



# Piloto en transporte limpio.



Universidad del  
**Rosario** | Escuela de Ingeniería,  
Ciencia y Tecnología







**Probogotá Región:**

**María Carolina Castillo**

Presidente ejecutiva

**Manuela Uribe**

Directora Ciudades Inteligentes y Sostenibles

**Fabiana García**

Coordinadora dirección de ciudades  
inteligentes y sostenibles

**Nicolás Gutiérrez**

Analista de Ciudades Inteligentes y Sostenibles

**Camilo Martínez**

Analista de Ciudades Inteligentes y Sostenibles

**Universidad del Rosario:**

**Alejandro Cheyne García**

Rector

**Valeria Ochoa Herrera**

Decana Escuela de Ingeniería,  
Ciencia y Tecnología

**Juan Pérez Bernal**

Líder de desarrollo

**Andrés Salazar Mejía**

Desarrollador

**Felipe Guzmán Sierra**

Desarrollador

**Andrés Gámez Vargas**

Desarrollador

**Samuel Pérez Díaz**

Desarrollador

**Miguel Valencia Zuluaga**

Desarrollador

**Isabela Cáceres Palma**

Desarrollador

**Universidad EAN:**

**Leonardo Rodríguez Urrego**

Gerente de Investigación y  
Transferencia. INDEVOS

**Alberto Uribe**

Jongbloed - Asesor independiente

**Monitor:**

**Camilo Benavidez**

Gerente Comercial

**Ricardo Suárez**

Gerente de Tecnología

**P4G:**

**Raquel Szomstein**

Engagement Specialist

# Introducción

El siguiente documento es un resumen ejecutivo del Piloto en Transporte Limpio elaborado en su fase 1 en el marco de la Alianza Bogotá Territorio Inteligente. El objetivo del mismo es ofrecer una síntesis descriptiva de la pertinencia del proyecto, sus objetivos y alcance, una descripción de la metodología elaborada y una muestra de los hallazgos que se pueden obtener por medio de la misma.

Es una iniciativa privada que buscó sumar capacidades entre distintas organizaciones miembros de la “Alianza Bogotá Territorio Inteligente” –Probogotá Región, Universidad EAN, Universidad del Rosario, ANDI y TIGO– para crear un sistema de monitoreo en tiempo real de emisiones de gases de efecto invernadero emitidas por el transporte de carga. Agradecemos a todas las personas y empresas que hicieron posible,

por medio de su colaboración en diferentes instancias, el desarrollo de este proyecto. Un reconocimiento especial a Corona, Ditransa, Terpel, Opperar, Doria, Vanti, Sánchez Polo, Noel, Postobón y Disan, empresas comprometidas con la calidad del aire, que decidieron participar en el piloto para monitorear su impacto ambiental y diseñar estrategias para la reducción de emisiones.

Esperamos seguir fortaleciendo las líneas de acción de la estrategia con el objetivo de aumentar la escalabilidad de la iniciativa, obtener mejor información sobre el comportamiento de las emisiones en el transporte de carga de la región y fortalecer por medio de insumos detallados la toma de decisiones de organizaciones públicas y privadas en materia de sostenibilidad ambiental.

# Contenido»

<b>Introducción</b> .....	<b>04</b>
1. Pertinencia del piloto y motivación .....	<b>06</b>
2. Descripción del proceso técnico de instalación de dispositivo, captura de información, calibración y procesamiento de la misma. ....	<b>09</b>
3. Plataforma .....	<b>13</b>
4. Hallazgos del piloto .....	<b>18</b>
5. Beneficios del piloto .....	<b>22</b>
- A las empresas. ....	<b>23</b>
- Al sector público. ....	<b>24</b>
- A la ciudadanía. ....	<b>24</b>

---

1.



## Pertinencia del Piloto y motivación

El proyecto “Piloto de Transporte Limpio” es el primero que desarrolla ProBogotá Región y los miembros de la alianza “Bogotá, territorio inteligente”. Esta alianza se creó en 2019 entre ProBogotá Región, Universidad EAN, Universidad del Rosario, Universidad Nacional, ANDI, TIGO, Clarke Modet y Connect Bogotá, con el objetivo de dotar a la ciudad de capacidades de captura y analítica de datos para resolver problemáticas urgentes de los ciudadanos.

En este caso, una de las problemáticas más críticas evidenciadas por la alianza es la calidad del aire y su impacto negativo en la salud, la biodiversidad y la calidad de vida de los bogotanos. Adicionalmente, según el IDEAM, alrededor del 50% de emisiones de CO<sub>2</sub>eq. provienen del sector transporte. Con el fin de atender esta situación y buscar maneras para contrarrestar sus efectos, se planteó este proyecto que tiene el fin de medir y visualizar los gases de efecto invernadero del transporte de carga, y promover buenas prácticas de conducción para que esta actividad sea más sostenible.

El proyecto buscó establecer una línea base de las emisiones de los vehículos de carga a partir del desarrollo de un dispositivo, que, al conectarse al vehículo en ruta, captura datos relacionados al funcionamiento de la conducción, los cuales se procesan en una plataforma y resultan en la estimación de los Gases de Efecto Invernadero que emite el vehículo.

Finalmente, los datos son visualizados en una página web que permite ver las emisiones georreferenciadas en el mapa de la ciudad, y por consiguiente, permite analizar los posibles impactos de estas emisiones en los contextos urbano, social y ambiental, y así tomar decisiones de política pública y de ordenamiento territorial que mitiguen los impactos del transporte de carga, contribuyendo a una ciudad con mayor equidad urbana.

## Ver página web Piloto de Transporte Limpio.

<https://transportelimpiobog.com/>

En la primera fase, con el apoyo de la organización de cooperación internacional P4G—Partnering for Green Growth—, se logró probar el desarrollo y funcionamiento de la tecnología en 27 vehículos.

Los resultados de este desarrollo de tecnologías y sistemas de monitoreo son útiles para el sector empresarial porque permite que las empresas conozcan sus emisiones en la actividad logística y puedan tomar decisiones en materia de sostenibilidad para reducir los impactos negativos que esta actividad pueda generar y cumplir con los estándares legislativos producto de los compromisos ambientales asumidos por el país.

A los diseñadores de política pública les permite monitorear la contribución en emisiones de la actividad de transporte de carga y diseñar incentivos, programas y mecanismos de financiación para que el país reduzca las emisiones de gases de efecto invernadero. Finalmente, los ciudadanos se verán beneficiados por la mejoría en la calidad del aire que tendrá impactos positivos en la salud y el disfrute del espacio público y podrán acceder a datos e información que les permitirá entender mejor el estado del aire de la ciudad y su rol en la construcción de alternativas sostenibles en el corto, mediano y largo plazo.



© Derechos reservados / Probogotá Región

---

# 2.



Descripción del proceso técnico de instalación de dispositivo, captura de información, calibración y procesamiento de la misma.

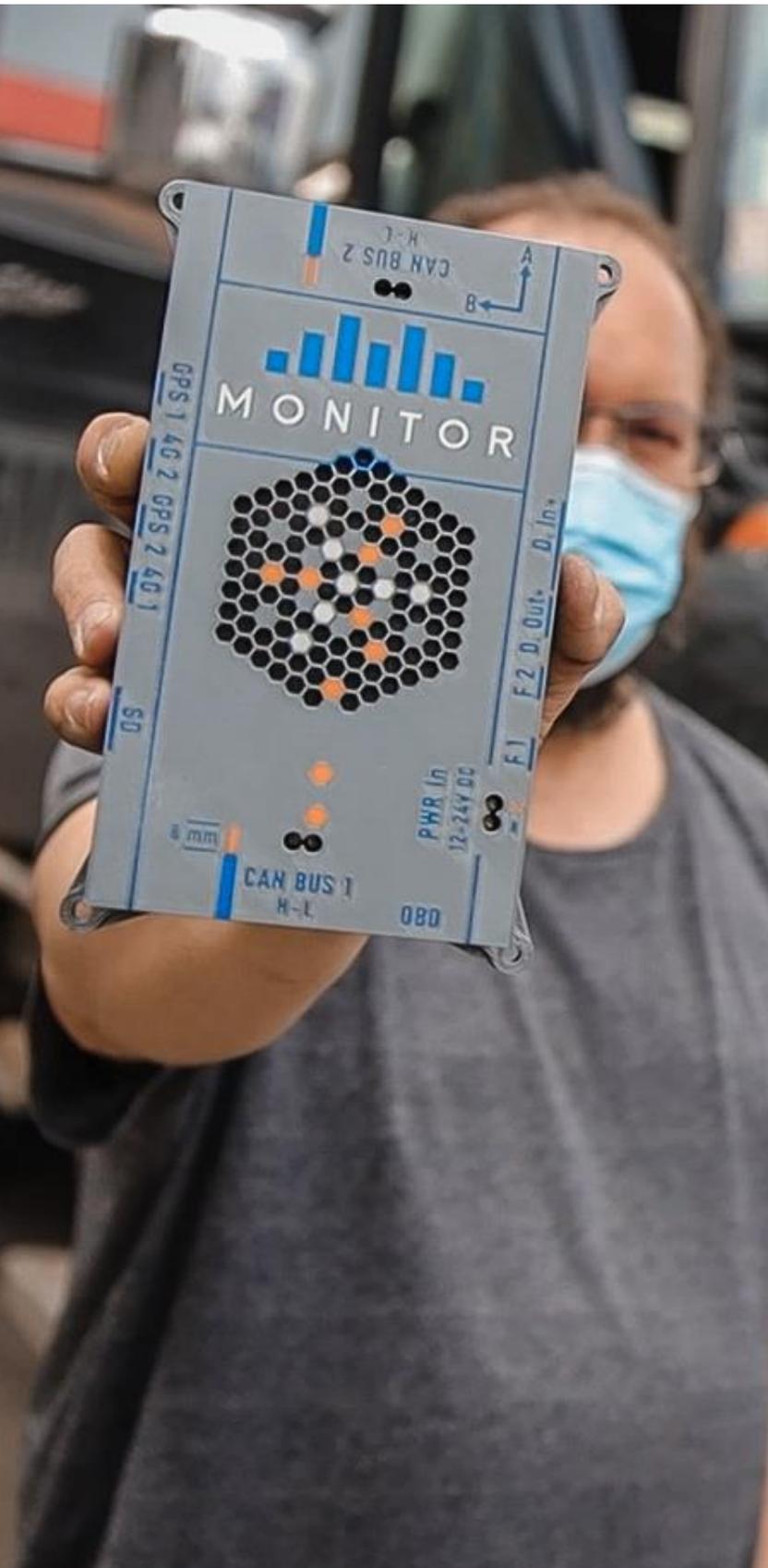


Figura 1. Dispositivo IoT instalado en los vehículos de carga

© Derechos reservados / Probogotá Región

El dispositivo IoT es un equipo electrónico que reúne conectividad 4G, dos unidades de GPS, un acelerómetro, un giroscopio y un módulo de conexión a los datos generados por la computadora del vehículo. El dispositivo se conecta al adaptador de la unidad OBD, de la cual toma la energía necesaria para su funcionamiento y, al mismo tiempo, recupera los datos operativos del vehículo, de la misma forma que lo hace el dispositivo de diagnóstico estandarizado que existe en los talleres de mantenimiento.

La conexión del dispositivo, como se expresó anteriormente, se realiza al puerto OBD, J1939 o FMS del vehículo. La conexión de alimentación del dispositivo se realiza a través de un circuito auxiliar libre que se activa con la señal de encendido del vehículo. La instalación eléctrica dispone de protecciones de fusibles y relés para garantizar la protección frente a cortocircuitos y consumos no deseados. El dispositivo conectado dispone de protecciones eléctricas y electrónicas, tanto a nivel de conexiones eléctricas como de datos.

La información obtenida a través del dispositivo se almacena localmente y se transmite a la nube, tanto en tiempo real como por lotes, asegurando así la sincronía de información entre los vehículos en movimiento y la nube. El dispositivo tiene la capacidad de recopilar la información generada y enviarla a la nube en paquetes de datos con la información ordenada en marcos de datos, segundo a segundo. Adicionalmente, el dispositivo gestiona los distintos modos de funcionamiento que se dan en un vehículo como encendido

que se dan en un vehículo, como encendido, apagado, falso encendido y descarga de batería, entre otros. Como vemos, el dispositivo IoT instalado directamente en el vehículo tiene como misión principal la captura, y posterior, envío de los datos que el OBD del vehículo utiliza en su funcionamiento regular. Algunos de estos datos se refieren a condiciones básicas de funcionamiento (i.e. velocidad del motor (RPM)) y otras se refieren a condiciones del desempeño del motor (i.e. % torque). Estos datos se pueden correlacionar, a través de un modelo matemático, con las emisiones específicas del motor en diferentes momentos y modos de trabajo (i.e. en velocidad de crucero o en momentos de esfuerzo).

Cualquier motor de combustión interna utilizará combustible (gasolina, diésel o gas natural) como fuente principal de energía. Una fracción de la energía total almacenada químicamente en las moléculas de combustible es recuperada como energía mecánica inducida (cinética) transferida a los pistones del motor por la combustión explosiva del combustible.

El proceso de combustión transforma el material combustible en diferentes gases, que son subproductos. La cantidad de consumo de combustible está directamente relacionada con el rendimiento del motor (torque) y la velocidad a la que se mueven algunas partes del motor (RPM del cigüeñal); al mismo tiempo, la cantidad de gases en el escape depende de la cantidad de combustible que se utilice; por lo tanto, existe una relación entre las emisiones gaseosas y el desempeño mecánico del motor.



© Derechos reservados / Probogotá Región

Figura 2. Calibración en la universidad de La Sabana, Cundinamarca

Para obtener un modelo matemático que correlacione los datos de operación obtenidos del vehículo (los datos que el dispositivo recupera y almacena) con sus emisiones gaseosas, se debe contar con un procedimiento que pueda relacionar los valores de los primeros con la cuantificación de lo segundo. Esto se obtiene a través del desarrollo de un procedimiento de calibración.

Durante el proceso de calibración, se simulan las condiciones operativas del motor montando el vehículo sobre un dinamómetro. El dinamómetro se puede utilizar para someter el vehículo a condiciones específicas, tales como condiciones de carga controlada, bajo las cuales se puede medir la respuesta del vehículo y registrar dicha respuesta. Al mismo tiempo, se miden en exhosto los gases producidos en cada una de estas condiciones simuladas.

Al correlacionar los valores de los datos de operación del vehículo con sus correspondientes emisiones gaseosas, se puede construir una función de interpolación que encuentra un valor de emisión a cualquier condición de operación. Esta función es la que se utiliza, posteriormente, para calcular las emisiones específicas del vehículo al utilizarla para la estimación (cálculo) del valor de la emisión específica en cada instante de tiempo para el que se tengan datos de comportamiento del vehículo. La agregación de estos datos nos da como resultado la emisión gaseosa del vehículo durante un período de operación.

---

# 3.



## Plataforma

Se implementó una arquitectura de software para recopilar, procesar, almacenar y visualizar los datos capturados por los dispositivos IoT instalados en los vehículos. Esta arquitectura se divide en dos capas: una capa por lotes que calcula agregaciones e indicadores para poblar visualizaciones que requieren una mayor cantidad de datos, y una capa de velocidad que captura datos en línea para poblar visualizaciones de mapas en vivo y series de tiempo.

De igual manera, la plataforma se descompone en 6 módulos: captura, procesamiento de flujo, lago de datos, bases de datos, API REST (Representational State Transfer Application Programming Interface) y visualización web. Primero, la captura de la información de los vehículos se realiza mediante un WebSocket (es una tecnología avanzada que hace posible abrir una sesión de comunicación interactiva entre el navegador del usuario y un servidor), para la capa de velocidad, y una API, diariamente, para la capa por lotes. Segundo, el flujo de datos es preprocesado y dirigido hacia las herramientas de almacenamiento.

Luego, el lago de datos, implementado en el entorno de Big Data Apache Hadoop, almacena los datos crudos de la capa por lotes para posterior análisis. Posteriormente, se realiza el proceso ETL (Extract, Transform and Load) con la información del lago de datos para estimar las emisiones, incluyendo: óxidos de nitrógeno (NOx), hidrocarburos (HC), dióxido de carbono (CO2) y

hidrocarburos (HC), dióxido de carbono (CO2) y monóxido de carbono (CO). Luego, el módulo de base de datos se compone de dos partes. Primero, una base de datos SQL, que contiene las emisiones estimadas previamente, así como información de los usuarios, empresas, vehículos, conductores y viajes generados en la visualización web. Segundo, una base de datos NoSQL para la capa de velocidad que almacena los datos en línea durante un día.

Después, la API REST conecta los datos con la visualización web por medio de la colecta y organización de la información relevante en las bases de datos, y mejora la seguridad y privacidad de la aplicación por medio de niveles de permisos.

Finalmente, la visualización web se divide en dos partes principales: una para el público general y otra para las empresas que participaron en el piloto.

Por su parte, la plataforma pública consiste principalmente de cuatro vistas de gráficos de datos agregados para todo público; un mapa en vivo gracias a la capa de velocidad del software; tres gráficas: históricos, indicadores y localidades que se actualizan diariamente; y dos vistas de inicio e información de las organizaciones aliadas del piloto. Ejemplos de tales visualizaciones son las siguientes figuras.

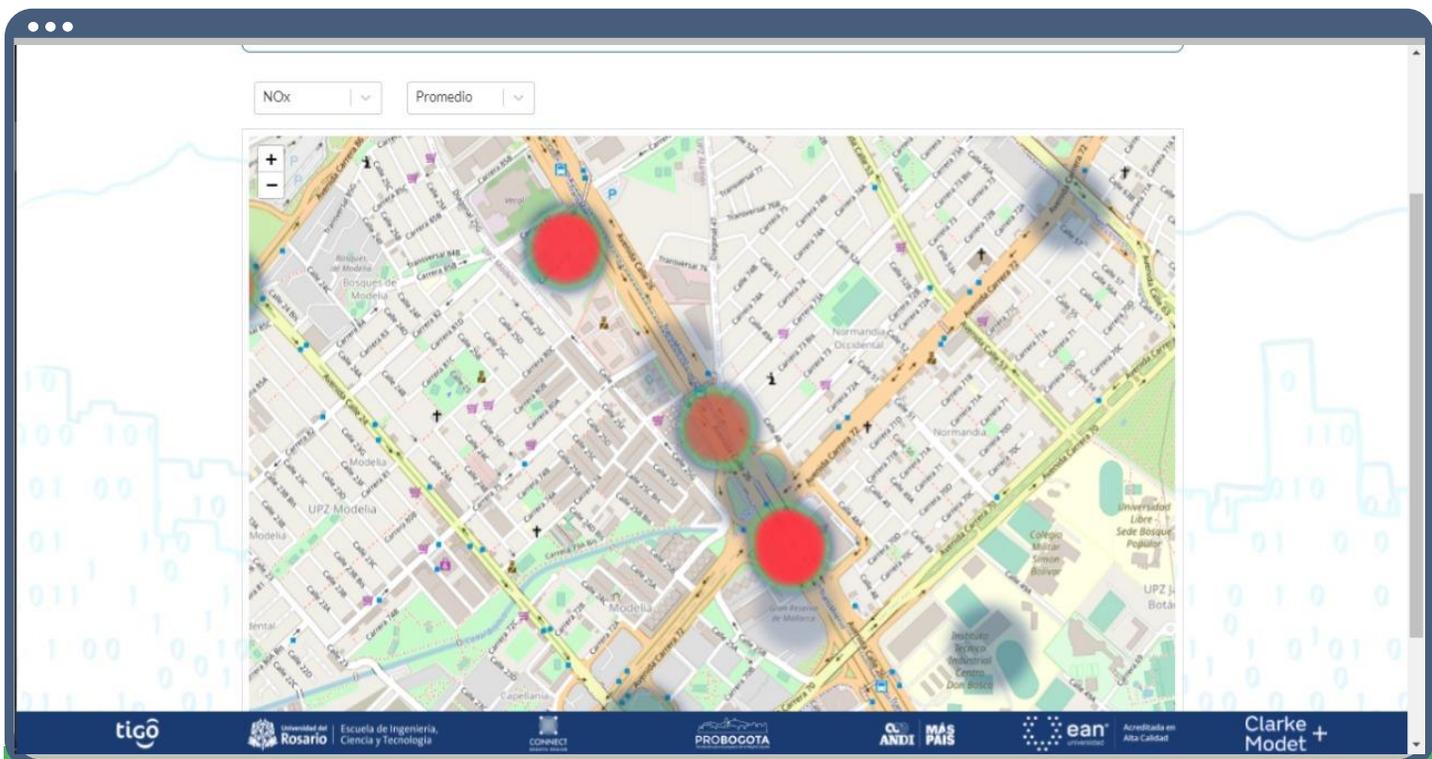


Figura 3. Mapa para visualización de emisiones de un trayecto medido



Figura 4. Gráficas de emisiones acumuladas por fecha

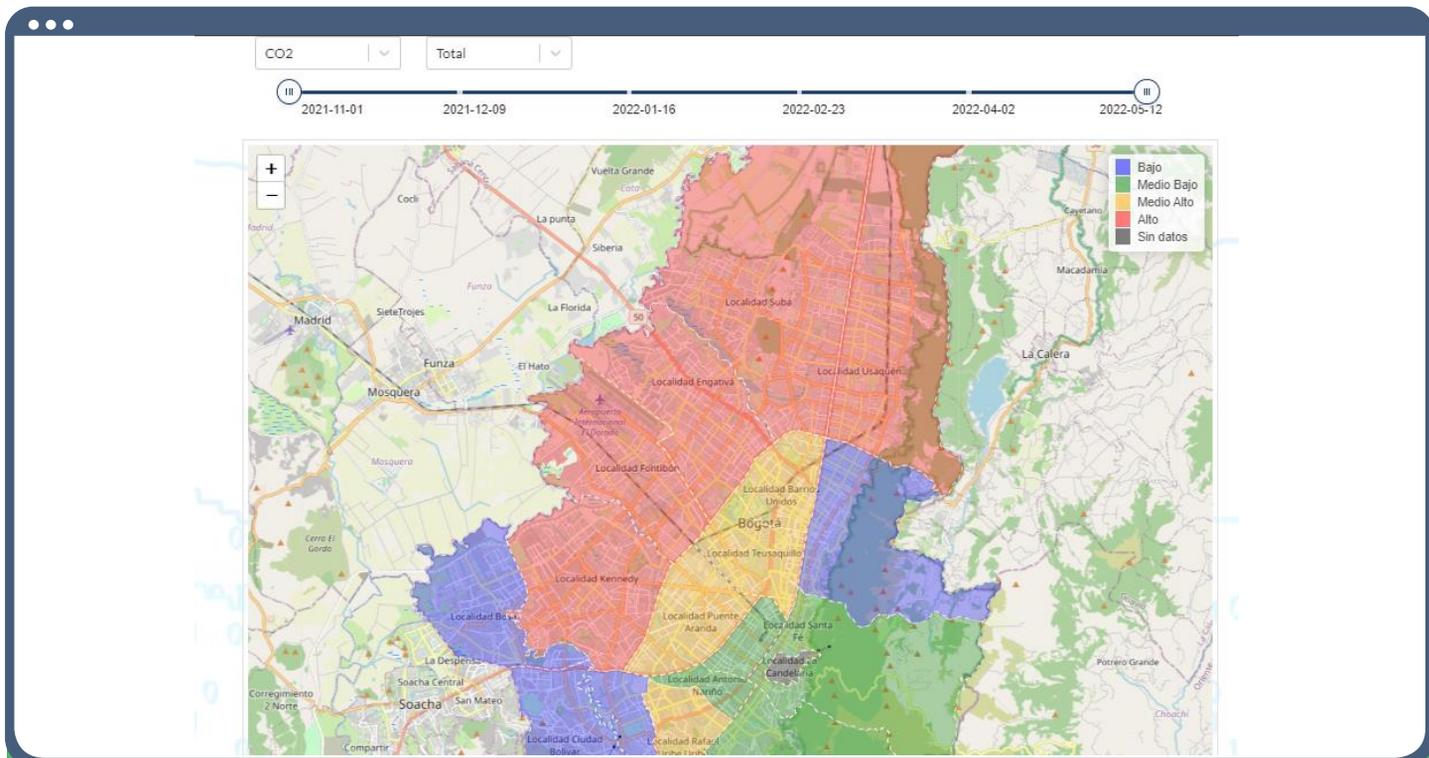


Figura 5. Mapa de emisiones acumulado (disponible para el público)

Por otra parte, la plataforma privada es accesible para usuarios de las compañías registradas previamente, los cuales pueden ser de diversos tipos según su nivel de acceso: administrar, modificar y consultar. Desde este acceso privado los usuarios pueden ingresar a vistas de conductores, vehículos y viajes, que permiten consultar, modificar, agregar y eliminar en la categoría correspondiente dependiendo de su nivel de acceso.

Además, se encuentra una sección de visualizaciones que contiene gráficos con datos en línea y por lotes. Entre estos gráficos se encuentran mapas con diversas capas, series de tiempo del histórico de emisiones e índices de las emisiones agrupados por vehículos y conductores. A continuación, se encuentran algunas capturas de la plataforma privada.

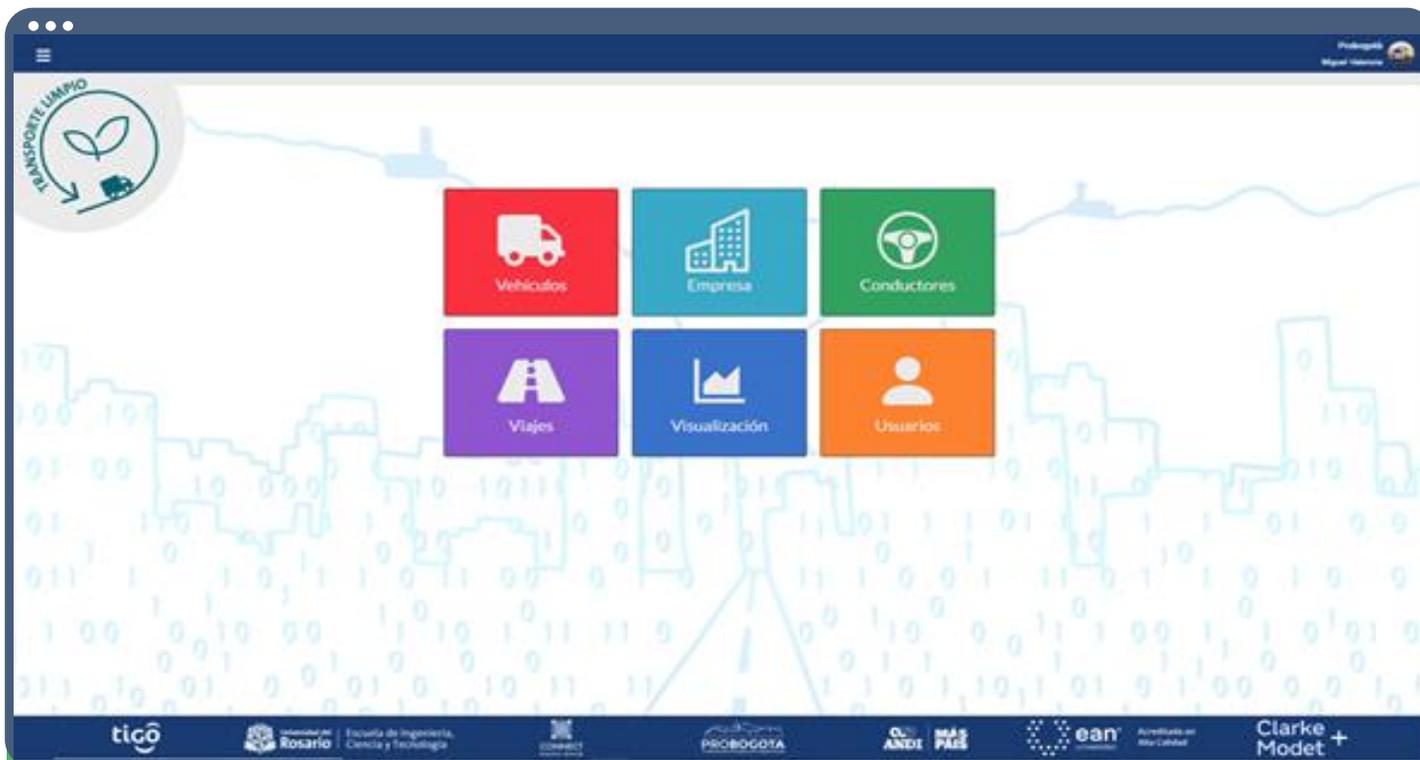


Figura 6. Interfaz de la plataforma web

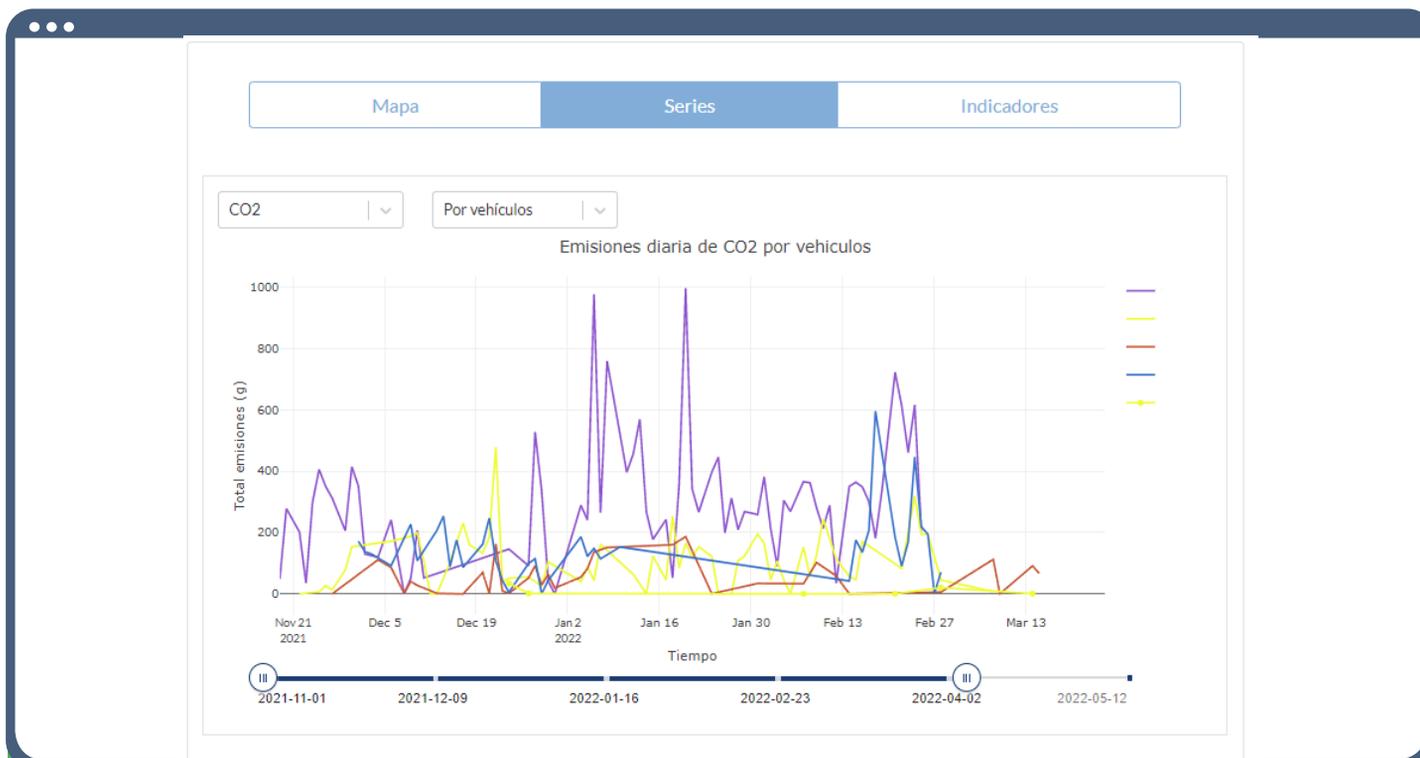


Figura 7. Gráfica acumulada de emisión por vehículos disponible para las empresas

---

# 4.



## Hallazgos del Piloto

Dada la importancia de las calibraciones y el tiempo que conlleva realizar el ajuste de los modelos correspondientes, a continuación, se muestran hallazgos de la plataforma pública para el mes de febrero de 2022 de 5 vehículos con una única calibración. Primero, del histórico de emisiones totales se puede apreciar el día 24 de febrero como el día con más emisiones, llegando hasta 1380 gr de CO<sub>2</sub> y 1751 gr de NO<sub>x</sub>. Además, los cuatro contaminantes tienen un comportamiento similar a lo largo del mes, pero en diferentes niveles, donde los óxidos nitrosos son los gases que más se producen y los hidrocarburos los que menos se producen.

En cuanto al comportamiento individual de los vehículos, en promedio cada poco segundo los vehículos de la muestra emiten alrededor de 0.11 gramos de CO<sub>2</sub>, esto para todos los días de febrero. Sin embargo, el valor máximo que llegan a emitir tiene una gran variabilidad a lo largo de los días, esto puede ser consecuencia de los efectos del tráfico. Además, es interesante ver como para CO, NO<sub>x</sub> y HC, a diferencia del CO<sub>2</sub>, los valores máximo y mínimo de emisiones en el día para los vehículos tienen muy poca fluctuación.



Figura 8. Gráfica de emisiones promediadas de CO<sub>2</sub>

En cuanto al comportamiento de las emisiones a lo largo del día se nota que hay dos picos de emisiones: el primero entre las 9 y 10 de la mañana, y luego uno mayor entre las 5 y 6 de la tarde. Así mismo, también hay un gran llano desde la medianoche hasta las 8 de la mañana, y se

presentan muy pocas emisiones en los días domingos. Luego, al revisar las emisiones promedio, los domingos la emisión de CO2 de los vehículos es menor y entre las 5 y 8 de la mañana los vehículos tienen un factor de emisión diferente, mayor en el CO y menor en el CO2.





Por el lado de las localidades, el panorama no es diferente entre contaminantes. En febrero, los vehículos del estudio produjeron la mayor cantidad de emisiones en la localidad de Fontibón, alcanzando los 2062 gramos de CO<sub>2</sub>, seguido por los altos niveles de las localidades de Engativá, Suba y Usaquén.

En contraste, las localidades en las que menos emisiones se presentaron fueron en Bosa, Ciudad Bolívar y San Cristóbal. Sin embargo, este comportamiento varió entre las semanas del mes.

---

# 5.



## Beneficios del piloto

El uso de las tecnologías y sistemas de información del piloto permite conocer información valiosa para la toma de decisiones de distintos grupos de interés.

## **A las empresas les permite:**

### **01.**

Medir y conocer sus emisiones para diseñar estrategias que les permita cumplir metas de reducción de GEI.

### **02.**

Hacer optimización de rutas y de horarios (para evitar el efecto trancón).

### **03.**

Mejora de factor de emisión por carga y por ruta del transporte g/t.km.

### **04.**

Comportamiento del motor según los datos (Condition monitoring)

### **05.**

Análisis comparativos para evaluación de conductores (mejor conducción)

### **06.**

Obtener una medida representativa de las emisiones representativas de cada empresa de forma dinámica

## Al sector público le permite:

### 01.

Monitorear las emisiones del transporte de carga y medir el impacto de políticas públicas, incentivos, regulación, tarifas diferenciadas, entre otros mecanismos, que buscan el logro de las metas de las entidades territoriales y del país frente al cambio climático.

### 02.

Tomar decisiones de Política Pública basadas en datos, estadística y mediciones de emisiones provenientes del transporte de carga.

### 03.

Medida representativa de las emisiones (agregado hacia ruta o hacia ciudad).

## A la ciudadanía:

Finalmente, la ciudadanía se beneficia al contar con una plataforma de datos abiertos que permite hacer seguimiento de las emisiones en el transporte de carga y conocer los lugares de la ciudad donde son más vulnerables por los niveles de contaminación del aire.

El Piloto de Transporte Limpio es un proyecto de inteligencia colectiva que conecta el conocimiento, experiencia y capacidades de varias organizaciones de la sociedad civil, universidades, agremiaciones, empresa de desarrollo tecnológico y empresas del sector de transporte. Además, aunque es un proyecto de iniciativa privada mantuvo el acompañamiento de la Secretaría Distrital de Ambiente.

Aunque en su primera fase sólo medimos los gases de efecto invernadero en 27 vehículos, el piloto nos permitió descubrir múltiples funcionalidades y utilidad para la toma de decisiones de actores del sector empresarial, público y para la ciudadanía en general. Este primer piloto fue importante para impulsar la investigación y desarrollo local, probar el funcionamiento de los desarrollos tecnológicos y la efectividad de la metodología. Para una segunda fase pretendemos aumentar la muestra de la medición para lograr tener una masa de datos representativa y así poder hacer recomendaciones de política pública y de desarrollo urbano, y desarrollar un software abierto que organizaciones y ciudadanos puedan usar para el monitoreo de emisiones.





# Piloto en transporte limpio.



Universidad del  
**Rosario**

Escuela de Ingeniería,  
Ciencia y Tecnología