contando con la disponibilidad de compartir información y posibles soluciones para la realización de este proyecto.

Así mismo el XML (ver Anexo I) creado reflejaba los valores recolectados por la estación de calidad de aire, lo cual se validó por medio del registro de la base de datos del CECATEV.

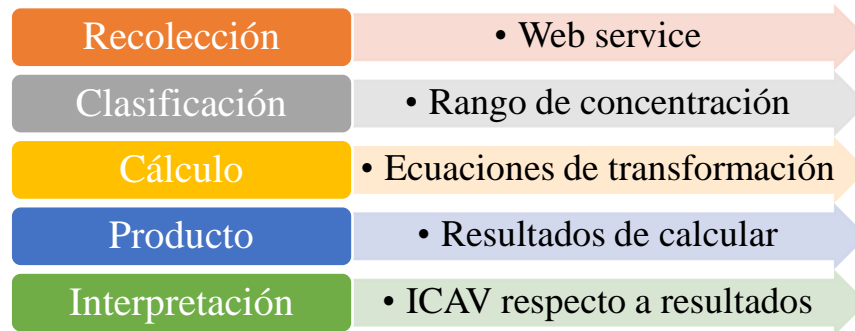
## 3.2. Iteración II.

### 3.2.1. Objetivo.

Crear un prototipo que integre las etapas del proceso de la determinación de calidad de aire.

### 3.2.2. Análisis

Una vez que la estación de calidad de aire comenzó a monitorear los contaminantes ambientales, los datos generados se integraron en el XML. El siguiente paso fue establecer un método para determinar el índice de calidad de aire vigente, desde la recolección de los datos hasta su interpretación, la cual se encuentra en la Figura 4.



**Figura 4.** Etapas para obtener un índice de calidad.

El método puede ser visto como una guía de lo que ocurre desde la recolección de los datos hasta visualizar la transformación a un valor numérico significativo para su interpretación.

### 3.2.2.1. Etapas para un índice de calidad de aire

Las etapas establecidas se describen a continuación.

#### Recolección

Como primera etapa, la recolección de datos se realizó a través de un *servicio web* a partir de los datos obtenidos de la estación climática por WeeWx, que contiene el archivo XML donde se almacenan los valores de la instrumentación de la estación de calidad de aire de los contaminantes atmosféricos. El archivo se actualiza cada 5 minutos. Sin embargo, solo se seleccionaron los valores correspondientes a O<sub>3</sub>, CO y PM<sub>2.5</sub>, y los sobrantes fueron considerados como no necesarios para el índice de calidad de aire, pero disponibles para algún estudio futuro.

#### Clasificación

La clasificación estableció el intervalo del Índice de Calidad de Aire a partir de una paleta de colores que se utiliza en el programa de calidad del aire de la Ciudad de México y descrito en la norma NADF-009-AIRE-2017, el cual se identifica por medio de un color asignado al intervalo de cada variable (ver Tabla IV). El color depende de la calidad del aire resultante del intervalo de calidad y que cada uno de ellos conlleva una recomendación.

**Tabla IV.** Indicador de calidad.

Color asignado	Intervalo de Calidad
	0 - 50
	51 - 100
	101 - 150
	151 - 200
	201 - 300
	300 - 500

Fuente: NADF-008-AMBT-2017 [38]

También en la clasificación se incluyó a los puntos de corte de las tres variables (CO, O<sub>3</sub> y PM<sub>2.5</sub>) que se utilizarán. Fueron asignados a un color donde el valor de lectura debió de residir en alguno de ellos. Cada intervalo, depende de la concentración, definiendo diferentes puntos de corte para cada una, independiente una de otra. Además, no se contempló unificar los intervalos ya que se encuentran disponibles de acuerdo con la unidad en la que son medidos, es decir, el intervalo CO en partes por millón (PPM), el intervalo O<sub>3</sub> en partes por billón (PPB) y el intervalo PM<sub>2.5</sub> en microgramos entre metro cubico (µg/m<sup>3</sup>).

El intervalo de concentración (C) en la Tabla V representa el valor en la escala correspondiente a cada variable y servirá para realizar la ecuación donde dará como resultado un número dentro del rango de color.

**Tabla V.** Intervalos de concentración por contaminante.

	CR CO (C) PPM	CR O <sub>3</sub> (C) PPB	CR PM <sub>2.5</sub> (C) µg/m <sup>3</sup>
0-50	0.00 - 5.50	0 - 55	0.00 - 15.40
51-100	5.51 - 11.00	56 - 110	15.50 - 40.40
101-150	11.01 - 16.50	111 - 165	40.50 - 65.40
151-200	16.52 - 22.00	166 - 220	65.50 - 150.40
> 201	> 22.00	> 220	> 150.40

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo

El cálculo del índice de calidad ambiental se basó en el proceso de la clasificación de la calidad del aire, ya que depende del intervalo que le corresponderá al valor leído.

Se utilizaron las funciones de calidad del aire como base para determinar un valor significativo de algún color de acuerdo con lo establecido anteriormente, permitiendo establecer relación a un color. Dichas ecuaciones tienen relación con el intervalo de concentración y de índice de calidad de aire. Lo anterior se refiere a que la ecuación es igual a la concentración de la variable, donde se involucra los intervalos, tomando en cuenta los puntos de corte para tomar esos valores y reemplazarlos dependiendo el caso de cada uno de ellos (ver Tabla VI). Se puede considerar aplicar más de tres variables relacionadas con la calidad del aire, o en su caso aumentar si fuese necesario.

**Tabla VI.** Ecuaciones para el CA por contaminante.

	TE CO	TE O <sub>3</sub>	TE PM <sub>2.5</sub>
0-50	$C * 50/5.5$	$C * 50/55$	$C * 50/15.4$
51-100	$C * 50/5.5$	$C * 50/55$	$20.50+C*49/24.9$
101-150	$C * 50/5.5$	$C * 50/55$	$21.30+C*49/24.9$
151-200	$C * 50/5.5$	$C * 50/55$	$113.20+C*49/84.9$
> 201	$C * 200/22$	$C * 200/222$	$C * 201/150.5$

*Fuente: Elaboración propia.*

Cálculo de la Concentración Actual (CA) de cada contaminante atmosférico.

El cálculo de la concentración actual (CA) de cada contaminante atmosférico se calcula de la siguiente forma:

Cálculo de la CA del Ozono ( $O_3$ ).

La siguiente función determina la concentración actual del ozono en un tiempo  $t$ :

$$CA(O_3) = C^t * 50/55 \quad 3.1$$

Donde:

$C^t$  es el promedio de las muestras de ozono recolectadas por el sensor en el último periodo de tiempo  $t$  (ej., la última hora) y es calculado por:

$$C^t = \sum_{k=1}^n \frac{O_k}{n} \quad 3.2$$

Después  $C^t$  es multiplicada por 50 que corresponde al intervalo entre cada uno de los rangos para determinar la calidad de aire y dividido entre 55 que corresponde a la diferencia entre un punto de corte y otro.

Cálculo de la CA del Monóxido de Carbono (CO).

La siguiente función determina la concentración actual del monóxido de carbono en un tiempo  $t$ :

$$CA(CO) = C^t * 50/5.5 \quad 3.3$$

Donde:

$C^t$  es el promedio de las muestras de monóxido de carbono recolectadas por el sensor en el último periodo de tiempo  $t$  (ej., la última hora) y es calculado por:

$$C^t = \sum_{k=1}^n \frac{CO_k}{n} \quad 3.4$$

Después  $C^t$  es multiplicada por 50 que corresponde al intervalo entre cada uno de los rangos para determinar la calidad de aire y dividido entre 5.5 que corresponde a la diferencia entre un punto de corte y otro.

Cálculo de la CA de las Partículas Suspendidas  $PM_{2.5}$ .

Las siguientes funciones permiten determinar y ubicar la concentración actual de las partículas suspendidas ( $PM_{2.5}$ ) en un tiempo  $t$ :

$$CA(PM_{2.5}) = C^t * 50/15.4 \quad 3.5$$

$$CA(PM_{2.5}) = 20.50 + C^t * 49/24.9 \quad 3.6$$

$$CA(PM_{2.5}) = 21.30 + C^t * 49/24.9 \quad 3.7$$

$$CA(PM_{2.5}) = 113.20 + C^t * 49/84.9 \quad 3.8$$

$$CA(PM_{2.5}) = C^t * 201/150.5 \quad 3.9$$

Donde:

$C^t$  es el promedio de las muestras de partículas suspendidas de menos de 2.5 micras de diámetro recolectadas por el sensor en el último periodo de tiempo  $t$  (ej., la última hora) y es calculado por:

$$C^t = \sum_{k=1}^n \frac{PM_{2.5k}}{n} \quad 3.10$$

Después  $C^t$  es multiplicada por el valor correspondiente al intervalo entre cada uno de los rangos para determinar la calidad de aire.

### Producto

El producto es el resultado de la relación entre el intervalo de calidad con el resultado del cálculo del CA. Primero, el valor que se obtiene del proceso anterior debe de asignarse a un color que indica la calidad de aire.

Por ejemplo, el proceso de recolección tiene un valor de 0.32 PPM en el campo de monóxido de carbono, un valor de 14.90 PPB en el campo de ozono y un valor de  $10.731451 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en el campo de partículas suspendidas. Aplicando los intervalos de punto de corte de acuerdo con las concentraciones anteriores en la Tabla VII, obteniendo el intervalo de calidad en la Tabla VIII.

**Tabla VII.** Ejemplo de cálculo.

	C	Intervalo	Ecuación
CO	0.19	0.00 - 5.50	$I = C * 50/5.5$
O <sub>3</sub>	43.97	0 - 55	$I = C * 50/55$
PM <sub>2.5</sub>	110.86	65.50 - 150.40	$I = 113.20 + C * 49/84.9$

Fuente: Elaboración propia

**Tabla VIII.** Resultado de ejemplo de cálculo.

	C	I
CO	0.19	1.72
O <sub>3</sub>	43.97	39.97
PM <sub>2.5</sub>	110.86	177.18

Fuente: Elaboración propia.

El producto que resultó de aplicar primero el proceso de clasificación y después el proceso de cálculo, brinda de manera individual el intervalo, independiente uno de otro.

### Interpretación

La interpretación es la etapa final, lo que involucra a lo anterior, siendo relacionado el producto con el intervalo de calidad. También está presente en el momento de seleccionar cual variable es la que tiene mayor peso en relación con el intervalo de calidad. Lo anterior fue definido a solicitud de expertos, al no ponderar con aritmética cualquier valor que se obtuviera, pues significaría dejar abierta la posibilidad al error. Es decir, no promediar los valores resultantes del proceso anterior, si no seleccionar el que sea de un valor más alto.

Determinación del Índice de Calidad del Aire Vigente (ICAV).

Una vez que se han calculado las concentraciones actuales de cada contaminante atmosférico, la determinación del índice de calidad del aire vigente se realiza por medio de la siguiente ecuación:

$$ICAV = \max (CA(Ozono), CA(CO), CA(PM_{2.5})) \quad 3.11$$

Donde:

$CA(Ozono)$ ,  $CA(CO)$  y  $CA(PM_{2.5})$  son el cálculo de las concentraciones de los contaminantes en un rango de tiempo.

*Max* es una función que determina el valor máximo de las tres concentraciones disponibles.

Lo cual indica que el índice de calidad del aire actual va a estar definido por el valor máximo de las concentraciones actuales de los contaminantes ambientales. Por lo que una vez seleccionado, será el que refleje la calidad de aire actual, siendo calculado en un periodo de tiempo  $t$  (ej., cada hora,  $t = 60$  minutos). El periodo de tiempo tiene la ventaja de mostrar una ventana de lapso intermitente.

La ventaja al utilizar la ecuación anterior es la determinación del resultado como el número mayor respectivamente, pues si fuera calculado para obtener un promedio, el resultado mostraría un margen de error referente al entorno de colores de la calidad de aire.

Por ejemplo, en la Tabla IX el color del intervalo de calidad en el monóxido de carbono y ozono es de color verde, y en las partículas suspendidas 2.5 es de color rojo.

**Tabla IX.** Interpretación de ejemplo.

	I	Intervalo de Calidad
CO	1.72	
O3	39.97	
PM2.5	177.18	

*Fuente: Elaboración propia.*

Adicionalmente, los intervalos de concentraciones se comprobaron individualmente que pueden ser modificados en relación con los puntos de corte asignados, por lo tanto, las ecuaciones deben de ser estrictamente modificadas de acuerdo con el intervalo del índice, así como del intervalo de concentración modificado.

Para el desarrollo del índice de Calidad de Aire se contempló tomar la variable que tuviera el número más alto de acuerdo con lo establecido anteriormente, es decir, se realizó una comparación entre las tres variables y se selecciona la que es mayor como se indica en la determinación del ICAV. Sin embargo, la razón justificada de lo anterior fue, que no puede existir un promedio aritmético y plantearlo como cualquier ecuación matemática, es decir, para no afectar la salud y el bienestar con un valor erróneo, ya que, si alguna variable tiende a ser mayor y las demás menores, podría afectar la percepción de la complejidad de la calidad de aire para la salud del entorno.

### 3.2.3. Diseño

Se procedió a establecer un diagrama de flujo y el pseudocódigo para detallar la manera en la que fue pasado a un programa con el fin de realizar un prototipo. Lo anterior significó un avance para conocer

si lo explicado en párrafos anteriores era el resultado esperado y si no, realizar de nuevo un análisis para mejorarlo, tomando en cuenta los requisitos que se habían planteado en el principio del proyecto. Este diagrama de flujo se muestra en la Figura 5.

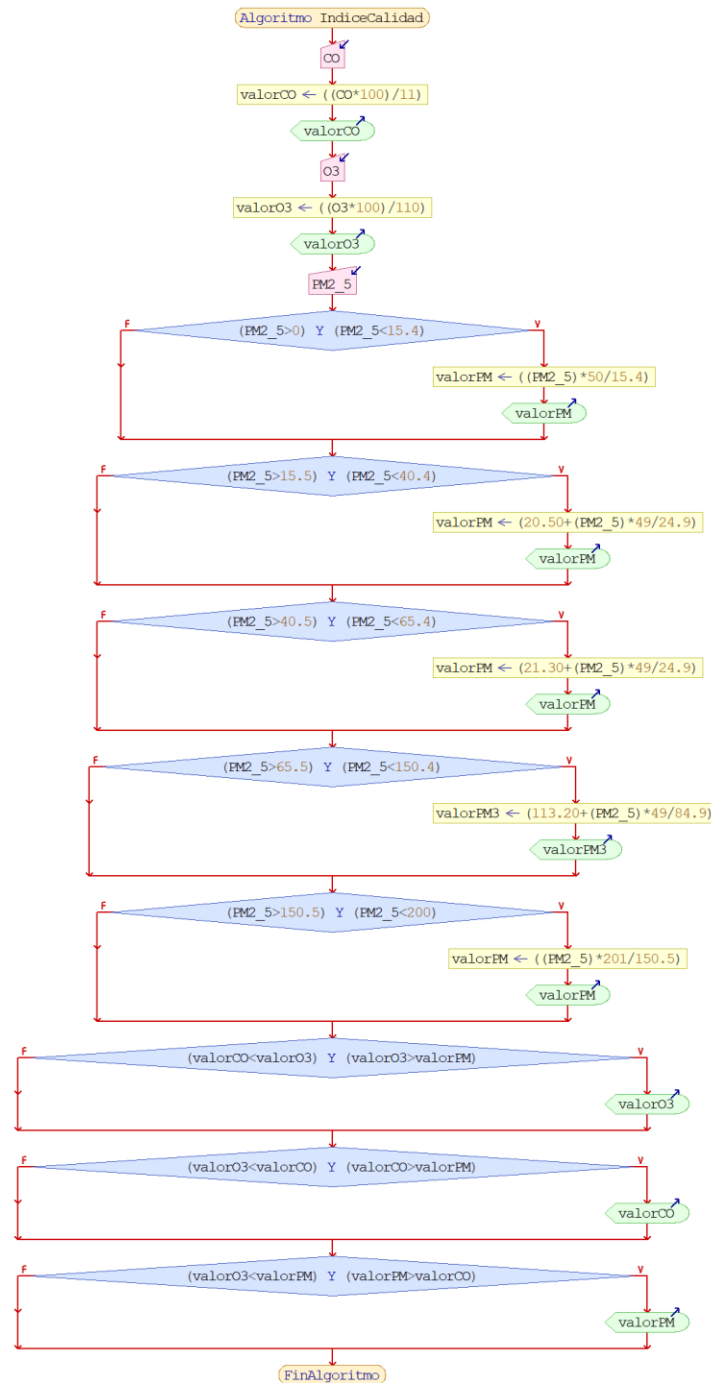
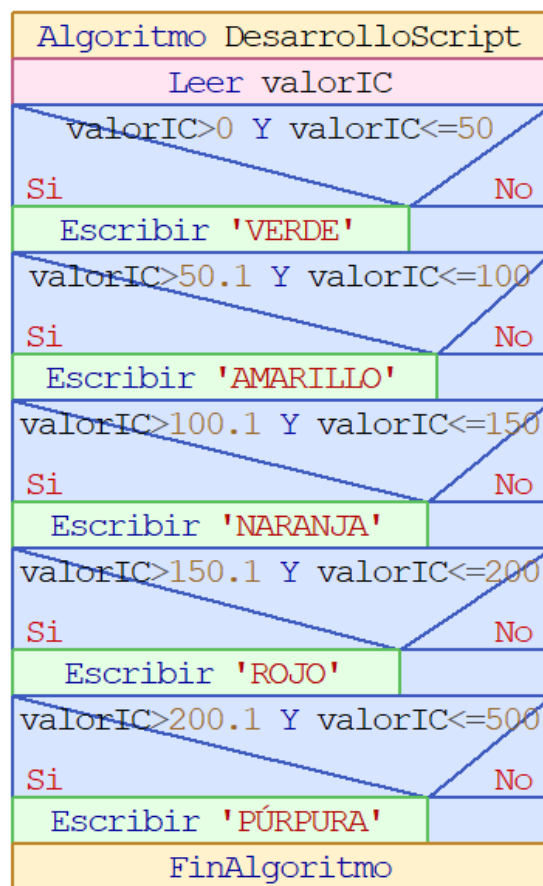


Figura 5. Diagrama de flujo para un ICAV.

Una vez que se estableció el método para calcular el ICAV, con el pseudocódigo y el diagrama, se propuso la etapa de desarrollo para convertirlo de manera funcional y verificar si los procesos descritos anteriormente habían sido certeros al mostrar el resultado final. Simultáneamente inició el desarrollo de una página web que mostraría al usuario de manera simple la calidad de aire en su entorno.

Sin embargo, lo anterior solo fue una base para el desarrollo técnico por lo que surgió un detalle para completar la implementación. Faltaba la creación de un script para complementar el índice de calidad de aire, en donde debía de analizarse el valor resultante y mostrar de manera visual el verdadero funcionamiento al cambiar de color de acuerdo con los niveles establecidos. Así mismo se realizó otro diagrama de flujo para asignar el valor del índice a un esquema de colores previamente de la Figura 6.



**Figura 6.** Diagrama para el desarrollo de un script.

#### **3.2.4. Codificación**

Una vez propuesto el procedimiento a seguir y tomar las ideas del pseudocódigo, se tomó la iniciativa de empezar a codificar en base a los diagramas propuestos para brindar una perspectiva preliminar durante el proceso de desarrollo del código del sitio web.

Como se había planteado en la iteración I, los lenguajes PHP y JavaScript serían utilizados, por lo que para empezar la codificación fue necesario extraer los datos del XML del servicio web donde estaba alojado, que se actualizaba cada cinco minutos. Lo anterior fue posible utilizando un analizador basado en árboles que proporciona el nombre, los atributos y el contenido textual de un elemento si conoce la estructura o el diseño del XML.

Sin embargo, para iniciar con la verificación de los procesos del dato leído, primero se almacenaron en variables temporales. Una vez extraídos los datos requeridos, se verificó que cada vez que se actualice la información también las variables lo harían. Posteriormente se realizó la clasificación de acuerdo con el valor que se encontraba almacenado para así utilizar la ecuación correspondiente la cual debería de arrojar los nuevos valores en otras variables temporales y realizar la comparación para conocer el valor máximo del almacenamiento previo.

En consecuencia, se obtiene el ICAV de modo que se tuvo la necesidad de relacionarlo con la escala de colores establecida. Por otro lado, se tenía que buscar la manera de lograr dicha relación con un script que utilizara JavaScript para obtener el resultado de forma visual. De igual manera se debería de tomar en cuenta la condición de cómo debería de verse el sitio web donde estaría el ICAV para enlazarlo y hacerlo funcional. Mientras esto ocurría, el desarrollo del script tomó forma de una función que permitiera analizar el valor y compararlo de entre cinco condiciones posibles para hacer coincidir con el color correspondiente, tomando siempre en cuenta que debería de ser estricta la evaluación de las condicionales.

#### **3.2.5. Pruebas**

La primera prueba para verificar la codificación fue la extracción de los datos del XML con un analizador. La figura 7 representa la extracción de información como paso inicial para el proceso de recolección.

```
CO(0.14PPM)
O3(41.84 PPB)
PM(4.015236 micro-g/m3)
```

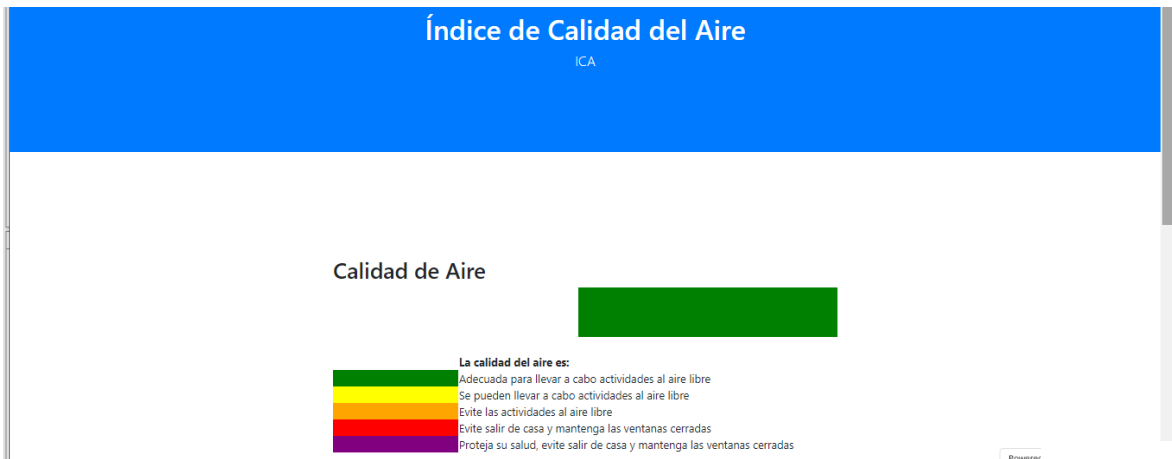
**Figura 7.** Prueba inicial de extracción a partir de un XML.

Posteriormente la Figura 8 muestra la prueba después del proceso de clasificación y cálculo, siendo el proceso de producto el ultimo en mostrarse.

```
CO
1.3636363636364
O3
38.145454545455
PM2,5
13.6014
Indice de Calidad de aire
38
```

**Figura 8.** Prueba inicial de extracción a partir de un XML.

Como prueba final en la Figura 9 se presenta el ICAV de manera visual como se comentó en el apartado anterior.



**Figura 9.** Prueba final de extracción a partir de un XML.

### **3.2.6. Validación del Cliente.**

Las pruebas realizadas consideraron utilizar los valores reales de los contaminantes, por otro lado, la comprobación de método y fórmulas se realizó mediante el análisis y realización de un apartado tanto web como en consola, permitiendo verificar si el resultado era el esperado.

El experto del tema coincidió en la propuesta del método y desarrollo del ICAV, sin embargo, se solicitó que la recolección de los datos cambiara de cinco minutos a una hora, esto para mejorar el proceso y apegarse a las normas mexicanas.

### **3.3. Iteración III.**

#### **3.3.1. Objetivo.**

Crear un prototipo que integre el método propuesto del proyecto.

#### **3.3.2. Análisis**

La problemática con el prototipo de la iteración II fue el cambio respecto al tiempo de la recolección de los datos provenientes de la estación de calidad de aire para utilizar los valores recolectados en el cálculo de ICAV. La recolección paso de cinco minutos a una hora, por lo que se tuvo que hacer modificaciones a la configuración del XML del servicio web para cumplir con el requisito. La razón es que, al hacerlo cada cinco minutos la medición de la calidad del aire iba a tener muchas variaciones. Lo anterior era previsible, ya que de un momento a otro se podría modificar, sin embargo, a solicitud se realizó de esa manera. Después de la primera iteración, se solicitó por parte de CECATEV, realizar el ICAV cada hora.

Debido al diseño explicado anteriormente, el requisito de considerar los datos de cada hora se realizó sin problema, incluso, se podría modificar para considerar los datos por día, semana y mes, si fuera necesario.

El XML (ver anexo II) con modificaciones para realizar el cálculo por hora representó una ventana de tiempo más amplia y de mejor resultados para el ICAV.

#### **3.3.3. Diseño**

La Figura 10 muestra el diseño final del sitio web que servirá para desplegar el valor del ICAV y fomentar la participación comunitaria. Hay que recordar que el índice de calidad de aire tiene asociado un color que representa la calidad del aire en un momento determinado y una serie de

recomendaciones para la comunidad de acuerdo con el color. La paleta de colores está organizada de menor riesgo a mayor riesgo y se actualiza automáticamente de acuerdo con el valor de ICAV.

El manejo de colores sirve como un apoyo visual para que una persona pueda entender, en un momento dado, el estado de la calidad del aire en la zona donde reside y/o realiza sus actividades. El significado de los colores asociados con la calidad del aire puede ser: “buena” (color verde), “regular” (color amarillo), “mala” (color naranja), “muy mala” (color rojo), “extremadamente mala” (violeta) y “peligrosa” (marrón). Adicionalmente, el sitio web también muestra los valores de cada contaminante de manera individual, además de la fecha y hora en que fueron recolectados. Es importante hacer notar que la paleta de colores y recomendaciones respectivas, están alineadas a la NADF-009-AIRE-2017 (ver Tabla I).

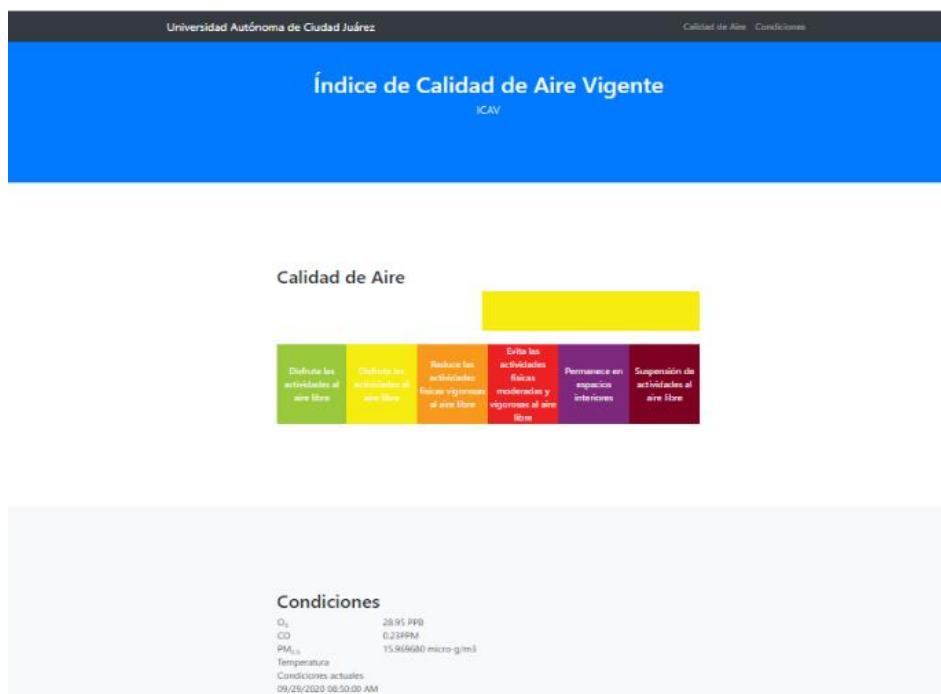


Figura 10. Sitio web completo con ICAV.

Para fomentar la participación comunitaria en el cuidado de su salud, las estaciones de calidad del aire se pretenden instalar en lugares de acceso público y cada estación de calidad tendrá adherido en una parte visible de la estación, un código QR que permita la conexión con el sitio web donde se almacena el ICAV. La Figura 11 muestra un ejemplo de este código QR único de cada estación, tal

que un individuo podrá escanear con un dispositivo móvil el código y ser redireccionado al sitio web donde se aloja el ICAV, para que pueda verificar desde su dispositivo la calidad del aire en ese momento. Esto permitirá empoderar a la comunidad para tomar acciones orientadas a cuidar su salud y quizá exigir a las autoridades un mayor esfuerzo para elevar la calidad del aire. La gestión del QR es una característica innovadora de este proyecto.



**Figura 11.** Código QR enlazado al sitio web de ICAV.

#### 4.Resultados

El resultado principal de este proyecto fue el de favorecer la prevención para la sociedad de los riesgos respecto a la salud de la calidad de aire, aplicando el método descrito anteriormente. También se desarrolló el contenido web para la visualización del ICAV y la estructura de los *XML* por medio de metadatos para obtener cada una de las concentraciones actuales ( $O_3$ , CO y  $PM_{2.5}$ ).

Por otra parte, se generó una publicación con los resultados del proyecto desarrollado en el Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables, Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática (CIERMMI 2019) la cual se muestra en el Anexo III y por las características distintivas e innovadoras del proyecto RCCA, del cual este proyecto es parte, se presentó una solicitud de patente mostrada en el Anexo IV.

Con respecto a los resultados mostrados a continuación se establece el reflejo del método a las concentraciones de  $O_3$ , CO y  $PM_{2.5}$  respectivamente. Cada uno de ellos muestra la oscilación a través del tiempo de manera individual.

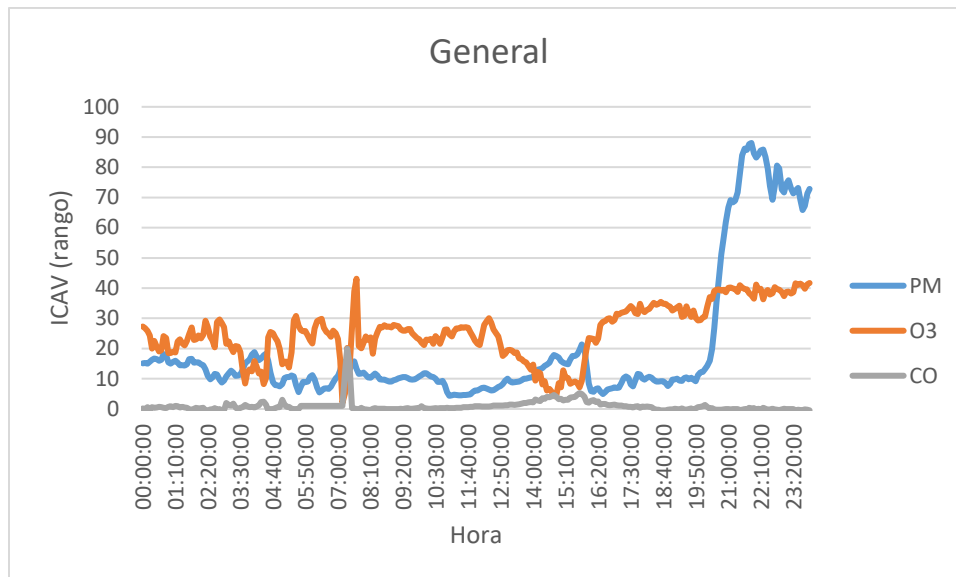
La elaboración de las gráficas fue resultado del monitoreo del ICAV, almacenando los resultados para representarlos de esa manera. La validación tanto de las gráficas como del método se realiza respecto a la calidad del aire presente, tomando en cuenta el valor respecto al color que le corresponde en la escala del ICAV.

Simultáneamente, los resultados que se presentan a continuación pertenecen a los datos generados por la estación IIT-01 localizada en el campus del Instituto de Ingeniería y Tecnología de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez ( $31^\circ 44.28' N$ ,  $106^\circ 25.57' W$ ). Dicha estación muestrea datos promedios de cada minuto de los gases criterio como son monóxido de carbono, dióxido de azufre, ozono troposférico, óxidos de nitrógeno y partículas finas, y gruesas ( $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$ ).

Respecto a lo anterior se estableció que se tomaría un día (24 horas) al azar de los meses del año 2019 para aplicar el método descrito en el capítulo anterior. De esta manera se informa de manera individual y en conjunto las variables utilizadas en el índice de Calidad de Aire Vigente.

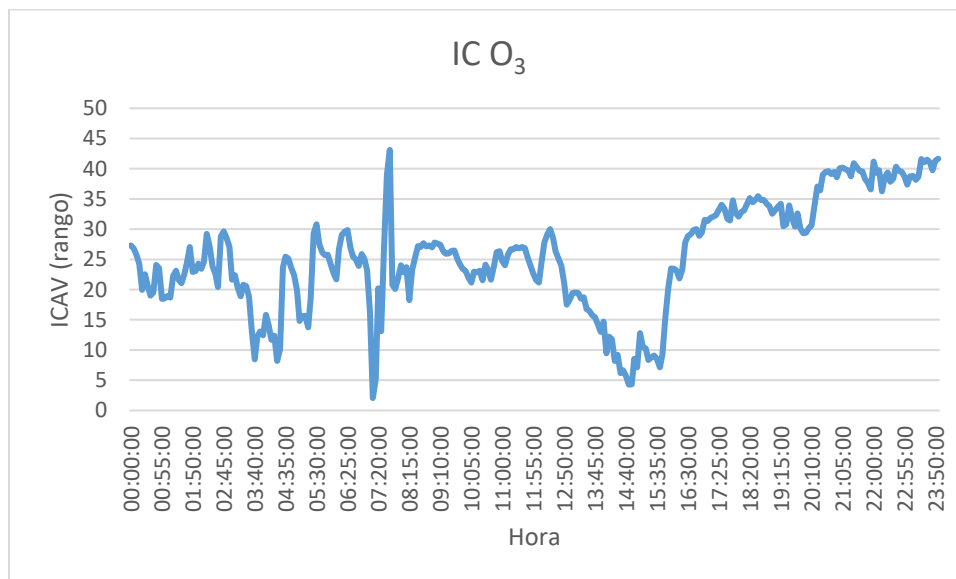
A causa del cambio del tiempo de medición para realizar el cálculo del ICAV, los resultados generales y/o individuales pueden presentarse con el parámetro de 5 minutos ya que se realizó durante 24 horas. El parámetro de 5 minutos solo es referencia para la visualización de los datos, sin embargo, no se encuentra planteado en la actualidad en el sitio web.

En general el día 6 de febrero presentó que el ICAV era buena durante 15 horas, a partir de ahí cambio que la calidad había aumentado y se encontraba de forma regular. En la Gráfica 1 se muestra los valores por hora de manera visual que fueron recolectados y analizados, tomando como guía los niveles de calidad de aire.



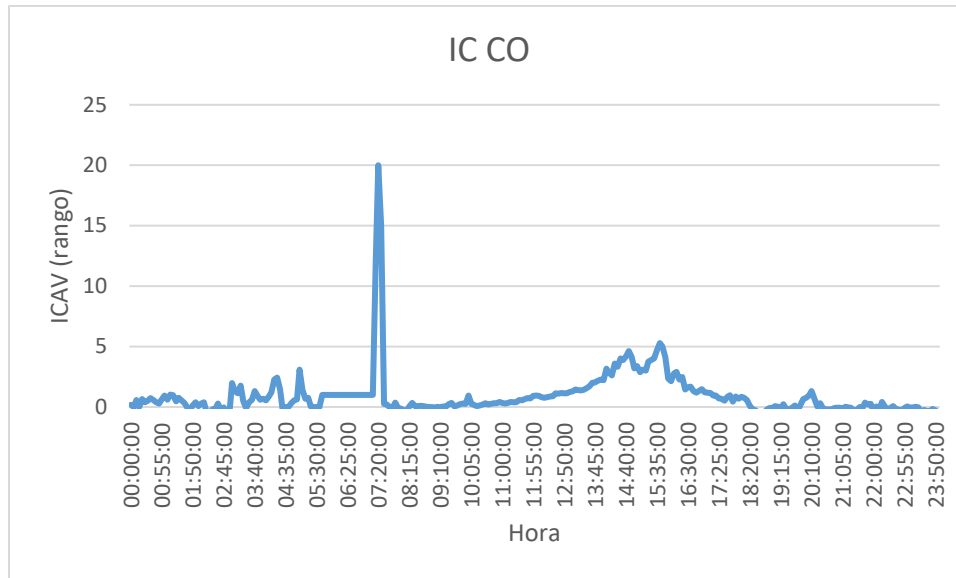
Gráfica 1. Índice de calidad general del 6 de febrero.

De forma detallada e individual se muestran los valores de cada variable. La Gráfica 2 muestra al ozono de acuerdo con los valores recolectados y después analizados por lo que en general su calidad de aire fue buena durante las 24 horas.



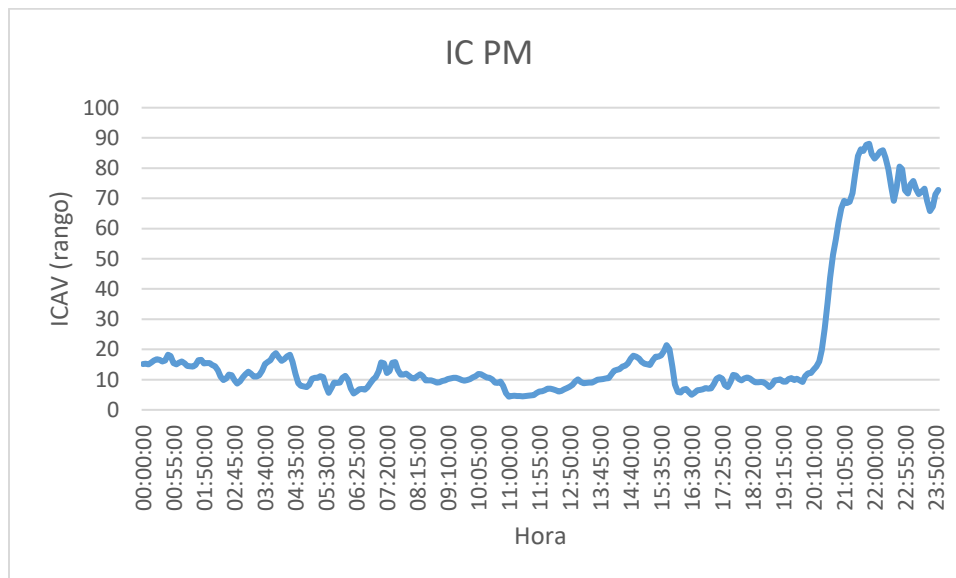
Gráfica 2. Índice de calidad para ozono del 6 de febrero.

En la Gráfica 3, se muestra el resultado del ICAV, que al igual que el ozono, en este caso también el monóxido de carbono se encontraba con una buena calidad de aire.



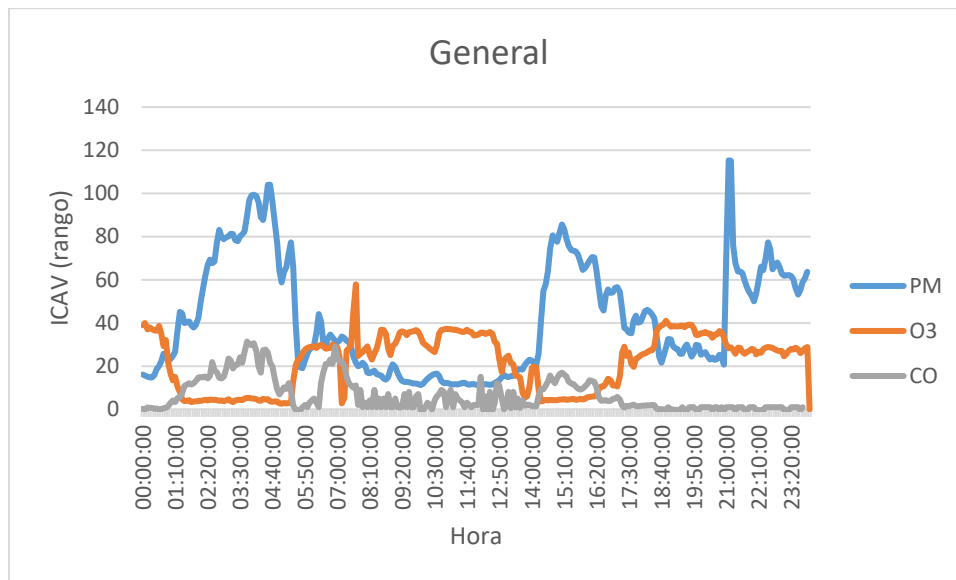
**Gráfica 3.** Índice de calidad para monóxido de carbono del 6 de febrero.

A continuación, puede visualizarse un cambio notable cerca de las 20:00 horas en la Gráfica 4 que corresponde a las partículas suspendidas 2.5. Durante 15 horas aproximadamente la calidad de aire era buena, sin embargo, de forma gradual y acelerada, hubo un incremento que si bien pudo verse afectado por las condiciones meteorológicas del día por lo que la calidad cambió a regular.



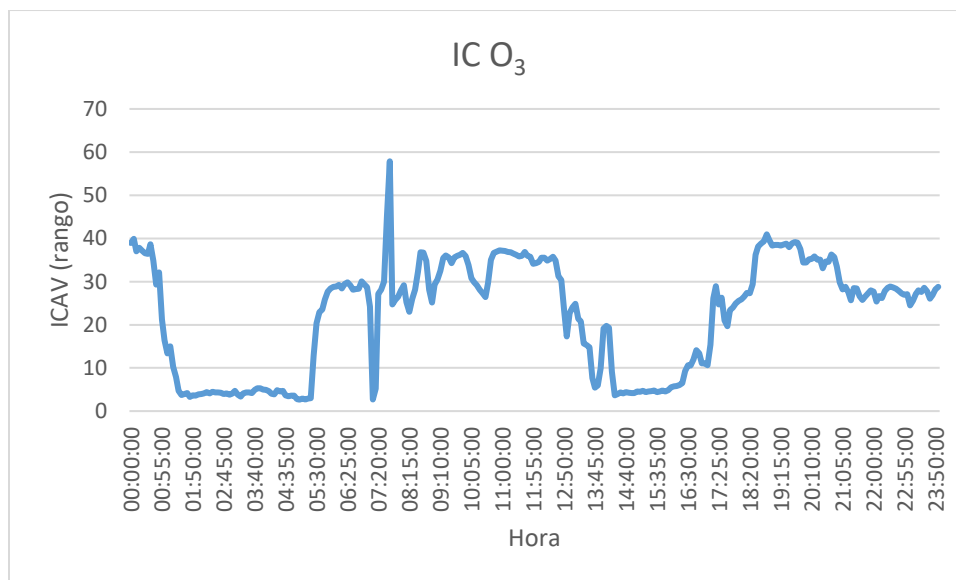
**Gráfica 4.** Índice de calidad para PM2.5 del 6 de febrero.

El día 7 de marzo, en general se reportó que las  $PM_{2.5}$  protagonizaron una calidad de aire variable en el día, y que el ozono y monóxido de carbono se mantuvieron constante para reconocer que tenían una calidad de aire buena, representada en la Gráfica 5.



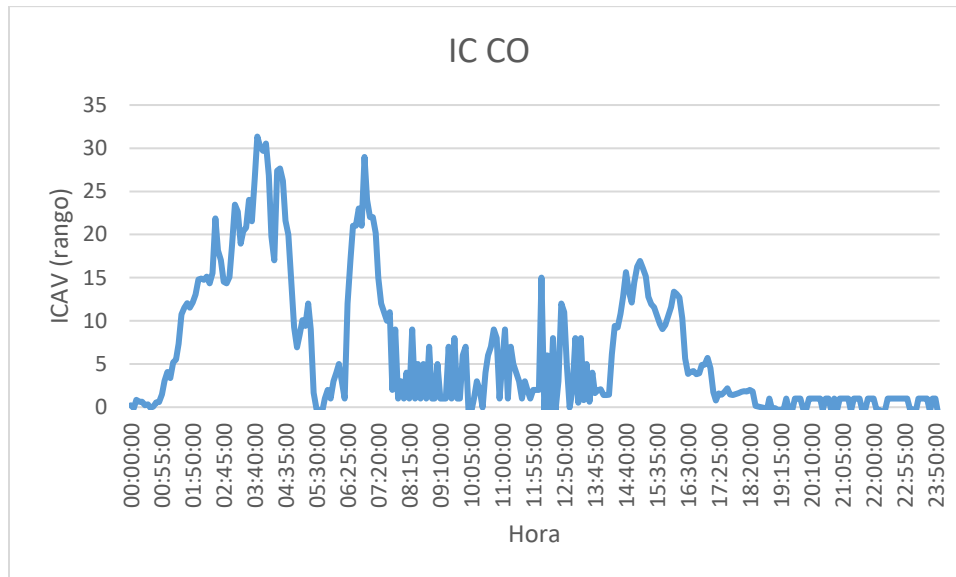
Gráfica 5. Índice de calidad general del 7 de marzo.

En la Gráfica 6 referente al ozono, puede visualizarse que la calidad de aire en general se encontró buena, a excepción de algunos minutos, donde aumentó un poco, pasando a calidad regular.



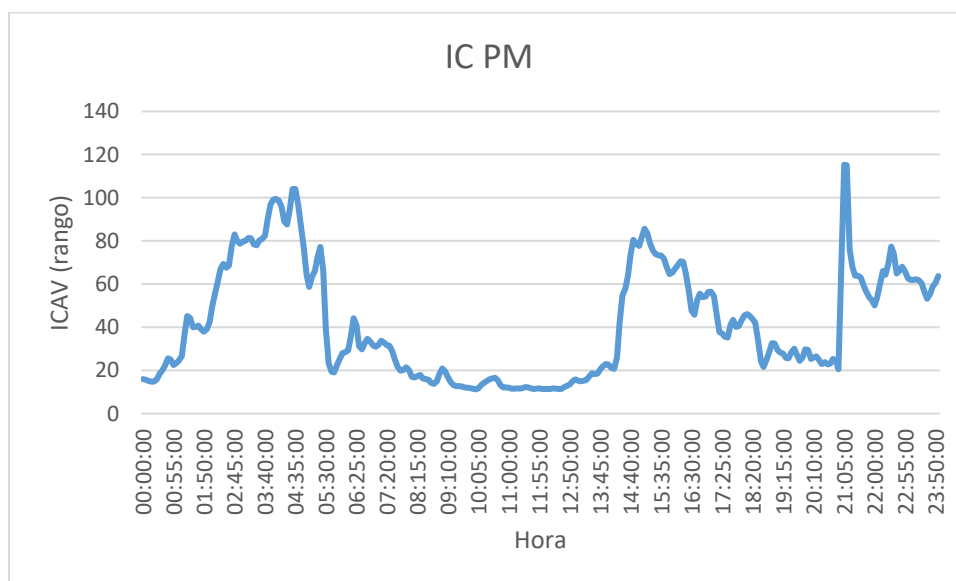
Gráfica 6. Índice de calidad para ozono del 7 de marzo.

Se puede visualizar en la Gráfica 7 que se encuentra la calidad de aire buena, sin tener algún cambio drástico o algún efecto que lo pudiera hacer variar durante el día.



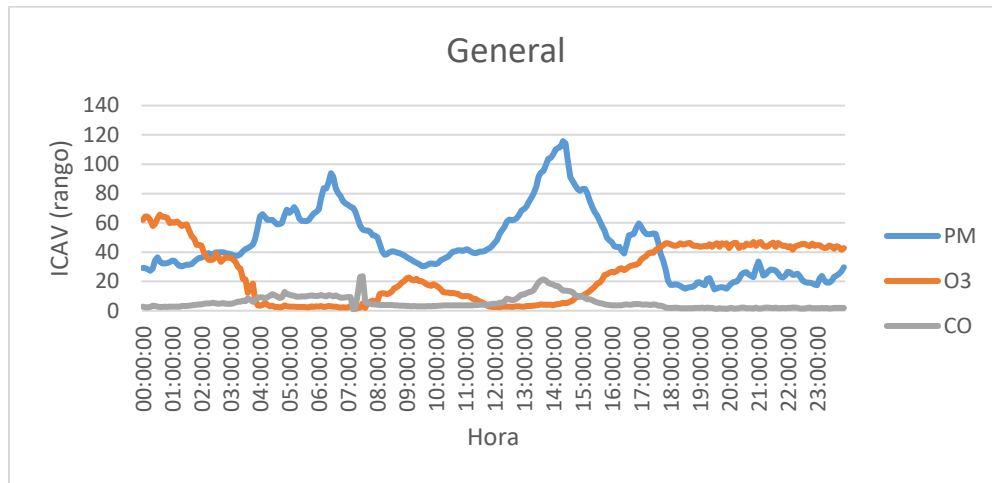
**Gráfica 7.** Índice de calidad para monóxido de carbono del 7 de marzo.

En la Gráfica 8 correspondiente a las partículas suspendidas 2.5, la calidad de aire fue variable a lo largo del día, mostrando una calidad de aire mala en algunas horas, sin embargo, la mayor parte del día la calidad fue entre buena y regular. Por lo que con lo anterior pudiera indicarse que la variación fue por causas meteorológicas. Esta gráfica muestra la importancia de estar monitoreando constantemente la calidad del aire y mantener informada a la gente para cuidar su salud.



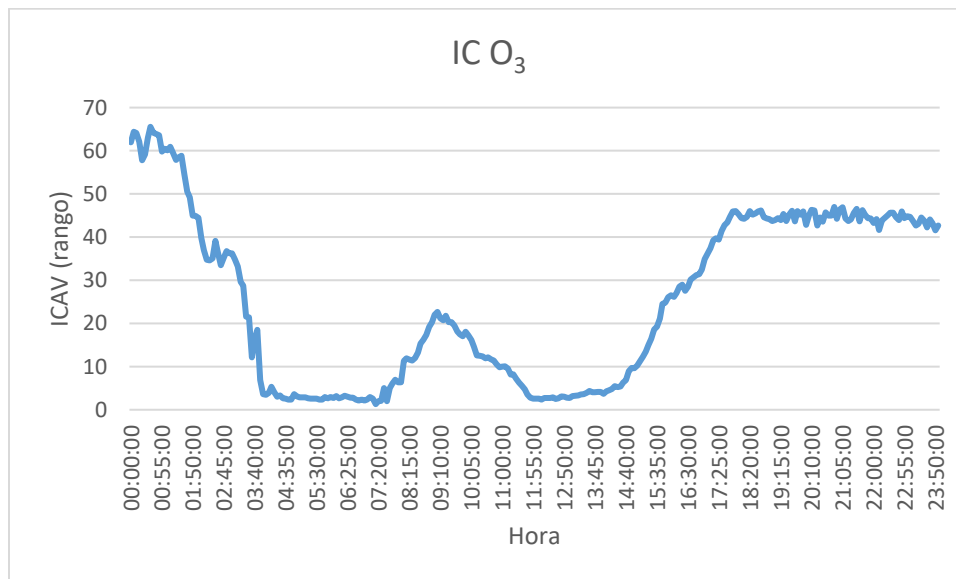
**Gráfica 8.** Índice de calidad para partículas suspendidas del 7 de marzo.

El día 2 de abril, se reportó un cambio constante en la calidad de aire, pero en general se encontraba entre buena y regular a excepción de algunas horas que fue de calidad mala, apreciable en la Gráfica 9.



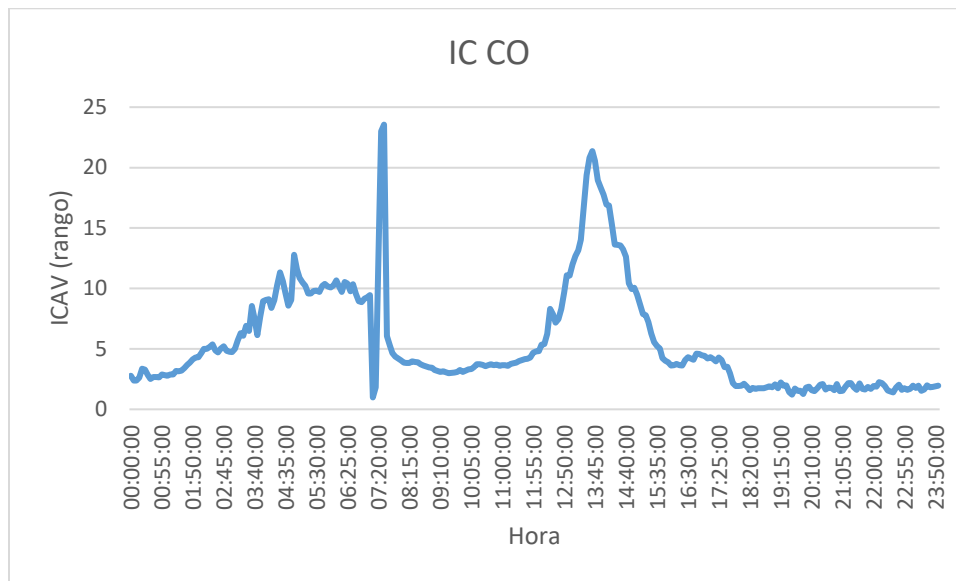
Gráfica 9. Índice de calidad general del 2 de Abril.

En la Gráfica 10 se muestra los valores del índice de calidad de aire para el día asignado. Puede apreciarse que, al inicio del día, la calidad se encontraba regular, probablemente el día anterior a esas horas también la calidad de aire fuera así. Sin embargo, el resto del día la calidad de aire fue buena.



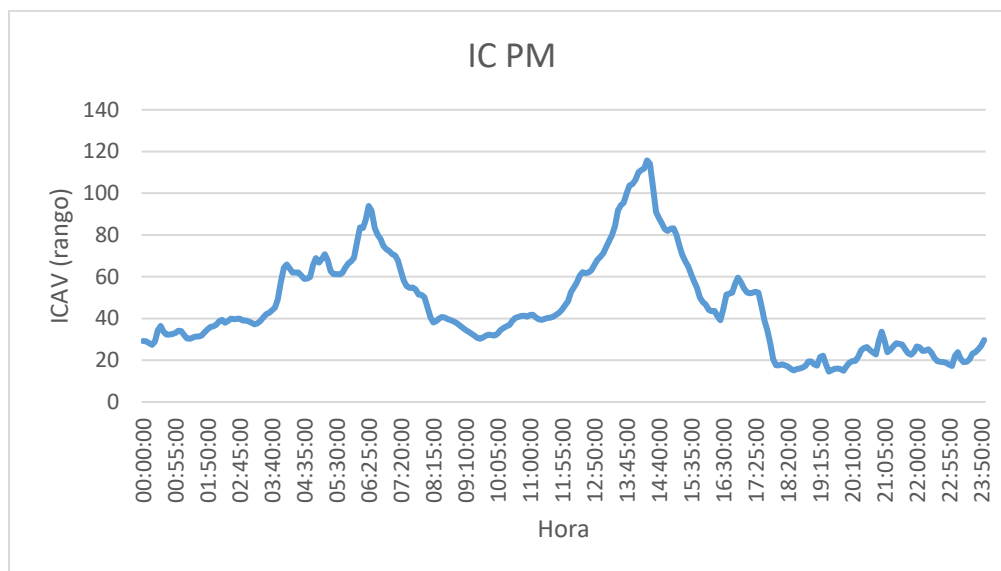
Gráfica 10. Índice de calidad para ozono del 2 de abril.

La Gráfica 11 muestra los resultados del índice de calidad para el monóxido de carbono, indicando que se encuentra con una calidad de aire buena durante el día completo.



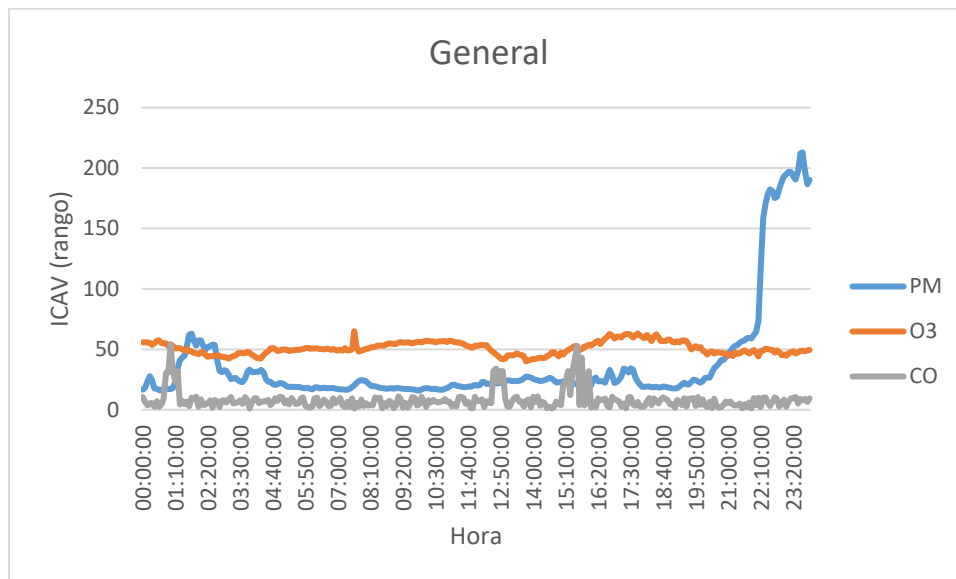
**Gráfica 11.** Índice de calidad para monóxido de carbono 2 de abril.

Puede visualizarse en la Gráfica 12 la calidad que se asignó a las partículas suspendidas 2.5, en la cual se encuentran tres diferentes: buena, regular y mala. Es incorrecto dar una respuesta acerca del nivel tan alto que alcanzó a cierta hora, de ser necesario debería revisarse las condiciones meteorológicas para descartar cambios en cuanto a la calidad.



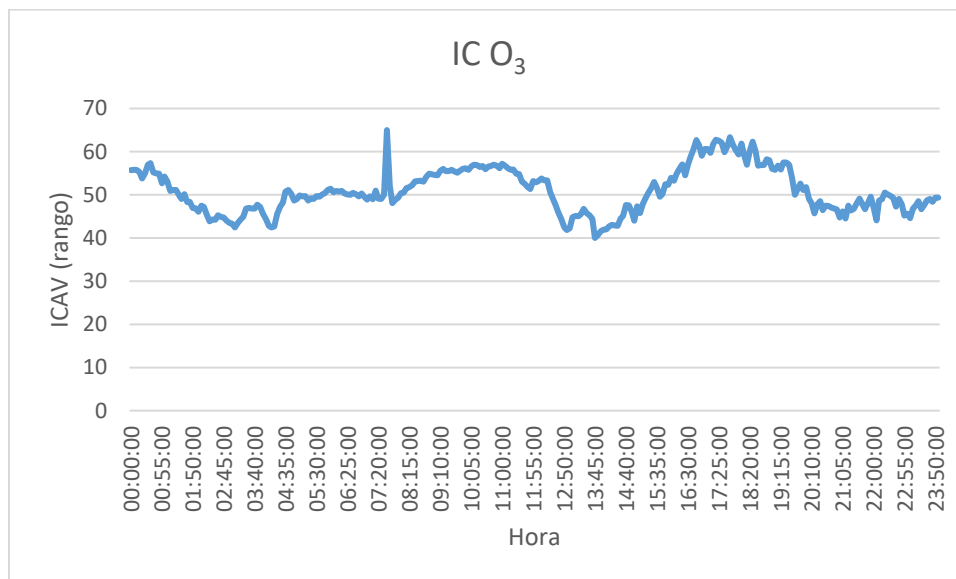
**Gráfica 12.** Índice de calidad para partículas suspendidas 2 de abril.

El día 20 de mayo, en general mostró una calidad de aire entre buena y regular durante la mayor parte del día, apreciable en la Gráfica 13.



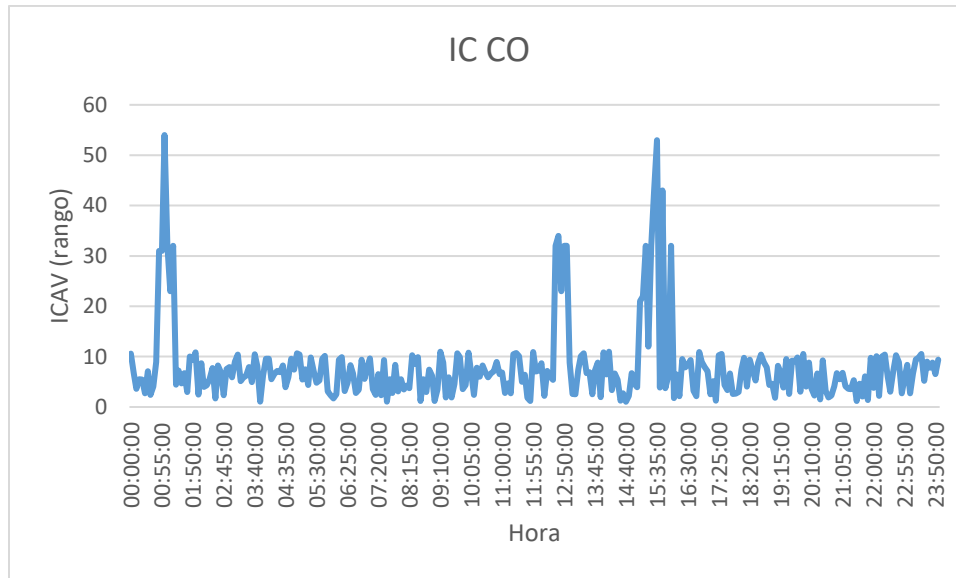
Gráfica 13. Índice de calidad general del 20 de mayo.

En resumen, la Gráfica 14 con respecto al ozono parece indicar que la calidad de aire no tuvo grandes variaciones entre buena y regular.



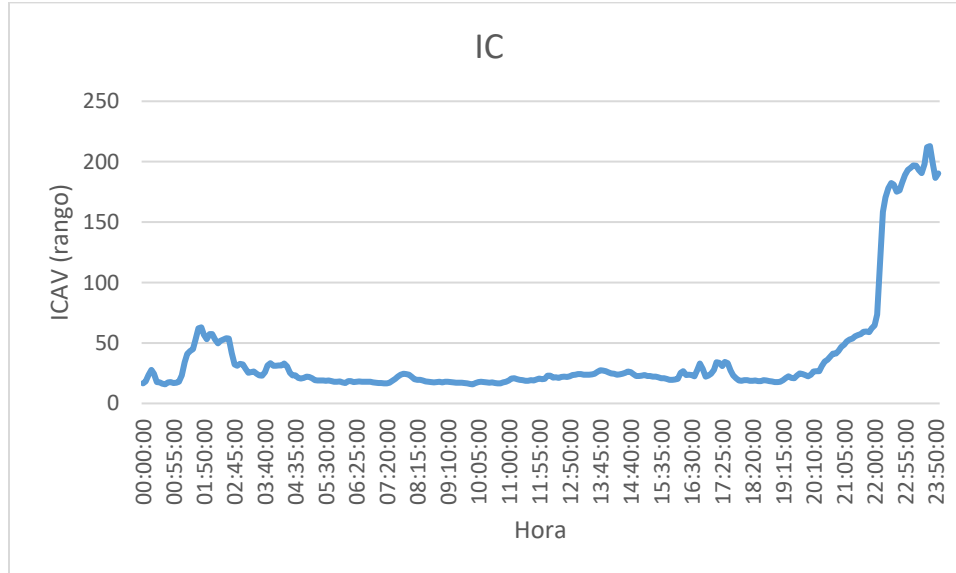
Gráfica 14. Índice de calidad para ozono del 20 de mayo.

En la Gráfica 15 se muestra que el índice de calidad para el monóxido de carbono se encontraba bien, a excepción de algunas horas que sobrepasó la calidad buena, sin tener mucha variabilidad en el día.



**Gráfica 15.** Índice de calidad para monóxido de carbono del 20 de mayo.

Cabe mencionar que se verificó las condiciones meteorológicas del día 19 y 20 donde arrojó que hubo ráfagas de viento con velocidad alta, lo que podría indicar la razón del aumento de las partículas 2.5 que se pueden ver en la Gráfica 16. Los niveles alcanzados indicaron que se debía de permanecer en casa, ya que la calidad del aire era extremadamente mala.



**Gráfica 16.** Índice de calidad para partículas suspendidas 2.5 del 20 de mayo.

En la Figura 12 se puede observar las condiciones del día 13 de Julio, se muestra el ozono, monóxido de carbono y partículas suspendidas 2.5, así como la temperatura, hora y día actual en la consulta.

Los valores mostrados en la siguiente figura representan los datos no sometidos por el procesamiento, que son extraídos del XML explicado anteriormente, es decir, antes de aplicarle el ICAV y provenientes de la estación de calidad de aire.



**Figura 12.** Condiciones ambientales del 13/07/19.

## 5. Conclusiones

El desarrollo del proyecto contribuyó en el área tecnológica al desarrollar un sistema para crear un índice de calidad de aire vigente (ICAV) con participación comunitaria para Ciudad Juárez. Entre los desafíos destacados se mencionan:

1. Entender el dominio multidisciplinario del problema y establecer los requisitos del sistema.
2. Encontrar el esquema adecuado de obtención de los datos, considerando diversas estaciones meteorológicas y de calidad del aire instaladas a lo largo de Ciudad Juárez. Se debe recordar que las estaciones se pretenden instalar en lugares de acceso público y cada estación de calidad tendrá adherido en una parte visible de la estación, un código QR que permita la conexión con el sitio web donde se almacena el ICAV.
3. Aplicar un método para transformar las variables ambientales (apegado a las características de Ciudad Juárez) generadas de acuerdo con las normas ambientales vigentes y generar el ICAV.
4. Desarrollar un esquema para potenciar la participación comunitaria, en este caso, se consideró desarrollar un sistema web que contiene el ICAV actual, al cual la personas se podrán conectar vía escaneo (desde un dispositivo móvil) de un código QR y poder conocer el estado de la calidad del aire con las recomendaciones respectivas para cuidar su salud.

Además, el conocimiento tanto tecnológico como científico adquirido durante el desarrollo del proyecto fueron primordiales, pues el dominio del problema era completamente desconocido. Sin embargo, al realizar la búsqueda y comenzar la lectura de literatura relacionada al tema, permitió entender la importancia del proyecto y su impacto directo en la población. Esto motivó la búsqueda del conocimiento tácito necesario para desarrollar el proyecto. Es importante destacar la disposición del CECATEV para aclarar dudas y facilitar la información necesaria en el desarrollo del sistema.

El objetivo general del proyecto y los objetivos específicos se cumplieron satisfactoriamente. El presente proyecto sienta las bases para que Ciudad Juárez pueda tener su propio Índice de Calidad del Aire. En las pruebas realizadas para monitorear la calidad del aire, utilizando los datos generados por las estaciones de calidad del aire, se puede observar la importancia de este proyecto, ya que en ocasiones la calidad del aire fue mala, afectando en ese momento la salud de las personas. El cálculo del ICAV asociado a una serie de recomendaciones, brinda información útil a la comunidad. El planteamiento utilizado en el proyecto considera términos conocidos en la literatura, sin embargo, el impacto ante la sociedad es grande dado el alcance del proyecto. El principal aporte a la literatura del

proyecto fue el método utilizado para calcular el ICAV, que considera variables climáticas y de calidad de aire propias de Ciudad Juárez y además de que el sistema puede incluir estaciones artesanales fabricadas en el CECATEV. Además, la visión de empoderar a la población con información oportuna, para que esta pueda tomar decisiones para cuidar su salud cuando la calidad del aire no sea buena o exigir a las autoridades acciones para tener una mejor calidad del aire, es un logro importante.

A pesar de haber cumplido con el objetivo general y objetivos específicos, se identifican áreas de oportunidad que se pudieran implementar en un futuro:

- Predecir la calidad de aire por día, semana o mes, utilizando un campo importante de la inteligencia artificial, las redes neuronales artificiales.
- Utilizar técnicas de big data para realizar análisis de las variables climáticas y calibrar la vigencia del ICAV.
- Crear patrones de reconocimiento que permitan reconocer series de datos erróneos que pueden crear sesgos en el cálculo del ICAV.
- El esquema (basado en un archivo *XML*) para la obtención de los datos de las estaciones climáticas puede ser modificado para agregar o quitar contaminantes atmosféricos. Aunque, para esto, se requiere modificar el diseño de las estaciones artesanales.
- Modificación de los límites permisibles de acuerdo con las normas mexicanas, ya que puede incluso llegar a ser un reporte diario, semanal o mensual, en el caso de que se considerara hacer reportes de la calidad de aire de días anteriores. Se puede incluir al sector salud para extender el alcance del proyecto y brindar información personalizada a las personas, dependiendo de la calidad del aire y considerando su historial médico.
- El presente proyecto se puede adaptar a la nueva norma NOM-172-SEMARNAT-2019 que se encuentra vigente a partir del año 2020, donde su principal objetivo es establecer lineamientos para un índice de calidad de aire y riesgos a la salud, aplicables para hacer efectivo tanto el gobierno estatal y/o municipal, en conjunto con la entidad encargada del monitoreo de calidad de aire, en este caso la Dirección de Ecología en Ciudad Juárez.

## Referencias

- [1] Z. Fotourehchi, “Health effects of air pollution: An empirical analysis for developing countries,” *Atmos. Pollut. Res.*, vol. 7, no. 1, pp. 201–206, 2016.
- [2] C. Baca and F. Vázquez, “A comparative study of the influence of wooded urban zones in the air quality of Ciudad Juárez, Chihuahua, México,” *Tecnociencia*, vol. 9, no. 3, pp. 171–179, 2015.
- [3] C. Ubilla and K. Yohannessen, “Contaminación Atmosférica: efectos en la salud respiratorio en el niño,” *Rev. Médica Clínica Las Condes*, vol. 28, pp. 111–118, 2017.
- [4] R. Moreno, “Salud Ambiental,” *Efectos la Contam. Ambient.*, pp. 1–11, 2012.
- [5] Organización Mundial de la Salud, “OMS | Salud ambiental,” *WHO*, 2019. [Online]. Disponible en: [http://www.who.int/topics/environmental\\_health/es/](http://www.who.int/topics/environmental_health/es/). [Accessed: 02-Jun-2018].
- [6] European Hearth Network, “Air pollution and cardiovascular diseases,” 2017. [Online]. Disponible en: [https://alliancechronicdiseases.org/wp-content/uploads/04.-EHN\\_paper\\_on\\_air\\_pollution\\_and\\_CVD\\_final.pdf](https://alliancechronicdiseases.org/wp-content/uploads/04.-EHN_paper_on_air_pollution_and_CVD_final.pdf).
- [7] E. Arceo-Gómez, H. Rema, and P. Oliva, “¿Does the Effects of Pollution on Infant Mortality Differ between Developing and Developed Countries? Evidence from Mexico City,” *Econ. J.*, vol. 126, no. 591, pp. 257–280, 2016.
- [8] R. Brook, S. Rajagopalan, C. Pope, J. Brook, and E. Al., “Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: an update to the scientific statement from the American Heart Association,” *Circulation*, vol. 121, pp. 2331–2378, 2010.
- [9] S. Peng, L. Degen, and Q. Chen, “Study on Air Pollution and Control Investment from the Perspective of the Environmental Theory Model: A Case Study in China,” *J. Sustain. Spec. Issue Charact. Heal. Risk Assess. Sustain. Manag. Air Pollut. Asia*, vol. 10, no. 7, pp. 1–16, 2018.
- [10] USEPA, “U.S. Environmental Protection Agency,” 2019. [Online]. Disponible en: <https://www.epa.gov/>.

- [11] Secretaría de Salud de México, “NORMA Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-2014, Salud ambiental. Valor límite permisible para la concentración de ozono (O<sub>3</sub>) en el aire ambiente y criterios para su evaluación.,” *D. Of. la Fed.*, pp. 1–9, 2014.
- [12] T. Müller García and Secretaría del Medio Ambiente, “Aviso por el que se da a conocer la Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-009-AIRE-2017, que establece los requisitos para elaborar el Índice de Calidad del Aire en la Ciudad de México,” *Gac. Of. la Ciudad México*, no. 452, pp. 25–34, 2018.
- [13] SINAICA, “Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire,” 2019. [Online]. Disponible en: <https://sinaica.inecc.gob.mx/>.
- [14] J. C. Chow, “Measurement Methods to Determine Compliance with Ambient Air Quality Standards for Suspended Particles Measurement Methods to Determine Compliance with Ambient Air Quality Standards for Suspended Particles,” vol. 2247, 2012.
- [15] A. Correa García, “Los Índices de Calidad del Aire : Alcances y Limitaciones,” 2011.
- [16] R. MATUS C., PATRICIA, & LUCERO CH., “Norma Primaria de calidad del aire,” *Rev. Chil. enfermedades Respir.*, vol. 18, pp. 112–122, 2002.
- [17] R. S. Pulwarty and M. V. K. Sivakumar, “Information systems in a changing climate: Early warnings and drought risk management,” *Weather Clim. Extrem.*, 2014.
- [18] J. C. Inampúes, “Tormentas Eléctricas en Redes Inteligentes,” 2014.
- [19] J. Dutta, F. Gazi, S. Roy, and C. Chowdhury, “AirSense : Opportunistic Crowd-Sensing based Air Quality monitoring System for Smart City,” pp. 5–7, 2016.
- [20] J. C. Chang and S. R. Hanna, “Air quality model performance evaluation,” vol. 196, pp. 167–196, 2004.
- [21] D. J. Briggs, “Environmental Health A framework for integrated environmental health impact assessment of systemic risks,” 2008.
- [22] R. W. Gore, “An Approach for Classification of Health Risks Based on Air Quality Levels,” pp. 58–61, 2017.
- [23] K. H. Q. Hqd and L. Q. Kdqj, “Image- -based air quality analysis using deep convolutional neural network,” pp. 9–12.

- [24] A. E. Juárez, “Plan Estratégico de Juárez, A.C.,” *México Plan Estratégico Juárez, A.C.*, vol. 1, pp. 1–87, 2018.
- [25] Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente, “Índice Mexicano de Calidad del Aire (IMEXCA),” 1979.
- [26] A. Herrera, “Contaminación en Aire, Agua y Suelo en la Ciudad de México,” *Cent. Investig. Interdiscip. en Humanidades*, vol. 2, pp. 547–572, 1900.
- [27] B. Muñoz, “Índices de contaminación atmosférica,” *Neumol. Cir. Torax*, vol. 56, p. 48'58.
- [28] I. técnico interno del GDF-SMA, “Procedimiento de cálculo del IMECA y lineamientos para contar violaciones a las normas,” 1994.
- [29] J. Lezana, “Aire dividido, crítica a la política del aire en el Valle de México,” 2000.
- [30] E. Ezcurra, “El medio ambiente en la cuenca de México,” vol. 2, 1998.
- [31] B. De Américas *et al.*, “GACETA OFICIAL DEL DISTRITO FEDERAL,” 2006.
- [32] H. Condon, E. Odishaw, *Handbook of Physics*. .
- [33] M.-T. M. A. Amador-Muñoz O., Bazán-Torija S., Villa-Ferreira S.A., Villalobos-Pietrini R., Bravo-Cabrera J.L., Munive-Colín Z., Hernández-Mena L., Saldarriaga-Noreña H., “Opposing seasonal trends for polycyclic aromatic hydrocarbons and PM10, health risk and sources in Southwest Mexico City,” pp. 199–212.
- [34] C. Kruge, “Principles and Methods of Toxicology,” *CRC Press Taylor Fr. Gr.*, 2014.
- [35] H. I. Maibach, “Principles and methods of toxicology,” *J. Am. Acad. Dermatol.*, vol. 10, no. 1, p. 152, 1984.
- [36] International Agency of Research on Cancer, “Outdoor air pollution a leading environmental cause of cancer deaths,” 2013.
- [37] W. R. Ott, “Air Pollution Index Systems in the United States and Canada,” *J. Air Pollut. Control Assoc.*, pp. 460–470, 1976.
- [38] SEDEMA, “Documento base para revisión del Índice Metropolitano de la Calidad del Aire,” 2017.
- [39] PCE, “PCE Ibérica.” [Online]. Disponible en: <https://www.pce-iberica.es/medidor-detalles->

tecnicos/que-estacion-meteorologica.htm.

- [40] UNAM, “Redes de estaciones.” [Online]. Disponible en:  
<http://pembu.dgenp.unam.mx/introduccion/bellas-artes>.
- [41] Campbell Scientific, “Partes de una Estación Meteorológica,” pp. 0–7.
- [42] I. N. de E. y C. C. de M. INECC, “Equipos para la medición de la calidad del aire,” *Inecc*, pp. 50–72, 2015.
- [43] I. N. de E. y C. C. de M. INECC, “Redes, estaciones y equipos de medición de la calidad del aire,” 2008.
- [44] INECC, “Qué son, cómo son y cómo se originan las partículas.,” no. x, pp. 13–32, 2016.
- [45] R. 7.1 Barraza-Villarreal A.S., Hernández-Cadena L., Escamilla-Núñez M.C., Sierra-Monge J.J., Ramírez- Aguilar M., Cortez-Lugo M., Holguín F., Díaz-Sánchez D., Olin A.C., “Air pollution, airway inflammation, and lung function in a cohort study of Mexico City schoolchildren,” pp. 832–838, 2008.
- [46] W. Calderón-Garcidueñas, L., Anna C., Henríquez-Roldán, C., Torres-Jardón, R.; Nuse, B.; Herritt, L.; Villarreal-Calderón, R.; Osnaya, N., Stone, I., García, R., Brooks, D.M., González-Maciel, A., Reynoso-Robles, R., Delgado-Chávez, R., Reed, “Long-term air pollution exposure is associated with neuroinflammation, an altered innate immune response, disruption of the blood-brain barrier, ultrafine particulate deposition, and accumulation of amyloid  $\beta$ -42 and  $\beta$ -synuclein in children and young adult,” pp. 289–310, 2008.
- [47] R. L. Calderón-Garcidueñas, L., Henríquez-Roldán, C., Osnaya, N.; González-Maciel, A., Reynoso-Robles, R.; Villarreal-Calderón, R.; Herritt, L.; Brooks, D.; Keefe, S.; Palacios-Moreno, J.; Torres-Jardón, R.; Medina- Cortina, H.; Delgado-Chávez, R.; Aiello-Mora, “Urban air pollution: influences on olfactory function and pathology in exposed children and young adults.,” pp. 91–102, 2010.
- [48] G.-C. C. M. Chirino Y., Sánchez-Pérez Y., Osornio-Vargas A.R., Morales-Bárceñas R., Gutiérrez-Ruiz C., Segura- García Y., Rosas I., “PM10 induces decrease in the antioxidant enzymatic defense in an independent-pathway of oxidative stress.,” pp. 209–216, 2010.
- [49] et al Carbajal-Arroyo L, Miranda-Soberanis V, Medina-Ramón M, “Effect of PM10 and O3

- on infant mortality among residents in the Mexico City Metropolitan Area: a case-crossover analysis,” *J. Epidemiol. Community Heal.*, pp. 715–721, 2011.
- [50] O.-V. A. R. García-Cuéllar C., Alfaro-Moreno E., Martínez-Romero F., Ponce de León Rosales S., Rosas I., Pérez-Cárdenas E., “DNA damage induced by PM10 from different zones of México City,” pp. 425–428, 2002.
- [51] M. Vallejo, K. Jáuregui-Renaud, A. G. Hermosillo, M. F. Márquez, and M. Cárdenas, “Efectos de la contaminación atmosférica en la salud y su importancia en la ciudad de México,” *Gac. Med. Mex.*, vol. 139, no. 1, pp. 57–63, 2003.
- [52] H.-Á. M. Romieu I, Ramírez-Aguilar M, Moreno-Macías H, Barraza-Villarreal A, Miller P, Hernández-Cadena L, Carbajal-Arroyo LA, “Infant mortality and air pollution: modifying effect by social class,” 2004.
- [53] et al. Riojas-Rodríguez H, “Uso de la variabilidad de la frecuencia cardiaca como marcador de los efectos cardiovasculares asociados con la contaminación del aire,” pp. 348–357, 2016.
- [54] R. I. Lacasaña-Navarro M, Aguilar-Garduño C, “Evolution of air pollution and impact of control programs in three Megacities of Latin America,” pp. 203–215, 2016.
- [55] R.-P. R. Borja-Aburto VH, Loomis DP, Bangdiwala SI, Shy CM, “Ozone, suspended particulates, and daily mortality in Mexico City,” 2010.
- [56] SSA, “Nom-021-Ssa1-1993 Co,” *Director*, 1994.
- [57] M. Lebowitt, “Efectos agudos de los contaminantes del aire,” *El Man. modero*, pp. 129–158, 2000.
- [58] H. Lawin *et al.*, “Comparison of motorcycle taxi driver’s respiratory health using an air quality standard for carbon monoxide in ambient air: A pilot survey in Nenin,” *Pan Afr. Med. J.*, vol. 30, pp. 1–5, 2018.
- [59] B. R. Pitarma, R., Marques, G. & Ferreira, “Monitoring Indoor Air Quality for Enhanced Occupational Health,” *J. Med. Syst.*, 2017.
- [60] SEMARNAT, “NORMA Oficial Mexicana NOM-172-SEMARNAT-2019,” 2019. [Online]. Disponible en:  
[https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5579387&fecha=20/11/2019](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5579387&fecha=20/11/2019).

- [61] J. L. Malla Sanchez, “SERVICIOS WEB,” no. May, 2014.
- [62] J. Sayago, E. Flores, and A. Recalde, “Análisis Comparativo entre los Estándares Orientados a Servicios Web SOAP , REST y GRAPHQL Comparative Analysis between Standards Oriented to Web Services SOAP , REST and GRAPHQL,” vol. 9, pp. 10–22, 2019.
- [63] G. N. Haro, Edward; Guarda, Teresa; Peñaherrera, Alex Omar Zambrano; Quiña, “Desarrollo backend para aplicaciones web, Servicios Web Restful: Node.js vs Spring Boot,” *Rev. Ibérica Sist. e Tecnol. Informação*, no. E17, pp. 309–321, 2019.
- [64] World Wide Web Consortium, “Extensible Markup Language (XML),” 2016. [Online]. Disponible en: <https://www.w3.org/XML/>.
- [65] L. Dykes, *XLM for dummies*. 2005.
- [66] M. Arias, *Introducción a PHP y MySQL*. 2013.
- [67] MDN web docs, “Javascript.” [Online]. Disponible en: [https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/JavaScript/Acerca\\_de\\_JavaScript](https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/JavaScript/Acerca_de_JavaScript).
- [68] Norma Oficial Mexicana NOM-172. [Online]. Disponible en: [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5579387&fecha=20/11/2019](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5579387&fecha=20/11/2019)
- [69] WeeWx. [Online]. Disponible en: <http://weewx.com/docs/usersguide.htm>

## Apéndice. Lista de Acrónimos y Abreviaciones.

AQI	Air Quality Index
AQMD	Air Quality Monitoring Device
CA	Concentración Actual
CECATEV	Centro de Ciencias Atmosféricas y Tecnologías Verdes
COVs	Compuestos Orgánicos Volátiles
IARC	International Agency for Research on Cancer
ICAV	Índice de Calidad del Aire Vigente
IMECA	Índice Metropolitano de Calidad del Aire
Índice Aire y Salud	Índice de Calidad del Aire y Riesgos a la Salud
NOM	Normas Oficiales Mexicanas
OMS	Organización Mundial de la Salud
PPB	Partes por billón
PPM	Partes por millón
PSI	Pollutant Standard Index
PST	Partículas Suspendedas Totales
RCCA	Red Climatológica y de Calidad del Aire
REST	Representational State Transfer Web Services
SOAP	Simple Object Access Protocol
USEPA	US Environmental Protection Agency
XML	eXtensible Markup Language

## Anexo I

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>

<lectura>

<fecha\_hora> current.dateTime</fecha\_hora>

<O3>current.O3</O3>

<CO> current.CO</CO>

<SO2>current.SO2</SO2>

<NOx>current.NOx</NOx>

<NO>current.NO</NO>

<NO2>current.NO2</NO2>

<PM10>current.PM10</PM10>

<PM2\_5>current.PM2\_5</PM2\_5>

<PM10-2\_5>current.PM10\_2\_5</PM10-2\_5>

<PM10\_1hr>current.PM10\_1hr</PM10\_1hr>

<PM2\_5\_1hr>current.PM2\_5\_1hr</PM2\_5\_1hr>

<PM10-2\_5\_1hr>current.PM10\_2\_5\_1hr</PM10-2\_5\_1hr>

<PM10\_12hr>current.PM10\_12hr</PM10\_12hr>

<PM2\_5\_12hr>current.PM2\_5\_12hr</PM2\_5\_12hr>

<PM10-2\_5\_12hr>current.PM10\_2\_5\_12hr</PM10-2\_5\_12hr>

<PM10\_24hr>current.PM10\_24hr</PM10\_24hr>

<PM2\_5\_24hr>current.PM2\_5\_24hr</PM2\_5\_24hr>

<PM10-2\_5\_24hr>current.PM10\_2\_5\_24hr</PM10-2\_5\_24hr>

```
</lectura>  
  
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>  
  
<lectura>  
  
<fecha_hora>current.dateTime</fecha_hora>  
  
<outTemp>current.outTemp</outTemp>  
  
<inHumidity>current.inHumidity</inHumidity>  
  
<outHumidity>current.outHumidity</outHumidity>  
  
<barometer>current.barometer</barometer>  
  
<pressure>current.pressure</pressure>  
  
<altimeter>current.altimeter</altimeter>  
  
<inTemp>current.inTemp</inTemp>  
  
<windSpeed>current.winSpeed</windSpeed>  
  
<windDir>current.windDir</windDir>  
  
<windGust>current.outHumidity </windGust>  
  
<windGustDir>current.windGustDir</windGustDir>  
  
<rainRate>current.rainRate</rainRate>  
  
<rain>current.rain</rain>  
  
<dewpoint>current.dewpoint</dewpoint>  
  
<windchill>current.windchill</windchill>  
  
<heatindex>heatindex</heatindex>  
  
<ET>current.ET</ET>  
  
<radiation>current.radiation</radiation>  
  
<UV>current.UV</UV>  
  
</lectura>
```

## Anexo II

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>

<lectura>

<fecha\_hora> Condiciones actuales \$current.dateTime</fecha\_hora>

<O3>\$current.O3Ppm</O3>

<CO>\$current.COPpm</CO>

<SO2>\$current.SO2Ppm</SO2>

<NOx>\$current.NOxPpm</NOx>

<NO>\$current.NOPpm</NO>

<NO2>\$current.NO2Ppm</NO2>

<PM10>\$current.PM10</PM10>

<PM2\_5>\$current.PM2\_5</PM2\_5>

<PM10-2\_5>\$current.PM10\_2\_5</PM10-2\_5>

<PM10\_1hr>\$current.PM10\_1hr</PM10\_1hr>

<PM2\_5\_1hr>\$current.PM2\_5\_1hr</PM2\_5\_1hr>

<PM10-2\_5\_1hr>\$current.PM10\_2\_5\_1hr</PM10-2\_5\_1hr>

<PM10\_12hr>\$current.PM10\_12hr</PM10\_12hr>

<PM2\_5\_12hr>\$current.PM2\_5\_12hr</PM2\_5\_12hr>

<PM10-2\_5\_12hr>\$current.PM10\_2\_5\_12hr</PM10-2\_5\_12hr>

<PM10\_24hr>\$current.PM10\_24hr</PM10\_24hr>

<PM2\_5\_24hr>\$current.PM2\_5\_24hr</PM2\_5\_24hr>

<PM10-2\_5\_24hr>\$current.PM10\_2\_5\_24hr</PM10-2\_5\_24hr>

<O3-h>\$hour.O3Ppm.avg</O3-h>

<CO-h>\$hour.COPpm.avg</CO-h>

<SO2-h>\$hour.SO2Ppm.avg</SO2-h>

<NOx-h>\$hour.NOxPpm.avg</NOx-h>

<NO-h>\$hour.NOPpm.avg</NO-h>

<NO2-h>\$hour.NO2Ppm.avg</NO2-h>

<PM10-h>\$hour.PM10.avg</PM10-h>

<PM2\_5-h>\$hour.PM2\_5.avg</PM2\_5-h>

<PM10-2\_5-h>\$hour.PM10\_2\_5.avg</PM10-2\_5-h>

<PM10\_1hr-h>\$hour.PM10\_1hr.avg</PM10\_1hr-h>

<PM2\_5\_1hr-h>\$hour.PM2\_5\_1hr.avg</PM2\_5\_1hr-h>

<PM10-2\_5\_1hr-h>\$hour.PM10\_2\_5\_1hr.avg</PM10-2\_5\_1hr-h>

<PM10\_12hr-h>\$hour.PM10\_12hr.avg</PM10\_12hr-h>

<PM2\_5\_12hr-h>\$hour.PM2\_5\_12hr.avg</PM2\_5\_12hr-h>

<PM10-2\_5\_12hr-h>\$hour.PM10\_2\_5\_12hr.avg</PM10-2\_5\_12hr-h>

<PM10\_24hr-h>\$hour.PM10\_24hr.avg</PM10\_24hr-h>

<PM2\_5\_24hr-h>\$hour.PM2\_5\_24hr.avg</PM2\_5\_24hr-h>

<PM10-2\_5\_24hr-h>\$hour.PM10\_2\_5\_24hr.avg</PM10-2\_5\_24hr-h>

<O3-h-1>\$hour(\$hours\_ago=1).O3Ppm.avg</O3-h-1>

<CO-h-1>\$hour(\$hours\_ago=1).COPpm.avg</CO-h-1>

<SO2-h-1>\$hour(\$hours\_ago=1).SO2Ppm.avg</SO2-h-1>

<NOx-h-1>\$hour(\$hours\_ago=1).NOxPpm.avg</NOx-h-1>

<NO-h-1>\$hour(\$hours\_ago=1).NOPpm.avg</NO-h-1>

<NO2-h-1>\$hour(\$hours\_ago=1).NO2Ppm.avg</NO2-h-1>

<PM10-h-1>\$hour(\$hours\_ago=1).PM10.avg</PM10-h-1>

<PM2\_5-h-1>\$hour(\$hours\_ago=1).PM2\_5.avg</PM2\_5-h-1>

<PM10-2\_5-h-1>\$hour(\$hours\_ago=1).PM10\_2\_5.avg</PM10-2\_5-h-1>

<PM10\_1hr-h-1>\$hour(\$hours\_ago=1).PM10\_1hr.avg</PM10\_1hr-h-1>

<PM2\_5\_1hr-h-1>\$hour(\$hours\_ago=1).PM2\_5\_1hr.avg</PM2\_5\_1hr-h-1>

<PM10-2\_5\_1hr-h-1>\$hour(\$hours\_ago=1).PM10\_2\_5\_1hr.avg</PM10-2\_5\_1hr-h-1>

<PM10\_12hr-h-1>\$hour(\$hours\_ago=1).PM10\_12hr.avg</PM10\_12hr-h-1>

<PM2\_5\_12hr-h-1>\$hour(\$hours\_ago=1).PM2\_5\_12hr.avg</PM2\_5\_12hr-h-1>

<PM10-2\_5\_12hr-h-1>\$hour(\$hours\_ago=1).PM10\_2\_5\_12hr.avg</PM10-2\_5\_12hr-h-1>

<PM10\_24hr-h-1>\$hour(\$hours\_ago=1).PM10\_24hr.avg</PM10\_24hr-h-1>

<PM2\_5\_24hr-h-1>\$hour(\$hours\_ago=1).PM2\_5\_24hr.avg</PM2\_5\_24hr-h-1>

<PM10-2\_5\_24hr-h-1>\$hour(\$hours\_ago=1).PM10\_2\_5\_24hr.avg</PM10-2\_5\_24hr-h-1>

</lectura>

## Anexo III

6

Article

ECORFAN Journal-Republic of Nicaragua

June, 2019 Vol.5 No.8 6-14

### Air Quality Index for Ciudad Juárez based on a Community Collaboration Scheme

### Índice de Calidad de Aire para Ciudad Juárez basado en un Esquema de Colaboración Comunitaria

RODRÍGUEZ-GARCÍA, Nabile Edith †, VÁZQUEZ-GÁLVEZ, Felipe Adrián, ESTRADA-SALDAÑA, Fernando and HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, Israel\*

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

ID 1<sup>st</sup> Author: *Nabile Edith, Rodríguez-García* / ORC ID: 0000-0003-4535-3275, CVU CONACYT ID: 862063

ID 1<sup>st</sup> Coauthor: *Felipe Adrián Vázquez-Gálvez* / ORC ID: 0000-0003-0282-8023, Researcher ID Thomson: G-7554-2019, CVU CONACYT ID: 64472

ID 2<sup>nd</sup> Coauthor: *Fernando, Estrada-Saldaña* / ORC ID: 0000-0002-8236-0725, CVU CONACYT ID: 373553

ID 3<sup>rd</sup> Coauthor: *Israel, Hernández-Hernández* / ORC ID: 0000-0003-3807-565X, CVU CONACYT ID: 35286

DOI: 10.35429/EJRN.2019.8.5.6.14

Received April 02, 2019; Accepted May 30, 2019

#### Abstract

There is a global concern for the increase in health costs in a poor air quality relationship especially in urban environments. In Ciudad Juárez, Chihuahua, although it has a discontinuous monitoring of air quality, there is no air quality program that includes thresholds and contingencies for poor quality. This article proposes an environmental quality index based on the algorithms of other entities and climatic variables typical of the characteristics of the city of Ciudad Juárez and El Paso. The system is in the way of integrating the measurements of gases such as Ozone, CO and PM<sub>2.5</sub> as well as the meteorological variables of humidity, wind speed and temperature. To obtain the above, it is necessary to strategically install sensors in different areas of the city, extract their information, store them in databases, analyze the data and create a citizen warning mechanism when the value of the index can harm the health of people. Citizen participation is a fundamental element in the development of the project. This article shows the development of the environmental quality index for Ciudad Juárez and the results of the project.

Community-based monitoring, Air quality index, Climatology

#### Resumen

Existe una preocupación global por el incremento en los costos de salud en relación a una mala calidad del aire sobre todo en los entornos urbanos. En Ciudad Juárez, Chihuahua si bien se tiene un monitoreo discontinuo de la calidad del aire, no se cuenta con un programa de calidad de aire que contemple umbrales y contingencias por mala calidad. Este artículo propone un índice de calidad ambiental a partir de algoritmos desarrollados en otras entidades y variables climáticas propias de las características de la región de Ciudad Juárez y El Paso. El sistema atiende de manera integrada las mediciones de concentraciones de gases criterio como el Ozono, CO y PM<sub>2.5</sub> así como las variables meteorológicas de humedad, velocidad de viento y temperatura. Para lograr lo anterior es necesario instalar estratégicamente sensores en diferentes áreas de la Ciudad, extraer su información, almacenarlos en bases de datos, analizar los datos y crear un mecanismo de alerta ciudadana cuando el valor del índice puede perjudicar la salud de las personas. La participación ciudadana es un elemento primordial en el desarrollo del proyecto. Este artículo muestra el desarrollo del índice de calidad ambiental para Ciudad Juárez y los resultados obtenidos del proyecto.





Índice de calidad de aire, Climatología, Monitoreo comunitario

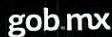
**Citation:** RODRÍGUEZ-GARCÍA, Nabile Edith, VÁZQUEZ-GÁLVEZ, Felipe Adrián, ESTRADA-SALDAÑA, Fernando and HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, Israel. Air Quality Index for Ciudad Juárez based on a Community Collaboration Scheme. ECORFAN Journal-Republic of Nicaragua. 2019 5-8: 6-14

\* Correspondence to Author (email: israel.hernandez@uacj.mx)

† Researcher contributing as first author.

Anexo IV

 Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial					
Solicitud de Patente de Invención o de Registro de Modelo de Utilidad o de Registro de Diseño Industrial					
<table border="1"> <tr> <td style="text-align: center;">                     Homoclave del formato                      MPI-00-009                      Fecha de publicación del formato en el DOF                      03 / 09 / 2019                 </td> <td style="text-align: center;">                     Folio y Fecha de Recepción                        INSTITUTO MEXICANO DE                      LA PROPIEDAD INDUSTRIAL                      Dirección Divisonal de Patentes                      OFICINA REGIONAL DEL NORTE                        Solicitud: MX/a/2019/015610                      Expediente: MX/a/2019/015610                      Fecha: 19/DIC/2019 Hora: 12:29:27                      Folio: MX/E/2019/087985 85682   </td> </tr> </table>	Homoclave del formato MPI-00-009 Fecha de publicación del formato en el DOF 03 / 09 / 2019	Folio y Fecha de Recepción  INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL Dirección Divisonal de Patentes OFICINA REGIONAL DEL NORTE  Solicitud: MX/a/2019/015610 Expediente: MX/a/2019/015610 Fecha: 19/DIC/2019 Hora: 12:29:27 Folio: MX/E/2019/087985 85682 	<table border="1"> <tr> <td style="text-align: center;">                     Datos generales de la solicitud                      Marcar con una X sólo una opción                 </td> </tr> <tr> <td> <input checked="" type="radio"/> Solicitud de Patente de Invención <input type="radio"/> PCT  <input type="radio"/> Solicitud de Registro de Modelo de Utilidad <input type="radio"/> PCT  <input type="radio"/> Solicitud de Registro de Diseño Industrial, especifique:  <input type="radio"/> Modelo Industrial <input type="radio"/> Dibujo Industrial                 </td> </tr> </table>	Datos generales de la solicitud Marcar con una X sólo una opción	<input checked="" type="radio"/> Solicitud de Patente de Invención <input type="radio"/> PCT <input type="radio"/> Solicitud de Registro de Modelo de Utilidad <input type="radio"/> PCT <input type="radio"/> Solicitud de Registro de Diseño Industrial, especifique: <input type="radio"/> Modelo Industrial <input type="radio"/> Dibujo Industrial
Homoclave del formato MPI-00-009 Fecha de publicación del formato en el DOF 03 / 09 / 2019	Folio y Fecha de Recepción  INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL Dirección Divisonal de Patentes OFICINA REGIONAL DEL NORTE  Solicitud: MX/a/2019/015610 Expediente: MX/a/2019/015610 Fecha: 19/DIC/2019 Hora: 12:29:27 Folio: MX/E/2019/087985 85682 				
Datos generales de la solicitud Marcar con una X sólo una opción					
<input checked="" type="radio"/> Solicitud de Patente de Invención <input type="radio"/> PCT <input type="radio"/> Solicitud de Registro de Modelo de Utilidad <input type="radio"/> PCT <input type="radio"/> Solicitud de Registro de Diseño Industrial, especifique: <input type="radio"/> Modelo Industrial <input type="radio"/> Dibujo Industrial					
Datos generales del o de los solicitante(s)					
<table border="1"> <tr> <td style="text-align: center;">                     Personas físicas                 </td> </tr> <tr> <td>                     CURP (opcional):                      Nombre(s):                      Primer apellido:                      Segundo apellido:                      Nacionalidad:                      Teléfono (lada, número, extensión):                      Correo electrónico:    <input type="radio"/> El solicitante es el inventor <input type="radio"/> Continúa en anexo                 </td> </tr> </table>	Personas físicas	CURP (opcional): Nombre(s): Primer apellido: Segundo apellido: Nacionalidad: Teléfono (lada, número, extensión): Correo electrónico:  <input type="radio"/> El solicitante es el inventor <input type="radio"/> Continúa en anexo	<table border="1"> <tr> <td style="text-align: center;">                     Personas morales                 </td> </tr> <tr> <td>                     RFC (opcional): UAC731101J75                      Denominación o razón social:                      Universidad Autónoma de                      Ciudad Juárez                      Nacionalidad: Mexicana                      Teléfono (lada, número, extensión): (656) 688-25-45                      Correo electrónico:                      isoto@uacj.mx  <input type="radio"/> Continúa en anexo                 </td> </tr> </table>	Personas morales	RFC (opcional): UAC731101J75 Denominación o razón social: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez Nacionalidad: Mexicana Teléfono (lada, número, extensión): (656) 688-25-45 Correo electrónico: isoto@uacj.mx <input type="radio"/> Continúa en anexo
Personas físicas					
CURP (opcional): Nombre(s): Primer apellido: Segundo apellido: Nacionalidad: Teléfono (lada, número, extensión): Correo electrónico:  <input type="radio"/> El solicitante es el inventor <input type="radio"/> Continúa en anexo					
Personas morales					
RFC (opcional): UAC731101J75 Denominación o razón social: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez Nacionalidad: Mexicana Teléfono (lada, número, extensión): (656) 688-25-45 Correo electrónico: isoto@uacj.mx <input type="radio"/> Continúa en anexo					
Domicilio del o de los solicitante(s)					
<table border="1"> <tr> <td>                     Código postal: 32370                      Calle: Av. Plutarco Elías Calles  <small>(Por ejemplo: Avenida Insurgentes Sur, Boulevard Avila Camacho, Calzada, Corredor, etc.)</small>                      Número exterior: 1210                      Colonia: Foniste Chamizal  <small>(Por ejemplo: Asignación Juárez, Residencial Hidalgo, Fraccionamiento, Sección, etc.)</small>                      Municipio o demarcación territorial: Juárez                      Entidad Federativa: Chihuahua                      País: México                 </td> <td>                     Número interior:                        Localidad: Juárez                      Entre calles (opcional):                      Calle posterior (opcional):                 </td> </tr> </table>	Código postal: 32370 Calle: Av. Plutarco Elías Calles <small>(Por ejemplo: Avenida Insurgentes Sur, Boulevard Avila Camacho, Calzada, Corredor, etc.)</small> Número exterior: 1210 Colonia: Foniste Chamizal <small>(Por ejemplo: Asignación Juárez, Residencial Hidalgo, Fraccionamiento, Sección, etc.)</small> Municipio o demarcación territorial: Juárez Entidad Federativa: Chihuahua País: México	Número interior:  Localidad: Juárez Entre calles (opcional): Calle posterior (opcional):			
Código postal: 32370 Calle: Av. Plutarco Elías Calles <small>(Por ejemplo: Avenida Insurgentes Sur, Boulevard Avila Camacho, Calzada, Corredor, etc.)</small> Número exterior: 1210 Colonia: Foniste Chamizal <small>(Por ejemplo: Asignación Juárez, Residencial Hidalgo, Fraccionamiento, Sección, etc.)</small> Municipio o demarcación territorial: Juárez Entidad Federativa: Chihuahua País: México	Número interior:  Localidad: Juárez Entre calles (opcional): Calle posterior (opcional):				
Datos generales del o de los inventor(es) o diseñador(es)					
<table border="1"> <tr> <td>                     CURP (opcional):                      Nombre(s): Felipe Adrián                      Primer apellido: Vázquez                      Segundo apellido: Gálvez                      Nacionalidad: Mexicana                 </td> </tr> </table>		CURP (opcional): Nombre(s): Felipe Adrián Primer apellido: Vázquez Segundo apellido: Gálvez Nacionalidad: Mexicana			
CURP (opcional): Nombre(s): Felipe Adrián Primer apellido: Vázquez Segundo apellido: Gálvez Nacionalidad: Mexicana					

		
Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial		
Domicilio del o de los inventor(es) o diseñador(es)		
Código postal: 32580 Calle: <small>(Por ejemplo: Avenida Insurgentes Sur, Boulevard Avila Camacho, Calzada, Corredor, etc.)</small> Medanos Poniente Número exterior: 2103 Colonia: <small>(Por ejemplo: Ampliación Juárez, Residencial Hidalgo, Fraccionamiento, Sección, etc.)</small> Fracc. El Cid CP. Municipio o demarcación territorial: Juárez Entidad Federativa: Chihuahua País: México	Número interior: Localidad: Juárez Entre calles (opcional): Calle posterior (opcional):	
Datos generales del o de los apoderado(s)		
CURP (opcional): Nombre(s): René Javier Primer apellido: Soto Segundo apellido: Cavazos Correo electrónico: rsoto@uacj.mx	Registro General de Poderes (opcional): RFC (opcional): Teléfono (lada, número, extensión): (656) 688 2200 ext. 2565	<input type="radio"/> Continúa en anexo
Domicilio para oír y recibir notificaciones		
Código postal: 32310 Calle: <small>(Por ejemplo: Avenida Insurgentes Sur, Boulevard Avila Camacho, Calzada, Corredor, etc.)</small> Av. Plutarco Elias Calles Número exterior: 1210 Colonia: <small>(Por ejemplo: Ampliación Juárez, Residencial Hidalgo, Fraccionamiento, Sección, etc.)</small> Foviste Chamizal Municipio o demarcación territorial: Juárez Entidad Federativa: Chihuahua País: México	Número interior: Localidad: Juárez Entre calles (opcional): Calle posterior (opcional):	
Datos generales de los autorizados para oír y recibir notificaciones		
Nombre(s): Ramón Mario Primer apellido: López Segundo apellido: Avila CURP (opcional):	<input type="radio"/> Continúa en anexo	
Datos de la solicitud		
Denominación o título de la Invención, Modelo de Utilidad o Diseño Industrial: SISTEMA DE MONITOREO AMBIENTAL DE BAJO COSTO PARA DETERMINAR LA CALIDAD DEL AIRE		
Fecha de divulgación previa (DD / MM / AAAA):	/ /	
Divisional de la solicitud		
No. Expediente en trámite: Fecha de presentación (DD / MM / AAAA):	Figura jurídica: / /	
PCT		
No. de solicitud internacional: Fecha de presentación internacional (DD / MM / AAAA):	/ /	
Prioridad o prioridades reclamada(s)		
País (oficina) de origen:	Fecha de presentación (DD/MM/AAA):	Número de serie:
	/ /	<input type="radio"/> Continúa en anexo
Bajo protesta de decir verdad, manifiesto que los datos asentados en esta solicitud son ciertos.		

**gob.mx**

**Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial**

**Documentos anexos (validación)**

- Comprobante de pago. Original.
  - Documento que acredita la personalidad del mandatario, en su caso. Original o copia certificada.
  - Constancia de inscripción en el Registro General de Poderes del IMPI, en su caso. Copia.
  - Documento que acredita el carácter del causahabiente o la cesión de derechos. Original o copia certificada.
  - Documento(s) comprobatorio(s) de divulgación previa, en su caso. Original o copia certificada.
  - Documento(s) de prioridad(es), en su caso. Copia certificada.
  - Escrito solicitando el descuento del 50%, cuando corresponda. Original.
  - Traducción de los documentos presentados en idioma distinto al español, en su caso. Original.
  - Legalización o apostilla de los documentos anexos provenientes del extranjero, en su caso. Original.
  - Descripción y reivindicación(es). Dos ejemplares.
  - Resumen de la descripción de la invención. Dos ejemplares.
  - Dibujos(s), en su caso. Dos ejemplares.
  - Constancia de depósito de material biológico. Original o copia certificada.
  - Listado de secuencias. Medio de almacenamiento de datos y un ejemplar impreso o dos ejemplares impresos.
  - Hoja adicional complementaria "Datos generales del o de los solicitantes" / "Datos generales del o de los inventores o diseñadores o creadores", en su caso. Original
  - Hoja adicional complementaria "Datos generales del o de los apoderados" / "Autorizados para oír y recibir notificaciones", en su caso. Original.
  - Hoja adicional complementaria al punto "Divisional de la solicitud", en su caso. Original.
  - Hoja adicional complementaria al punto "Prioridad o prioridades reclamadas", en su caso. Original.
- Número total de hojas recibidas \_\_\_\_\_

**Términos y condiciones**

**Información sobre el tratamiento de datos personales.**

Los datos personales que proporcione al presentar la solicitud y con motivo del trámite de la misma, son recabados por el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI) a través de la Dirección Divisional de Patentes (DDP) con la finalidad de dar trámite a la solicitud, determinar el cumplimiento de los requisitos exigidos por la normatividad nacional e internacional aplicable, contactar al solicitante, su representante y autorizados en relación al trámite; notificar actos y resoluciones que así lo requieran, y en su caso, publicar la solicitud y el Título respectivo, en términos de la Ley de la Propiedad Industrial (LPI) y demás disposiciones aplicables, para facilitar información al público y el ejercicio de derechos. La DDP no realiza tratamiento de datos que requieran la autorización expresa, de tener lugar el mismo, se recabará consentimiento expreso, que podrá ser revocado mediante solicitud ante la Unidad de Transparencia. El aviso de privacidad integral puede ser consultado en <https://www.gob.mx/mpi> o en las instalaciones del IMPI. (Fecha de actualización: 10/05/2018).

Los interesados podrán ejercer sus derechos de acceso y corrección ante la Dirección Divisional de Patentes, con domicilio en Arenal #550, Pueblo Santa María Tepepan, Xochimilco, C.P. 16020, Ciudad de México. Teléfono: 55-53-34-07-00 en la Ciudad de México y Área Metropolitana, del interior de la República sin costo para el usuario 800-570-59-90, extensiones 10098, 10030 y 10026. Correo electrónico: [dp@mpi.gob.mx](mailto:dp@mpi.gob.mx)

**Presentación y notificaciones.**

El horario para la recepción de documentos, atención al público y consulta de expedientes en las distintas oficinas del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial, durante los días que éste considere como hábiles, será de las 8:45 a las 16:00 horas.

La solicitud y sus anexos deben presentarse en la Coordinación Departamental de Recepción y Control de Documentos de la Dirección Divisional de Patentes de este Instituto, con domicilio en Arenal #550, Planta Baja, Pueblo Santa María Tepepan, Xochimilco, C.P. 16020, Ciudad de México. También puede ser presentada en las Delegaciones o Subdelegaciones Federales de la Secretaría de Economía.

También podrá remitir la solicitud mediante correo certificado con acuse de recibo; servicios de mensajería, paquetería u otros equivalentes o bien, a través del Buzón en Línea, en los términos previstos en el artículo 5° BIS del Reglamento de la Ley de la Propiedad Industrial y el Título Cuarto del Acuerdo que establece las reglas para la presentación de solicitudes ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial.

Las resoluciones, requerimientos y demás actos del Instituto se notificarán, una vez publicada la solicitud a través de la Gaceta de la Propiedad Industrial, previa a esta publicación las notificaciones se realizarán por correo certificado con acuse de recibo al domicilio que hubiesen señalado los solicitantes para tal efecto.

**Información del trámite.**

Trámite al que corresponde la forma: Solicitud de patente nacional; Solicitud de patente de modelo de utilidad nacional; Solicitud de registro de diseño industrial. Número de Registro Federal de Trámites y Servicios: IMPI-03-001 (A o B), IMPI-03-002 (A o B), IMPI-03-003 (A o B).

**Fundamento jurídico-administrativo.**

Ley de la Propiedad Industrial.  
Reglamento de la Ley de la Propiedad Industrial.  
Acuerdo que establece las reglas para la presentación de solicitudes ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial.  
Acuerdo por el que se da a conocer la tarifa por los servicios que presta el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial.  
Acuerdo por el que se da a conocer la lista de instituciones reconocidas por el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial para el depósito de material biológico.  
Acuerdo por el que se establecen los plazos de respuesta a diversos trámites ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial.  
Acuerdo por el que se establece el horario de atención al público en el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial.  
Acuerdo por el que se establecen lineamientos en materia de servicios electrónicos del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial, en los trámites que se indican.

**Tiempo de respuesta.**

El plazo máximo de primer respuesta es de 3 meses. No aplica la positiva ni la negativa ficta.

**Quejas y denuncias.**

gob.mx

Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial

Instrucciones de llenado

Esta forma oficial es de distribución gratuita, se autoriza su libre reproducción, siempre que se ajusten al formato oficial y a sus características de impresión.

La solicitud debe llenarse en idioma español, por cualquier medio legible, manteniendo el mismo medio de llenado de inicio a fin, sin tachaduras ni enmendaduras.

La solicitud debe ser presentada por duplicado, impresa a doble cara (anverso y reverso) en una hoja de papel blanco, tamaño oficio, conforme al número de páginas que la integran y firmada autógrafamente en ambos ejemplares.

**Folio y Fecha de recepción.** Para uso exclusivo del IMPI.

**Datos generales de la solicitud.** En el formato de solicitud señale en el círculo correspondiente el tipo de solicitud que desea presentar: solicitud de Patente de Invención, de Registro de Modelo de Utilidad o de Registro de Diseño Industrial (deberá señalar si se trata de un Modelo Industrial o un Dibujo Industrial).

**Datos generales de la solicitud.** En el rubro PCT deberá indicar cuando corresponda.

**Datos generales del o de los solicitante(s).** Anote en el recuadro correspondiente los datos completos de la(s) persona(s) física(s) o moral(es) que será(n) solicitante(s) de la Patente de Invención, Registro de Modelo de Utilidad o Registro de Diseño Industrial.

En el rubro **Correo Electrónico**, anote en este recuadro una dirección de correo electrónico, si desea que el Instituto envíe a éste, lo avisos de las notificaciones efectuadas en la Gaceta de la Propiedad Industrial respecto del presente trámite, tome en cuenta que el artículo 183 de la Ley de la Propiedad Industrial, establece que las notificaciones se realizarán a través de la Gaceta y estas surtirán efectos en la fecha que en la propia Gaceta lo indique o, en su defecto, al día hábil siguiente de aquel en que se ponga en circulación.

En el campo **CURP** (Clave Única de Registro de Población), puede requisitarla únicamente si se trata de una persona física nacional.

En caso de que los solicitantes sean 2 o más personas físicas o morales, marque el recuadro Continúa en anexo y requisiite la Hoja adicional complementaria "Datos generales del o de los solicitantes" / "Datos generales del o de los inventores o diseñadores o creadores", tantas veces sea necesario.

En el rubro **Personas morales, el RFC** (Registro Federal de Contribuyentes) puede requisitarlo únicamente si se trata de una persona moral nacional.

**Domicilio del o de los solicitante(s).** Anote en el recuadro correspondiente los datos completos del domicilio del solicitante. El campo **Entre calles** es opcional.

**Datos generales del o de los inventor(es) o diseñador(es).** Anote en el recuadro correspondiente los datos completos del o los inventor(es) o diseñador(es) (estos siempre deberán ser personas físicas).

En caso de que los inventores o diseñadores sean 2 o más personas físicas, marque el recuadro Continúa en anexo y requisiite la Hoja adicional complementaria "Datos generales del o de los solicitantes" / "Datos generales del o de los inventores o diseñadores o creadores", tantas veces sea necesario. Tratándose de solicitudes de Registro de Diseño Industrial se deberá hacer referencia a diseñadores.

**Domicilio del o de los inventor(es) o diseñador(es).** Anote en el recuadro correspondiente los datos completos del domicilio del o de los inventor(es) o diseñador(es). El campo **Entre calles** es opcional.

**Datos generales del o de los apoderado(s).** Anote en el recuadro correspondiente los datos completos del o de los apoderado(s).

En caso de que los apoderados sean 2 o más personas físicas, marque el recuadro Continúa en anexo y requisiite la Hoja adicional complementaria "Datos generales del o de los apoderados" / "Autorizados para oír y recibir notificaciones", tantas veces sea necesario. El correo electrónico que señale será al que se enviarán los avisos de las notificaciones efectuadas en la Gaceta de la Propiedad Industrial respecto del presente trámite, en caso de no requisitar la casilla el aviso se enviará al señalado en los "datos generales del o de los solicitantes(s)".

**Domicilio para oír y recibir notificaciones.** Recuerde que conforme al Reglamento de la Ley de la Propiedad Industrial, este domicilio debe ubicarse dentro del territorio nacional. Anote en el recuadro correspondiente los datos completos del domicilio para oír y recibir notificaciones, conforme a las instrucciones para el domicilio contenidas en esta forma.

**Datos generales de los autorizados para oír y recibir notificaciones.** Anote en el recuadro correspondiente los datos completos de los autorizados.

**Datos de la solicitud:** Proporcione la información necesaria.

**Denominación o título de la Invención, Modelo de Utilidad o Diseño Industrial.** La denominación o título debe ser connotativa de la invención o diseño.

**Fecha de divulgación previa.** Si la invención fue divulgada dentro de los doce meses previos a la fecha de presentación de la solicitud, indique la fecha de divulgación y anexe la información comprobatoria que marca el Reglamento de la Ley de la Propiedad Industrial.

**Divisional de la solicitud.** En una solicitud que sea divisional de una solicitud previamente presentada, deberá proporcionar el número de expediente, la figura jurídica y la fecha de presentación de dicha solicitud. En caso de que la solicitud divisional sean 2 o más deberá señalar los datos del punto "Divisional de la solicitud" en escrito libre anexo.

**Prioridad reclamada.** El derecho de reclamar la prioridad sólo tiene lugar si la presente solicitud ha sido previamente presentada en algún país miembro del Convenio de París para la Protección de la Propiedad Industrial, en su caso, deberá proporcionar los siguientes datos:

-País donde se presentó por primera vez la solicitud, fecha y número asignado a la solicitud en dicho país. En caso de que se reclamen 2 o más prioridades, deberá señalar los datos del punto "Prioridad o Prioridades reclamada(s)" en escrito libre anexo.

**Nombre y Firma del solicitante o su apoderado.** Anote el nombre completo de la persona que firma la solicitud, en caso de que se trate de una persona moral, indique el nombre de la persona física que está actuando en su representación y firme la solicitud. Si el poder debe ejercerse de forma conjunta por varios apoderados, indique los nombres de todos ellos e incluya su firma.

**gob mx**

Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial

Hoja adicional complementaria "Datos generales del o de los solicitantes"/  
"Datos generales del o de los inventores o diseñadores o creadores"  
(Use esta hoja en caso de que la solicitud sea presentada por dos o más personas físicas o morales)

Datos generales del solicitante o inventor o diseñador o creador

Datos generales del solicitante  Datos generales del inventor o diseñador o creador

Personas físicas	Personas morales
CURP (opcional): Nombre(s): Nabile Edith Primer apellido: Rodríguez Segundo apellido: García Nacionalidad: Mexicana Teléfono (lada, número, extensión): 6566882100	RFC (opcional): Denominación o razón social:  Nacionalidad: Teléfono (lada, número, extensión):

Domicilio del solicitante o inventor o diseñador o creador

Código postal: 32472  
Calle: Cerrada de Fraga  
(Por ejemplo: Avenida Insurgentes Sur, Boulevard Avda Carracho, Calzada, Corredor, etc.)  
Número exterior: 10404  
Número interior:  
Colonia: Jardines de Aragón  
(Por ejemplo: Ampliación Juárez, Residencial Hidalgo, Fraccionamiento, Sección, etc.)  
Municipio o demarcación territorial: Ciudad Juárez  
Localidad: Ciudad Juárez  
Entidad Federativa: Chihuahua  
Entre calles (opcional):  
País: México  
Calle posterior (opcional):

Datos generales del solicitante o inventor o diseñador o creador

Datos generales del solicitante  Datos generales del inventor o diseñador o creador

Personas físicas	Personas morales
CURP (opcional): Nombre(s): Alicia Margarita Primer apellido: Jiménez Segundo apellido: Galina Nacionalidad: Mexicana Teléfono (lada, número, extensión): 6566882100	RFC (opcional): Denominación o razón social:  Nacionalidad: Teléfono (lada, número, extensión):

Domicilio del solicitante o inventor o diseñador o creador

Código postal: 32472  
Calle: Cerrada de Granada  
(Por ejemplo: Avenida Insurgentes Sur, Boulevard Avda Carracho, Calzada, Corredor, etc.)  
Número exterior: 10414-13  
Número interior:  
Colonia: Jardines de Aragón II

**gob mx**

Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial

#### Instrucciones de llenado

Esta forma oficial es de distribución gratuita, se autoriza su libre reproducción, siempre que se ajusten al formato oficial y a sus características de impresión.

La información debe llenarse en idioma español, por cualquier medio legible manteniendo el mismo medio de llenado de inicio a fin, sin tachaduras ni enmendaduras.

La hoja adicional complementaria debe ser presentada por duplicado, impresa a doble cara (anverso y reverso) en una hoja de papel blanco, tamaño oficio.

**Datos generales del solicitante o inventor o diseñador o creador.** En la hoja adicional señale en el círculo correspondiente el tipo de datos generales que desea presentar: datos generales del solicitante o datos generales del inventor o diseñador o creador.

**Datos generales del solicitante.** Anote en el recuadro correspondiente los datos completos de la persona física o moral que será solicitante de la Patente de invención, Registro de Modelo de Utilidad, Registro de Diseño Industrial o Registro de Esquema de Trazado de Circuito Integrado.

En el campo **CURP** (Clave Única de Registro de Población), puede requisitarla únicamente si se trata de una persona física nacional.

En el rubro **Personas morales**, el **RFC** (Registro Federal de Contribuyentes) puede requisitarlo únicamente si se trata de una persona moral nacional.

**Domicilio del solicitante.** Anote en el recuadro correspondiente los datos completos del domicilio del solicitante. El campo **Entre calles** es opcional.

**Datos generales del inventor o diseñador o creador.** Anote en el recuadro correspondiente los datos completos del inventor o diseñador o creador (este siempre deberá ser persona física).

**Domicilio del inventor o diseñador o creador.** Anote en el recuadro correspondiente los datos completos del domicilio del inventor o diseñador o creador. El campo **Entre calles** es opcional. Podrá requisitar la hoja adicional complementaria tantas veces sea necesaria.

<b>gob mx</b>					
Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial					
Hoja adicional complementaria "Datos generales del o de los solicitantes"/ "Datos generales del o de los inventores o diseñadores o creadores" (Use esta hoja en caso de que la solicitud sea presentada por dos o más personas físicas o morales)					
Datos generales del solicitante o inventor o diseñador o creador					
<input type="radio"/> Datos generales del solicitante <input checked="" type="radio"/> Datos generales del inventor o diseñador o creador					
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <th style="text-align: center;">Personas físicas</th> </tr> <tr> <td>                     CURP (opcional):                      Nombre(s): José Ángel                      Primer apellido: Nieves                      Segundo apellido: Talavera                      Nacionalidad: Mexicana                      Teléfono (lada, número, extensión):                      6566882100                 </td> </tr> </table>	Personas físicas	CURP (opcional): Nombre(s): José Ángel Primer apellido: Nieves Segundo apellido: Talavera Nacionalidad: Mexicana Teléfono (lada, número, extensión): 6566882100	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <th style="text-align: center;">Personas morales</th> </tr> <tr> <td>                     RFC (opcional):                      Denominación o razón social:                       Nacionalidad:                      Teléfono (lada, número, extensión):                 </td> </tr> </table>	Personas morales	RFC (opcional): Denominación o razón social:  Nacionalidad: Teléfono (lada, número, extensión):
Personas físicas					
CURP (opcional): Nombre(s): José Ángel Primer apellido: Nieves Segundo apellido: Talavera Nacionalidad: Mexicana Teléfono (lada, número, extensión): 6566882100					
Personas morales					
RFC (opcional): Denominación o razón social:  Nacionalidad: Teléfono (lada, número, extensión):					
Domicilio del solicitante o inventor o diseñador o creador					
Código postal: 32599 Calle: Pino Piñonero <small>(Por ejemplo: Avenida Insurgentes Sur, Boulevard Avila Camacho, Calzada, Corredor, etc.)</small> Número exterior: 655 Colonia: Bosque Bonito <small>(Por ejemplo: Ampliación Juárez, Residencial Hidalgo, Fraccionamiento, Sección, etc.)</small> Municipio o demarcación territorial: Ciudad Juárez Entidad Federativa: Chihuahua País: México					
Datos generales del solicitante o inventor o diseñador o creador					
<input type="radio"/> Datos generales del solicitante <input checked="" type="radio"/> Datos generales del inventor o diseñador o creador					
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <th style="text-align: center;">Personas físicas</th> </tr> <tr> <td>                     CURP (opcional):                      Nombre(s): Frida Yael                      Primer apellido: Toquinto                      Segundo apellido: Manjarrez                      Nacionalidad: Mexicana                      Teléfono (lada, número, extensión):                      6566882100                 </td> </tr> </table>	Personas físicas	CURP (opcional): Nombre(s): Frida Yael Primer apellido: Toquinto Segundo apellido: Manjarrez Nacionalidad: Mexicana Teléfono (lada, número, extensión): 6566882100	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <th style="text-align: center;">Personas morales</th> </tr> <tr> <td>                     RFC (opcional):                      Denominación o razón social:                       Nacionalidad:                      Teléfono (lada, número, extensión):                 </td> </tr> </table>	Personas morales	RFC (opcional): Denominación o razón social:  Nacionalidad: Teléfono (lada, número, extensión):
Personas físicas					
CURP (opcional): Nombre(s): Frida Yael Primer apellido: Toquinto Segundo apellido: Manjarrez Nacionalidad: Mexicana Teléfono (lada, número, extensión): 6566882100					
Personas morales					
RFC (opcional): Denominación o razón social:  Nacionalidad: Teléfono (lada, número, extensión):					
Domicilio del solicitante o inventor o diseñador o creador					
Código postal: 32575 Calle: San Gabriel <small>(Por ejemplo: Avenida Insurgentes Sur, Boulevard Avila Camacho, Calzada, Corredor, etc.)</small> Número exterior: 760 Colonia: Valle de Santiago					

**gob mx**

Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial

**Instrucciones de llenado**

Esta forma oficial es de distribución gratuita, se autoriza su libre reproducción, siempre que se ajusten al formato oficial y a sus características de impresión.

La información debe llenarse en idioma español, por cualquier medio legible manteniendo el mismo medio de llenado de inicio a fin, sin tachaduras ni enmendaduras.

La hoja adicional complementaria debe ser presentada por duplicado, impresa a doble cara (anverso y reverso) en una hoja de papel blanco, tamaño oficio.

**Datos generales del solicitante o inventor o diseñador o creador.** En la hoja adicional señale en el círculo correspondiente el tipo de datos generales que desea presentar: datos generales del solicitante o datos generales del inventor o diseñador o creador.

**Datos generales del solicitante.** Anote en el recuadro correspondiente los datos completos de la persona física o moral que será solicitante de la Patente de invención, Registro de Modelo de Utilidad, Registro de Diseño Industrial o Registro de Esquema de Trazado de Circuito Integrado.

En el campo **CURP** (Clave Única de Registro de Población), puede requisitarla únicamente si se trata de una persona física nacional.

En el rubro **Personas morales**, el **RFC** (Registro Federal de Contribuyentes) puede requisitarlo únicamente si se trata de una persona moral nacional.

**Domicilio del solicitante.** Anote en el recuadro correspondiente los datos completos del domicilio del solicitante. El campo **Entre calles** es opcional.

**Datos generales del inventor o diseñador o creador.** Anote en el recuadro correspondiente los datos completos del inventor o diseñador o creador (este siempre deberá ser persona física).

**Domicilio del inventor o diseñador o creador.** Anote en el recuadro correspondiente los datos completos del domicilio del inventor o diseñador o creador. El campo **Entre calles** es opcional. Podrá requisitar la hoja adicional complementaria tantas veces sea necesaria.

**gob.mx**

**Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial**

**Hoja adicional complementaria "Datos generales del o de los solicitantes"/**  
**"Datos generales del o de los inventores o diseñadores o creadores"**  
 (Use esta hoja en caso de que la solicitud sea presentada por dos o más personas físicas o morales)

**Datos generales del solicitante o inventor o diseñador o creador**

Datos generales del solicitante
 Datos generales del inventor o diseñador o creador

**Personas físicas**

CURP (opcional):

Nombre(s): Jesús Israel

Primer apellido: Herández

Segundo apellido: Herández

Nacionalidad: Mexicana

Teléfono (lada, número, extensión):  
6566882100

**Personas morales**

RFC (opcional):

Denominación o razón social:

Nacionalidad:

Teléfono (lada, número, extensión):

**Domicilio del solicitante o inventor o diseñador o creador**

Código postal: 32370

Calle: Cataratas del Niagara

(Por ejemplo: Avenida Insurgentes Sur, Boulevard Avila Camacho, Calzada, Corredor, etc.)

Número exterior: 6036

Colonia: La Fuente

(Por ejemplo: Ampliación Juárez, Residencial Hidalgo, Fraccionamiento, Sección, etc.)

Municipio o demarcación territorial: Ciudad Juárez

Entidad Federativa: Chihuahua

País: México

Número interior:

Localidad: Ciudad Juárez

Entre calles (opcional):

Calle posterior (opcional):

**Datos generales del solicitante o inventor o diseñador o creador**

Datos generales del solicitante
 Datos generales del inventor o diseñador o creador

**Personas físicas**

CURP (opcional):

Nombre(s): José Fernando

Primer apellido: Estrada

Segundo apellido: Saldaña

Nacionalidad: Mexicana

Teléfono (lada, número, extensión):  
6566882100

**Personas morales**

RFC (opcional):

Denominación o razón social:

Nacionalidad:

Teléfono (lada, número, extensión):

**Domicilio del solicitante o inventor o diseñador o creador**

Código postal: 32040

Calle: Cerrada Cuatro Estaciones

(Por ejemplo: Avenida Insurgentes Sur, Boulevard Avila Camacho, Calzada, Corredor, etc.)

Número exterior: 1651-14

Colonia: Cerrada del Sol II

Número interior:

**gob mx**

Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial

#### Instrucciones de llenado

Esta forma oficial es de distribución gratuita, se autoriza su libre reproducción, siempre que se ajusten al formato oficial y a sus características de impresión.

La información debe llenarse en idioma español, por cualquier medio legible manteniendo el mismo medio de llenado de inicio a fin, sin tachaduras ni enmendaduras.

La hoja adicional complementaria debe ser presentada por duplicado, impresa a doble cara (anverso y reverso) en una hoja de papel blanco, tamaño oficio.

**Datos generales del solicitante o inventor o diseñador o creador.** En la hoja adicional señale en el círculo correspondiente el tipo de datos generales que desea presentar: datos generales del solicitante o datos generales del inventor o diseñador o creador.

**Datos generales del solicitante.** Anote en el recuadro correspondiente los datos completos de la persona física o moral que será solicitante de la Patente de invención, Registro de Modelo de Utilidad, Registro de Diseño Industrial o Registro de Esquema de Trazado de Circuito Integrado.

En el campo **CURP** (Clave Única de Registro de Población), puede requisitarla únicamente si se trata de una persona física nacional.

En el rubro Personas morales, el **RFC** (Registro Federal de Contribuyentes) puede requisitarlo únicamente si se trata de una persona moral nacional.

**Domicilio del solicitante.** Anote en el recuadro correspondiente los datos completos del domicilio del solicitante. El campo **Entre calles** es opcional.

**Datos generales del inventor o diseñador o creador.** Anote en el recuadro correspondiente los datos completos del inventor o diseñador o creador (este siempre deberá ser persona física).

**Domicilio del inventor o diseñador o creador.** Anote en el recuadro correspondiente los datos completos del domicilio del inventor o diseñador o creador. El campo **Entre calles** es opcional. Podrá requisitar la hoja adicional complementaria tantas veces sea necesaria.

NUMERO DE FOLIO  
10044028834



10044028834



PERIFÉRICO SUR 3106, COL. JARDINES DEL PEDREGAL DEL ALVARO OBREGON, CP 01900, CIUDAD DE MEXICO  
RFC: IMP-931211-NE

REGIMEN FISCAL(03): PERSONAS MORALES CON FINES NO LUCRATIVAS

CONCEPTO	CANTIDAD U M	ARTICULO	PRECIO UNITARIO	IMPORTE TARIFA	DESCUENTO
Por la presentación de una solicitud de patente y sus anexos de hasta 30 hojas en términos del artículo 43 de la Ley, así como por los servicios a que se refiere el artículo 38 del mismo ordenamiento.	1 Servicio	1a	\$4,550.00	\$2,275.00	\$2,275.00
<p><b>INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL</b> Dirección Divisional de Patentes</p> <p>OFICINA REGIONAL DEL NORTE Expediente: <b>MX/a/2019/015610</b> Fecha: 19/DIC/2019 Hora: 12:29:27 Paso Asociado a la Solicitud Folio: <b>MX/E/2019/087985</b> FEPS: <b>10044028834</b></p>					
<p><b>APLICA DESCUENTO - INSTITUCIONES EDUCATIVAS</b></p> <p>ANOTACIONES :</p> <p>--- DOS MIL SEISCIENTOS TREINTA Y NUEVE PESOS 00/100 MN ---</p>				<p>TOTAL TARIFA \$2,275.00</p> <p>DESCUENTO \$2,275.00</p> <p>I.V.A \$364.00</p> <p><b>SUBTOTAL \$2,639.00</b></p> <p>ACTUALIZACIÓN \$0.00</p> <p>RECARGOS \$0.00</p> <p><b>TOTAL A PAGAR \$2,639.00</b></p>	

Este documento es una representación impresa de un CFDI

**Sello digital del CFDI:**

D/Vi1Qo2Y6vjFycRLUGaL+bT+ZkNAU5E2zNHwux9hY/ND75xjzIWScf6vrPExD0uxwHSp8Xa5U9pv+ZiSiHJiDuXT+5RHnysJi9zPKi7Y/thGLbtHrmBvXiOQOpecO982ET+viQF1yOO0qMaXcTkDaO8MU10/1p88zrUL1+Hnncw+Nmeeu6c+H1pzr/R3nh9SFve33VnSFjm8RUBiJhrZ61e6qLr1v7G3VNX50v+Fym95EEDv/E0NIHVCHaCYet3qBfb8AeriUKZynr/AEkbKRpiUikGu4Sgp1HJ4wonn+zjMwsFNh+eFJHQB/bq5aHYkR1OZEqXzlsrpqkA==

**Sello del SAT:**

UdTnrR4K3NAIzbbidaUmu2y7ia/l79edguazChzxOlah59GdLXZxDIB9+hEvr8yX131S5fUWwuCqEk+oEEMJ029tdLRpJi8YLBx7J2lfnlveP11U8a/iF7MDCI7G8h+4MV9CpXhVVG5nhSfTISjZCFAdK8d23A/tkcZwuxrZYLewWPjgN+eh+7VJMKN3ta6TIUFLKO/OBCBXNpT4X2P2zGf7g0zL3EJYNPNzgnXAYcX7AsCwCigC5YWR3T3XPZmHaE46hY6aiXqcASyN7J8HNu8JhHbNnPs4HepUVRooYGw/2L+nOdcE35qAZWxaiAFtu8hAE05IYA==

**Cadena original:**

||1.1|8D08C572-6B9C-4717-BB6E-938D5B0FA0C8|2019-12-03T10:46:44|D/Vi1Qo2Y6vjFycRLUGaL+bT+ZkNAU5E2zNHwux9hY/ND75xjzIWScf6vrPExD0uxwHSp8Xa5U9pv+ZiSiHJiDuXT+5RHnysJi9zPKi7Y/thGLbtHrmBvXiOQOpecO982ET+viQF1yOO0qMaXcTkDaO8MU10/1p88zrUL1+Hnncw+Nmeeu6c+H1pzr/R3nh9SFve33VnSFjm8RUBiJhrZ61e6qLr1v7G3VNX50v+Fym95EEDv/E0NIHVCHaCYet3qBfb8AeriUKZynr/AEkbKRpiUikGu4Sgp1HJ4wonn+zjMwsFNh+eFJHQB/bq5aHYkR1OZEqXzlsrpqkA==|00001000000404594081||



UUID: 8D08C572-6B9C-4717-BB6E-938D5B0FA0C8

No. de certificado CSD: 00001000000401943067

No. de certificado SAT: 00001000000404594081

Fecha de certificación: 2019-12-03T10:46:44

Lugar y fecha de expedición: 01900; 2019-12-03T10:41:43

Forma de pago: 03 Transferencia electrónica de fondos

Método de pago: Pago en una sola exhibición

**DATOS DEL TITULAR O SOLICITANTE**

NOMBRE: INSTITUTO DE INNOVACION Y COMPETITIVIDAD

DIRECCIÓN: Calle. CUAUHTÉMOC No.Ext. 1800 No.Int. 3, Col. CUAUHTÉMOC, CP.31020, CHIHUAHUA, CHIHUAHUA, MX

RFC: IIC141116MR1

Uso de CFDI: G03 Tipo Comprobante: I

BANCO: BANCOMER

CONVENIO: 0662852

FECHA DE OPERACION: 03/12/2019 09:54:13

FOLIO INTERNET: 1158384370000000004806131

NF009355957