

PROYECTO DE FRONTERA 2020

INFORME FINAL



RED CLIMATOLÓGICA Y DE CALIDAD
DEL AIRE UACJ

UACJ

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE CIUDAD JUÁREZ

NOMBRE DEL SUBADJUDICATORIO/CONTRATISTA:

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

TÍTULO DEL PROYECTO

Red Climatológica y de Calidad del Aire UACJ

FECHA DE INICIO

16 de abril de 2018

DURACIÓN TOTAL DEL PROYECTO

15 meses

FECHA DEL INFORME FINAL

16 de septiembre de 2019

DIRECTOR DEL PROYECTO

Dr. Felipe Adrián Vázquez Galvez

COORDINADORES TÉCNICOS

Mto. Fernando Estrada Saldaña

Dr. Jesus Israel Hernández Hernández

GERENTE DE PROYECTO

Mta. Yazmin Guadalupe Hernández García

DISEÑO EDITORIAL

Safari

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|----|
| Introducción/Antecedentes/Problema identificado | 5 |
| Objetivos | 6 |
| Métodos o descripción del trabajo | 7 |
| 1) Repositorio institucional | |
| 2) Prototipos | |
| 3) Página web | |
| Resultados | 9 |
| Extensión de los trabajos | 10 |
| Exposición | 10 |
| Recomendaciones | 10 |
| Anexo 1 Hoja de metadatos | 11 |
| Anexo 2 -Descripción Técnica | 12 |
| <i>Instalación de la tablilla, procesador y</i> | |
| <i>transmisor de la estación</i> | |
| <i>Instalación de los prototipos en red</i> | |
| Anexo 3 -Gráficas de datos generados por los prototipos | 16 |
| Anexo 4 -Gantt del Proyecto | 17 |



INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES/PROBLEMA IDENTIFICADO

Describe las características principales de la ubicación del proyecto, así como el problema que se pretende resolver. Explique si se han realizado o se realizan actualmente esfuerzos para resolver el problema).

Los datos de calidad del aire, su interpretación y su correlación con las causas de mortalidad y morbilidad en las poblaciones mayores a 500 mil habitantes en México, constituyen uno de los retos actuales para los responsables de la salud pública. La imposibilidad de generar datos con las coberturas apropiadas se enfrenta a múltiples barreras de tipo financiero, pero principalmente a la falta de una capacidad institucional y un marco legal bien enfocado. Ciudad Juárez no es la excepción, a pesar de la importante colaboración binacional, los niveles de contaminación en Ciudad Juárez han observado un estancamiento en cuanto a la tendencia general de reducción. Existen varias hipótesis al respecto, pero la falta de datos complica aun más la posibilidad de tomar acciones bien enfocadas y de incorporarlas en un plan estratégico. Así mismo se requiere de datos que permitan tener mejores estimaciones de los costos-beneficios de la infraestructura que incorpora la autoridad municipal.

Recientemente, se han incorporado estrategias de percepción remota que permiten tener una idea de los niveles de concentración de algunos contaminantes criterio. Sin embargo, la resolución espacial de los píxeles y las limitaciones de los algoritmos de inversión para la mayor parte de México, los vuelven poco confiables para monitorear la cuenca. La necesidad de contar con datos de alta resolución se encuentra en un conflicto entre costo (inversión, operación y mantenimiento) y precisión de los datos. Aunado a lo anterior, las condiciones de exposición no son iguales en todos los sectores de la ciudad. En muchas zonas de la ciudad las quemadas de residuos domésticos como forma de disposición y algunas quemadas de residuos de manejo especial como llantas y ma-

dera son frecuentes en actividades artesanales como la producción de ladrillo para la industria de construcción y que se ha identificado como una fuente importante de aerosoles (Blackman, et al., 2000; Bruce, et al 2007). Este escenario hace temer que las personas más vulnerables son a su vez la más expuestas lo que lo convierte en un reto de justicia ambiental. Para ello es necesario generar estrategias de bajo costo a partir de modelos numéricos del tiempo, evaluar la dispersión de los contaminantes, así como un monitoreo en puntos estratégicos para calibrar y para generar datos rápidos y útiles de calidad del aire.

La Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ) a través de su laboratorio de Clima y Calidad del Aire (LCCA), cuenta con 8 puntos de monitoreo con datos meteorológicos de los cuales 7 tienen series climáticas de tiempo de 5 años o más. Dos de los sitios se encuentran en los alrededores de la ciudad (Rancho Universitario en Práxedes G. Guerrero y en las inmediaciones de La Victoria, municipio de Ascensión ambos administrados por la UACJ), la estación localizada a mayor altura se encuentra en la cima del Cerro del Águila con vistas al Valle de Juárez, la más reciente estación se localiza en la Clínicas Comunitaria de Nutrición (CCN) de la UACJ y una más en la estación de bomberos en Anapra. Otro de los puntos se localiza en el LCCA en donde la UACJ cuenta con radiómetro Cimel de la red AERONET de la NASA (mide profundidad óptica de aerosoles), etalómetro (mide diferentes tipos de carbón negro), torre de flujos de CO₂, estación solarimétrica (mide atenuación de la radiación y los componentes de la radiación total), así como monitores de ozono y partículas suspendidas (PM_{2.5} y PM₁₀), bióxido de azufre, óxidos de



nitrógeno y monóxido de carbono. Estos instrumentos debidamente calibrados, proporcionan la principal fuente de referencia para los equipos de bajo costo.

Los objetivos de este proyecto propusieron utilizar la infraestructura existente administrada por la UACJ para el monitoreo climatológico (LCCA, Anpra, CCN y UNITEC) instalar sensores bajo costo de ozono y partículas suspendidas con objeto de monitorear los niveles relativos de concentración de contaminantes y demostrar su utilidad para un proyecto de mayor cobertura.

OBJETIVOS

(Describe el enfoque del proyecto para resolver la problemática o condición ambiental identificada).

El objetivo general del proyecto es generar un sistema repositorio de datos de clima, calidad del aire y monitoreo comunitario con sensores de bajo costo con miras a conservar y hacer disponible los datos en plataformas digitales libres.

A partir de este objetivo se busco una alineación con las metas del programa Frontera 2020 con objeto de contribuir al esfuerzo binacional de

manera efectiva. A continuación, describimos la alineación de los objetivos del proyecto con las metas del programa Frontera 2020:

META 1. Reducir la contaminación del aire. - Fortalecer la red de monitoreo de la calidad del aire existente para incluir el desarrollo de/o el fortalecimiento de las estrategias actuales hará el establecimiento del monitoreo atmosférico y medidas de soporte incluidas en los programas de gestión de la calidad del aire de los estados mexicanos o americanos. Este proyecto busca complementar los esfuerzos de monitoreo incrementando los datos disponibles a través de la plataforma de SINAIICA y con el diseño, fabricación y despliegue de prototipos de monitores comunitarios de bajo costo.

META 2. Desarrollar proyectos de difusión educativa para promover conocimiento de normas...

La información vertida al repositorio institucional permite informar a la comunidad sobre la evolución de la calidad del aire, así como brindar acceso libre a investigadores y estudiantes para generar un mayor conocimiento sobre la efectividad de las estrategias de gestión pública.

META 3. Promover el manejo integral materiales y residuos, sitios limpios. Fortalecer, promover e implementar practicas sustentables...

Si bien se tienen mediciones y evaluaciones de la eficacia y eficiencia de los obradores para la fabricación de ladrillo, no se tiene una manera de correlacionar las quemas de biomasa (sobre todo en invierno) en hogares para calentar principalmente y como método de disposición final de los residuos sólidos municipales. El contar con una red de monitoreo permitirá el acceso a información rápida sobre eventos y episodios de quemas en condiciones meteorológicas desfavorables para la dispersión.

MÉTODOS O DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO

(En caso de haber realizado tareas de muestreo y análisis, indique la referencia correspondiente. No es preciso describir el método completo; solo será necesario describir con detalle cuando no se haya usado un método estándar para el proyecto. Las descripciones detalladas de los métodos utilizados se pueden incluir como anexos).

1)REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Se recabaron las bases de datos de las estaciones pertenecientes a la Red de monitoreo de la UACJ, los datos fueron homogeneizados al mismo formato y se definieron los metadatos de cada archivo, tomando en cuenta coordenadas de localización, nombre de la estación, marca de la estación, lugar de ubicación, tipo de datos, etc. Cuando se tuvieron todas las bases de datos se procedió a cargarlas en el repositorio institucional de la UACJ, para de este modo dar acceso a la población interesada a la información generada por las estaciones de monitoreo de la UACJ. Los datos pueden ser consultados por medio de la siguiente liga: <http://erecursos.uacj.mx/handle/20.500.11961/1689>

2)PROTOTIPOS

Primera fase: se determinó un diseño preliminar de los prototipos y se consiguieron los componentes y sensores necesarios para su realización. Se procedió a armar tres prototipos en proto-board y se monitoreo su funcionamiento por más de dos meses para detectar posibles errores, tanto de software como de hardware, así como los posibles cambios y mejoras al diseño original.

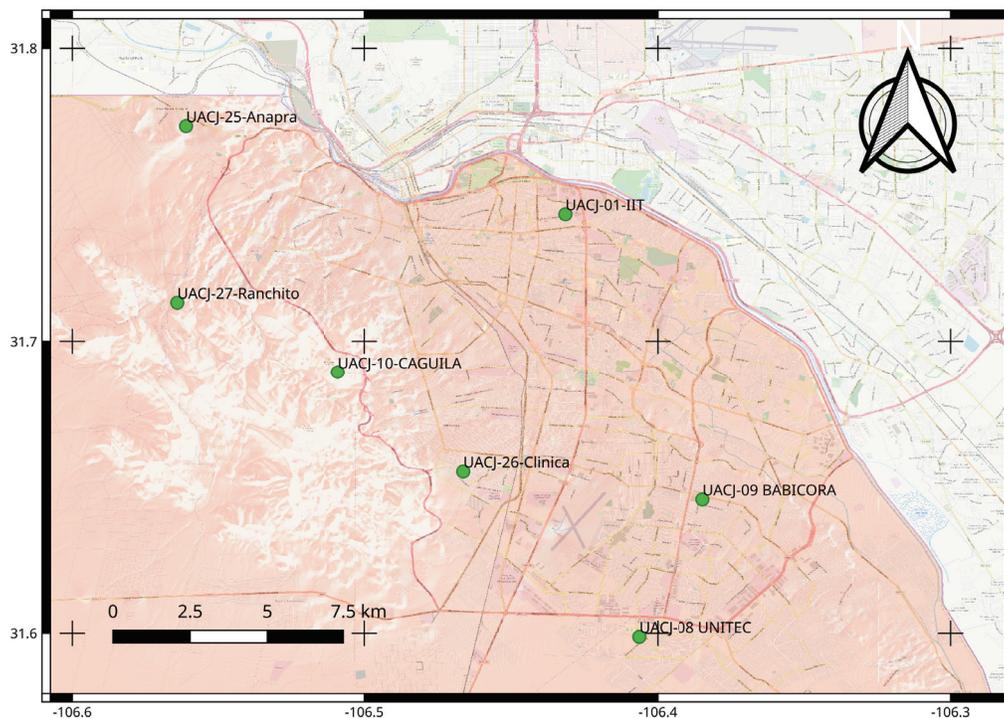


Figura 1. Ubicación de las estaciones meteorológicas de la UACJ.

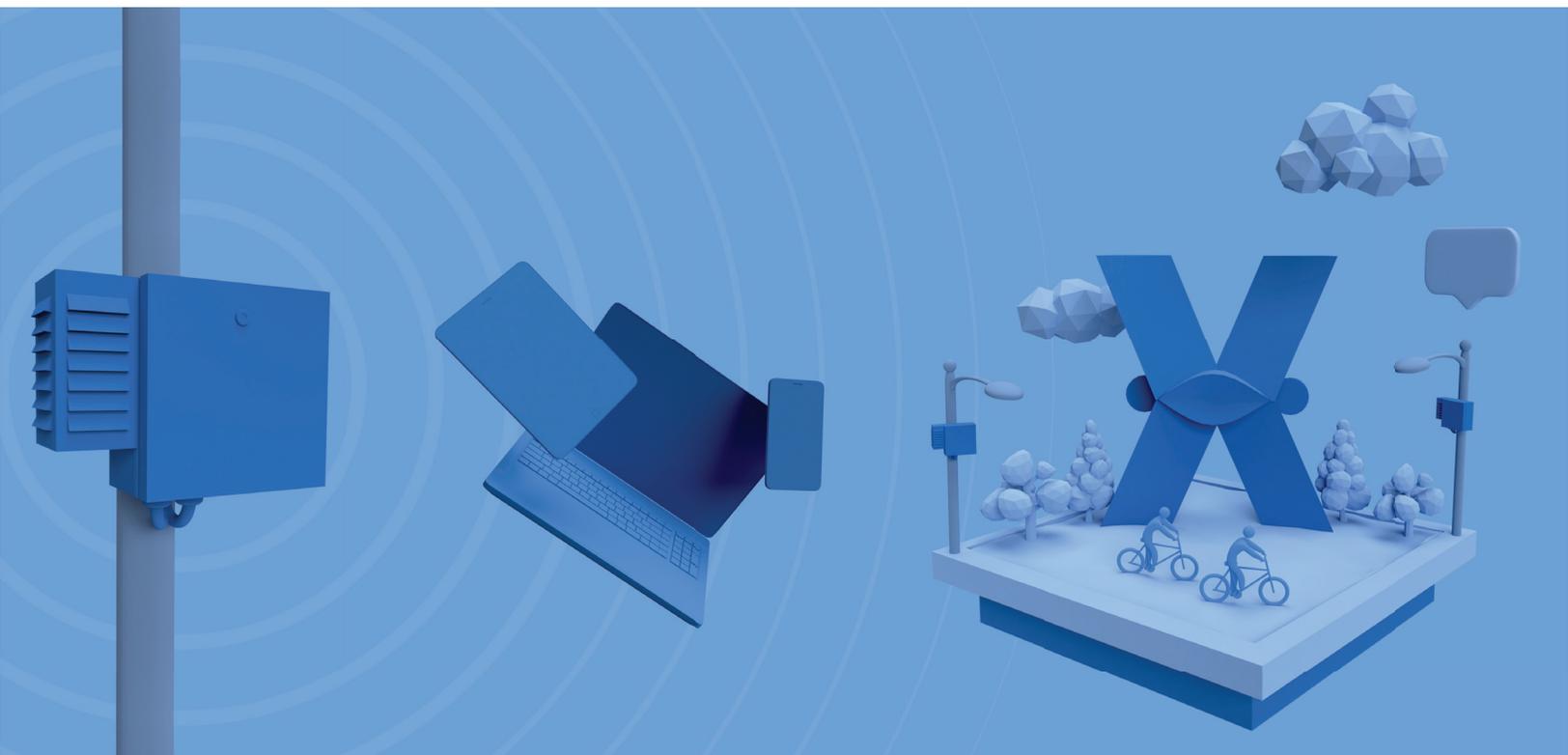
Segunda fase: Se soldaron los sensores a una tablilla y se colocaron en la caja de intemperie para monitorear su funcionamiento, los metadatos de los prototipos se presentan en el Anexo 1 y la descripción técnica de su funcionamiento en el Anexo 2.

En total se colocaron 3 prototipos en 3 diferentes sitios: estación IIT-1 en el Instituto de ingeniería y Tecnología de la UACJ, en la clínica de nutrición de la UACJ y en la estación de bomberos No. 9 en Rancho Anapra. Esto con la finalidad de tener una distribución adecuada en la ciudad de los prototipos. En la figura 1 se muestra la ubicación de las estaciones pertenecientes a la Red de monitoreo de la UACJ.

Los datos recabados por los prototipos han sido monitoreados y comparados con los monitores de gases ubicados en la estación IIT-1 y los valores de los sensores se corrigen a partir de un modelo multilíneal que contempla las variables de humedad y temperatura (ver Anexo 4).

Tercera fase: Página Web

Se inició el desarrollo de una página web de acceso abierto para mostrar los datos generados por las diferentes estaciones de la UACJ (<http://cecatev.uacj.mx/>). Así mismo se tiene una página de prueba para visualizar los datos preliminares de los prototipos.



RESULTADOS

(Presente una breve descripción de los resultados principales mediante gráficas y cuadros sinópticos (los cuadros en detalle, gráficas, cálculos y memorias fotográficas se pueden agregar como apéndices al documento principal.)

A continuación, hacemos un resumen sucinto de los principales resultados del proyecto:

- Por primera vez en la historia de la ciudad se cuenta con un sitio web con datos meteorológicos de diferentes épocas y estaciones. Estos datos debidamente ordenados en el repositorio institucional permitirán que el público y los usuarios académicos dispongan de material para realizar asociación de la contaminación y la salud con las variables meteorológicas bases.

- Este proyecto sumo de manera significativa a la consolidación de un grupo de trabajo binacional que ha cobrado impulso para mejorar la recolección de datos meteorológicos y climáticos.

- Así mismo, la incorporación de monitores comunitarios de bajo costo representa una oportunidad para generar líneas bases para diferentes estudios en partes de la cuenca que no tienen una posibilidad inmediata de contar con estaciones de referencia.

- Igualmente se inicio una pagina electrónica que permite tener datos sobre calidad del aire misma que está ligada con el repositorio institucional.

- Este proyecto permitió el desarrollo de tres tesis de maestría y una de licenciatura con lo que está contribuyendo a la formación y educación de nuevos técnicos. El Laboratorio e Climatología y Calidad del Aire se ha fortalecido y hoy por hoy constituye un referente importante para el apoyo a la gestión ambiental en la región, a continuación se presenta:

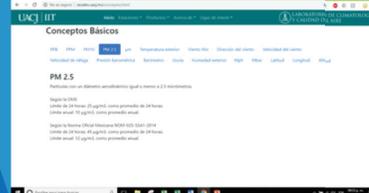
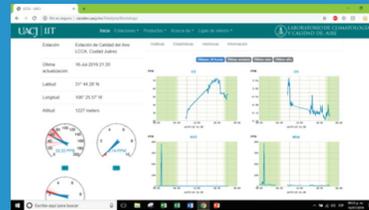
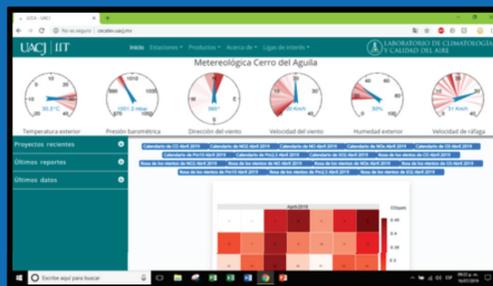
Sistema para gestión de datos climáticos heterogéneos.- Alicia M. Jiménez Galina

Índice de calidad de aire para Ciudad Juárez basado en un Esquema de Colaboración Comunitaria.- Nabile Edith Rodríguez García

Sistema de control de calidad para el big data de los datos climatológicos .- Jose Angel Nieves Talavera

Patrones de concentración de carbono negro y determinación de sus principales fuentes de emisión en Ciudad Juárez, Chihuahua.- Frida Yael Toquinto Manjarrez

La liga de la página es: <http://cecatev.uacj.mx/index.html>



EXTENSIÓN DE LOS TRABAJOS

Durante el verano de 2019 el NADB aprobó una extensión en tiempo y dinero para incrementar el número de puntos de muestreo y para migrar de un prototipo a un producto terminado. Este proceso requirió retirar los prototipos de las estaciones y su reconstrucción. Actualmente se está en el proceso de reinstalar los cuatro instrumentos y ya se tiene un contrato con el gobierno del estado de Chihuahua para extender la Red a la frontera Chihuahua-Nuevo México. Así mismo, se han ingresado propuestas para su uso en proyectos de investigación con consorcios internacionales.

Exposición:

(A partir de los resultados, indique si se cumplieron las metas y objetivos del proyecto.)

Sin duda este es un proyecto que continuara a lo largo del tiempo por el impulso y la importancia para la gestión ambiental de nuestra región. A continuación, describimos de manera resumida los principales productos en relación a metas propuestas (referirse al Anexo 5 para un mejor desglose de las actividades)

a). Repositorio Institucional. Se creo un repositorio institucional ya disponible para de manera abierta y gratuita.

b). Diseño y fabricación de monitores de bajo costo (4) instalación y calibración. Como parte del proyecto se construyeron y probaron en cámaras de calibración y en condiciones ambientales. En la extensión del proyecto se paso de prototipos

a productos que serán desplegados en los cuatro puntos y de manera gradual se incorporarán más con el crecimiento de la red.

c). Diseño de un índice ambiental. Tres proyectos de maestría trabajaron y publicaron trabajos en foros internacionales (en proceso) sobre la incorporación de un sistema de índice de calidad ambiental asociado a una red de monitores comunitarios de bajo costo.

Recomendaciones

(Defina los puntos de acción pendientes derivados de los resultados del proyecto, así como los proyectos de seguimiento que sean necesarios.)

Queda mucho camino por andar. Necesitamos incorporar un mayor número de sensores en la ciudad, acoplar un nuevo modelo en WRS (se capacito a un empleado de la UACJ y en combinación con el LANTI se está trabajando en su despliegue en los próximos meses) y un sistema de manejo de big-data para aportar información de alta resolución.

Uno de los saltos importantes para el laboratorio es la fabricación de una línea más cara a partir de sensores de mejor desempeño con objeto de cubrir necesidades específicas de investigación sobre fuentes de contaminación.

Logramos consolidar una estrategia para poder mantener financieramente un grupo que pueda continuar con los trabajos en la cuenca.

ANEXO 1 HOJA DE METADATOS

No. de serie: 00
Fecha de fabricación:
Estado: Activo

| Sensor | Parámetro | Marca | No. de parte | Rango de medición |
|--------------|----------------------|--------|--------------|---------------------------|
| ZE25-O3 | O3 | Winsen | | 0-10 ppm |
| GP2Y1010AU0F | PM2.5 | | | 0 – 800 µg/m ³ |
| ME2-CO | CO | Winsen | | 0-1000 ppm |
| DHT22 | Temperatura ambiente | | | -40 a 80 °C |
| DHT22 | Humedad Relativa | | | 0% - 100% |

No. de serie: 01
Fecha de fabricación:
Estado: Activo

| Sensor | Parámetro | Marca | No. de parte | Rango de medición |
|--------------|----------------------|--------|--------------|---------------------------|
| ZE25-O3 | O3 | Winsen | | 0-10 ppm |
| GP2Y1010AU0F | PM2.5 | | | 0 – 800 µg/m ³ |
| ME2-CO | CO | Winsen | | 0-1000 ppm |
| DHT22 | Temperatura ambiente | | | -40 a 80 °C |
| DHT22 | Humedad Relativa | | | 0% - 100% |

No. de serie: 02
Fecha de fabricación:
Mismo día que corrió por primera vez
Estado: Activo

| Sensor | Parámetro | Marca | No. de parte | Rango de medición |
|--------------|----------------------|--------|--------------|---------------------------|
| ZE25-O3 | O3 | Winsen | | 0-10 ppm |
| GP2Y1010AU0F | PM2.5 | | | 0 – 800 µg/m ³ |
| ME2-CO | CO | Winsen | | 0-1000 ppm |
| DHT22 | Temperatura ambiente | | | -40 a 80 °C |
| DHT22 | Humedad Relativa | | | 0% - 100% |

No. de serie: 03
Fecha de fabricación:
15 de marzo de 2019
Estado: Inactivo

| Sensor | Parámetro | Marca | No. de parte | Rango de medición |
|--------------|----------------------|--------|--------------|---------------------------|
| ZE25-O3 | O3 | Winsen | | 0-10 ppm |
| GP2Y1010AU0F | PM2.5 | | | 0 – 800 µg/m ³ |
| ME2-CO | CO | Winsen | | 0-1000 ppm |
| DHT22 | Temperatura ambiente | | | -40 a 80 °C |
| DHT22 | Humedad Relativa | | | 0% - 100% |

ANEXO 2 DESCRIPCIÓN TÉCNICA

Instalación de la tablilla, procesador y transmisor de la estación.

DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES

En la presente sección serán descritos brevemente los dispositivos que componen la estación de calidad del aire.

Dichos dispositivos se especifican a continuación:

- Tablilla electrónica.
- Arduino Leonardo
- Dragino

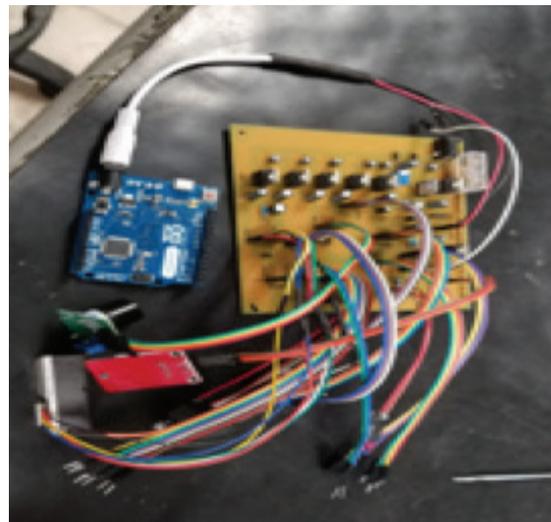
La tablilla electrónica es el dispositivo que sirve como interfaz de los diferentes sensores al Arduino Leonardo. Se encarga de acondicionar y distribuir las señales de entrada y salida del Arduino, así como las señales provenientes de los distintos sensores.

El Arduino Leonardo se encarga de recibir la información proveniente de los distintos sensores, se trata del componente más importante de la estación, ya que, sin él la estación no puede operar.

El Dragino es el dispositivo encargado de las comunicaciones de la estación. Se trata de un módulo o escudo que actúa como interfaz con el Leonardo y le da capacidades de comunicación a Internet a través de ethernet o wifi.

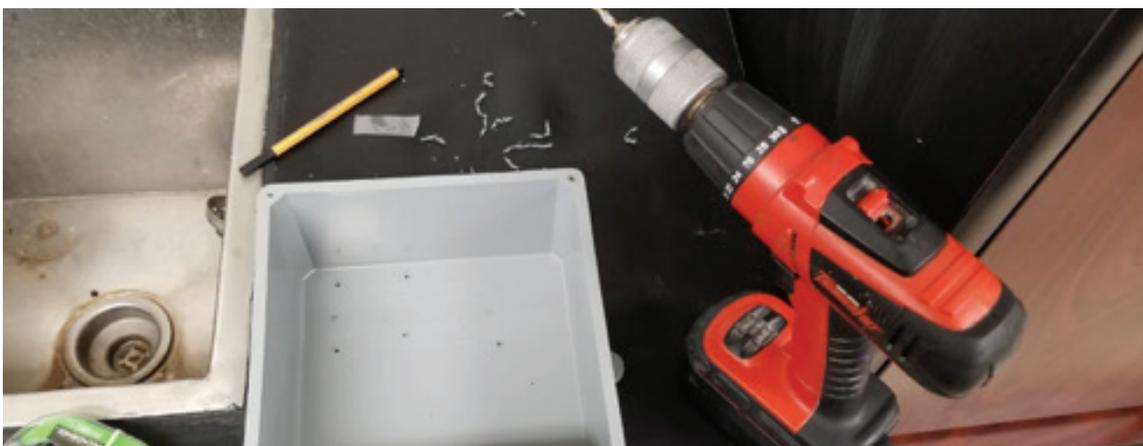
INSTALACIÓN DE COMPONENTES

Antes de proceder con los pasos necesarios para instalar los componentes, los dispositivos fueron probados de forma externa para asegurar su correcto funcionamiento.



El primer paso para instalar los componentes consiste en adaptar la caja de intemperie. Esta caja servirá como protección para los dispositivos, protegiéndolos elementos como el viento o el agua.

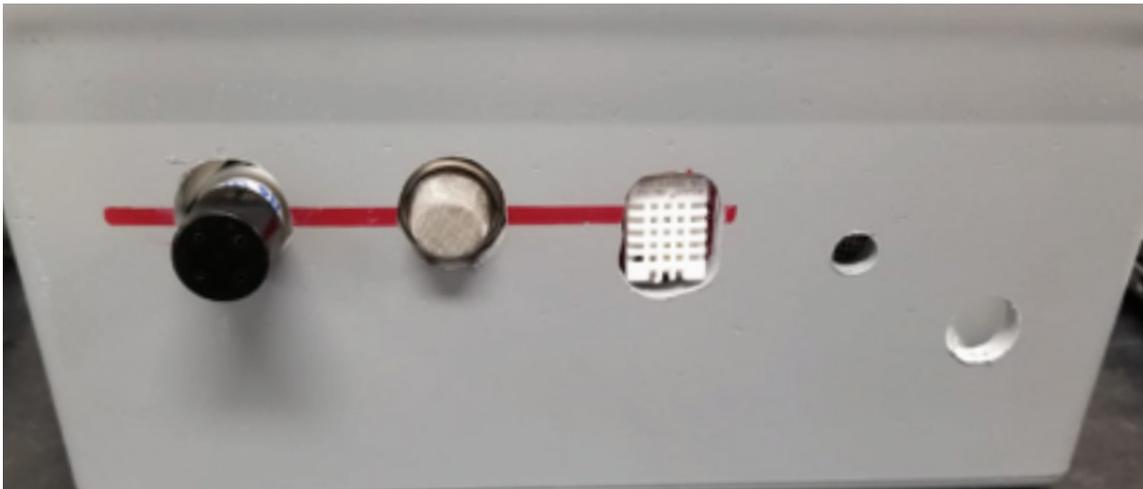
Para adaptar la caja de intemperie fue necesario perforar para introducir tornillos M3.



Después de perforar la caja, es necesario perforar de nuevo para colocar los distintos sensores que la estación requiere, además de la entrada para el cable de alimentación del sistema.

Una vez que la caja tiene todas las perforaciones necesarias, se procede a instalar los componentes en el interior. Para este paso es necesario asegurar tanto la tablilla como el Arduino Leonardo a la caja utilizando las perforaciones en la caja y un total de 6 tornillos M3, cada uno con su respectiva tuerca.

Dado que el circuito conectado y probado externamente, basta con repetir la misma conexión en el interior.



Una vez llegado a este punto, basta con conectar la estación a la alimentación eléctrica y configurar el Dragino para acceder a la red y poder descargar el programa encargado de recopilar la información. Lo referente a la configuración del Dragino está disponible en la wiki oficial del dispositivo:

https://wiki.dragino.com/index.php?title=Yun_Shield



En el verano de 2019 se rediseñó el prototipo, mejorando la colocación de los sensores, así como la resistencia de la caja de intemperie.

INSTALACIÓN DE LOS PROTOTIPOS EN RED CONEXIÓN A LA RED DE LA UACJ

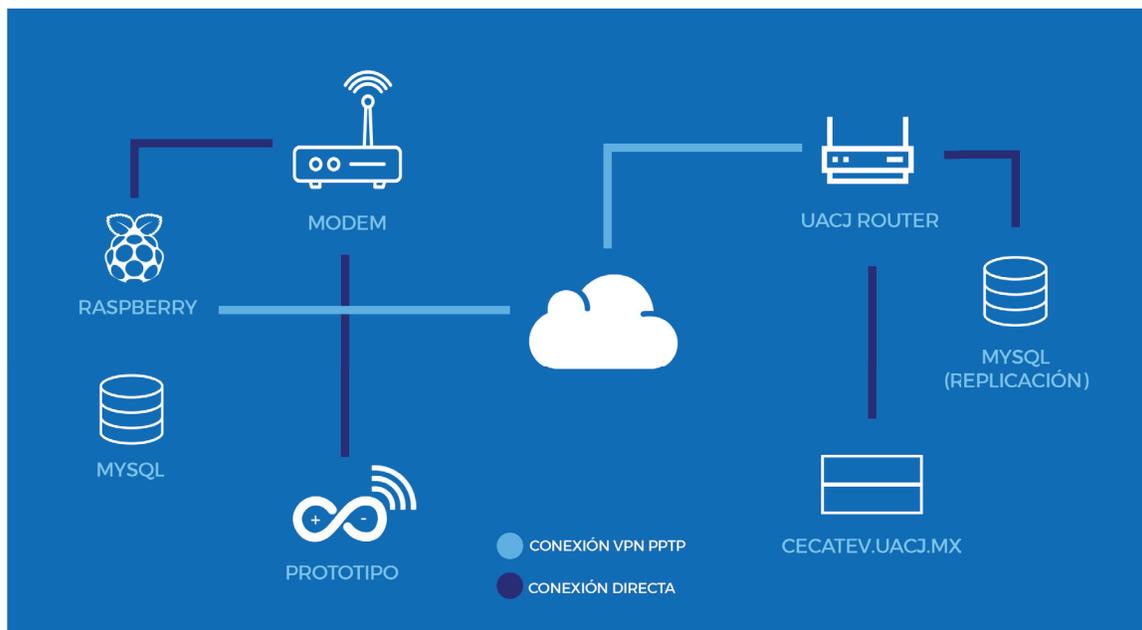
Este reporte fue realizado y documentado aproximadamente en el 2~4 de abril del 2019. La instalación física del prototipo de Clínica Universitaria se llevó a cabo en esas fechas, el prototipo en Anapra e 9 de abril. Ambas estaciones han estado recabando datos desde esos días.

Para llevar a cabo la conexión del prototipo a la red interna de la UACJ se optó por utilizar una RaspberryPi. Esto debido a que puede ser configurada como una capa extra para la redundancia de los datos recabados por el prototipo y por la versatilidad que ofrece para ser configurada.



Para crear la conexión, se optó por usar un sistema de VPN PPP para facilitar una conexión segura a los sistemas internos de la universidad. Por medio de esta conexión, se provee una IP estática interna dentro del subdominio de la universidad para no solicitar una IP estática al ISP local.

La Raspberry está conectada a su vez a un módem que provee el ISP en el punto de recolección de datos y el prototipo está conectado a este mismo módem. Esto nos asegura que a pesar de que la conexión de Red sea interrumpía a nivel ISP, tengamos una redundancia de datos local en el punto de recopilación. La cuál a su vez es recolectada en una base de datos local (MySQL).



Los datos que se encuentran en la base de datos en el punto de recopilación son replicados al centro de servidores en la universidad cuando la conexión a internet se encuentra estable. Lo que nos provee de una redundancia completa de datos.

Los datos en el punto de recopilación son almacenados mediante un software Open Source llamado weewx en la base de datos interna. Éste programa nos ofrece una API completa de conexión y una estandarización de datos que nos hace posible el compartir los datos recabados de una forma relativamente sencilla.

Los datos en tiempo real de la estación de climatología pueden ser consultados en cecatev.uacj.mx/Estacion27/ de la misma forma, todos los datos recabados pueden ser encontrados en el siguiente enlace: <http://cecatev.uacj.mx/>

ANEXO 3 GRÁFICAS DE DATOS GENERADOS POR LOS PROTOTIPOS

TABLA Y GRÁFICA DE CORRELACIÓN

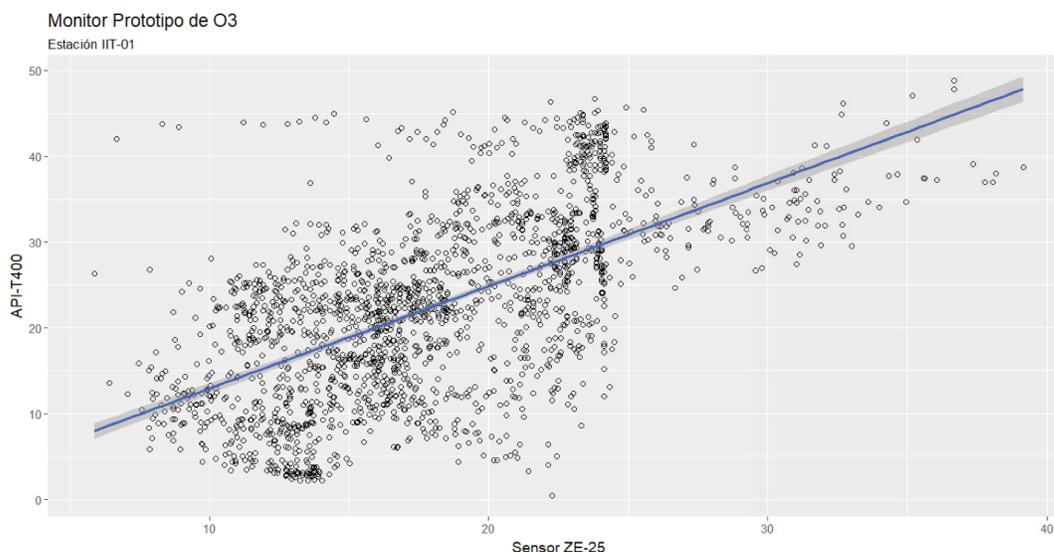
La forma más simple de ajustar las lecturas que arroja un sensor de membrana metálica es calibrarlo de acuerdo a condiciones de temperatura y humedad, ya que éstas afectan la respuesta del sensor. Para ello se corrieron correlaciones lineales de la forma:

$$Referencia = \beta_0 + \beta_1 \text{Sensor} + \beta_2 \text{Temp} + \beta_3 \text{RH} + \beta_4 \text{Temp} * \text{RH} + \beta_5 \text{Sensor} * \text{Temp} + \beta_6 \text{Sensor} * \text{RH} + \beta_6 \text{Sensor} * \text{Temp} * \text{RH}$$

En donde Referencia es el valor de la estación de referencia que en este caso son equipos API T400 para el ozono y Monitor de masa API T640. Sensor es la lectura de los sensores de membrana metálica y de dispersión para ozono y partículas respectivamente.

Como se observa en la siguiente gráfica, la correspondencia es buena para la mayor parte del rango ($R^2=0.6118$) y mejora a mayores concentraciones.

Gráficas de comportamiento



ANEXO 4 GANTT DEL PROYECTO

