



**Cleanair@schools: Proyecto de ciencia
ciudadana en escuelas de Girona - año
2019**

Cleanair@schools: Proyecto de ciencia ciudadana en escuelas de Girona - año 2019



Cleanair@schools: Proyecto de ciencia ciudadana en escuelas de Girona - año 2019

Jaume Targa, Lorena Banyuls y Anna Ripoll

4sfera Innova SLU

B55061873

www.4sfera.com

Oficina Girona

C/Maluquer Salvador 2, 6e 1a

Girona - CP 17002

Tel.: +34 679380101

Oficina Barcelona

C/Sants 125, 4t 3a

Barcelona - CP 08028

Tel.: +34 635874181

Projecte AD02902

Restringit-comercial

El objetivo de este informe es presentar los resultados de calidad del aire del proyecto de ciencia ciudadana “Cleanair@School”, llevado a cabo en la ciudad de Girona el año 2019.

Cleanair@School es una iniciativa que pretende mejorar el conocimiento de los alumnos sobre su exposición a un contaminante atmosférico clave como es el dióxido de nitrógeno (NO₂). Esto se lleva a cabo mediante campañas de ciencia ciudadana en torno a las escuelas en diferentes países de Europa. Los niños y niñas de las escuelas participantes aprenden sobre la contaminación del aire y sus efectos para la salud. Además, tanto profesores, alumnos como padres ven como el tráfico afecta a la calidad del aire que respiran. Finalmente la cuestión clave es si con estos conocimientos los padres cambian algunas pautas de conducta relacionadas, sobre todo, con la movilidad (dejan de llevar a sus hijos a la escuela en coche, van a trabajar en transporte público, ...).

El proyecto se ha ejecutado con la ayuda del Ministerio para la Transición Ecológica (MITECO) y el Ayuntamiento de Girona, en 9 centros educativos distribuidos por diferentes barrios de la ciudad. De esta manera se ha obtenido una buena cobertura espacial con datos de calidad del aire de casi toda la ciudad. Los 9 centros educativos incluidos en el estudio son:

- Escola Bosc de la Pabordia
- Escola Domeny
- Escola FEDAC Pont Major
- Escola Dr.Masmitjà
- Escola Migdia
- Escola Pla de Girona
- Institut La Salle Girona
- Escola Sta. Eugènia
- Escola Vedruna

El proyecto ha involucrado 9 centros educativos y más de 300 alumnos de la ciudad en la preparación y selección de los puntos de medida. La actividad de colocación y retirada de los sensores de calidad del aire ha sido realizada por los alumnos de ciclo medio y ciclo superior de primaria, con la ayuda de los profesores de cada centro, y en algún caso, con la colaboración de los padres. Los resultados presentados en

este informe serán utilizado por los centros educativos para trabajar el tema de la contaminación del aire y posibles cambios de hábitos durante el curso escolar.

A nivel de calidad del aire, los resultados obtenidos indican que las concentraciones de NO₂ en la ciudad de Girona oscilan entre 10.8 y 61 ug/m³, con una media de 29 ug/m³.

Concretamente, el fondo urbano de la ciudad varía entre 13.1 ug/m³ y 38.7 ug/m³, con una media de 24.2 ug/m³. Por lo tanto todos los puntos de fondo son inferiores al valor límite de 40 ug/m³. Estos niveles tienden a ser representativos de zonas más amplias donde está expuesta más población que no los puntos de tráfico. Los niveles de fondo están en concordancia con los niveles de fondo de otras ciudades cercanas a Girona.

Las concentraciones más altas de NO₂ se han registrado en los puntos de más tráfico, como era de esperar. En particular, las concentraciones en las zonas de tráfico oscilan entre 14.6 ug/m³ y 61 ug/m³, con una media de 32. Sólo 22 puntos de 129 presentan concentraciones superiores a 40 ug/m³. Los puntos con niveles más altos se deben a la elevada cantidad de vehículos motorizados que circulan y la poca dispersión de los contaminantes debido a la orografía urbana.

Sin embargo, el impacto en los niveles de calidad del aire en los interiores de las aulas es menor. *Los niveles de NO₂ en el interior del aula de todas las escuelas estudiadas oscilan entre 10.8 ug/m³ y 29.9 ug/m³, con una media de 20.3 ug/m³.*

La variación de las concentraciones de NO₂ al entorno de los centros educativos varía entre los diferentes centros, dependiendo de su ubicación, cercanía a vías principales y distribución de los edificios dentro del recinto escolar.

La mejora de la calidad del aire en zonas urbanas, y concretamente alrededor de las escuelas, es un tema complejo pero importante. En los últimos años, en toda Europa diferentes actuaciones se han llevado y se están llevando a cabo para mejorar la calidad de estas zonas sensibles. Según los resultados obtenidos en este estudio se recomiendan los siguientes puntos relacionados con la mejora de la calidad del aire a nivel municipal:

- Seguimiento más exhaustivo de los centros educativos con niveles medios-altos (incorporando estudios de exposición)

- Seguimiento de otros receptores sensibles como centros de la tercera edad.
- Elaboración de Planes Espaciales para hacer el seguimiento de las escuelas más problemáticas.
- Estudiar mejoras en el tráfico de las zonas con niveles elevados y hacer calles con prioridad para los peatones (concretamente alrededor de las escuelas).
- Plan de calidad del aire municipal, incorporando la calidad del aire dentro de la política municipal (sobre todo en el Plan de Movilidad).
- Continuar trabajando con herramientas para reducir las emisiones.
- Modelar la calidad del aire en la ciudad de Girona.

1 Introducción

El Ministerio para la Transición Ecológica (MITECO) ha encargado la ejecución de un proyecto de ciencia ciudadana para mejorar el conocimiento sobre la contaminación del aire y sus efectos para la salud a las escuelas de la ciudad de Girona.

Cleanair@School es un proyecto sobre la calidad del aire alrededor de las escuelas. Este proyecto está coordinado por la Agencia Europea del Medio Ambiente y desarrollado por la red Europea de Agencias de Protección Ambiental (EPAs). Participan los siguientes países: Bélgica, Suecia, Irlanda, Malta, Estonia, Holanda, España, Escocia, Gales e Italia.

La realización de las medidas de la calidad del aire se lleva a cabo mediante la participación ciudadana (alumnos, profesores, padres y madres, ...) con el apoyo de las EPAs correspondientes a cada país que voluntariamente se han adherido al proyecto. Las EPAs proporcionan un protocolo armonizado para la realización de las medidas y una estrategia común para el procesamiento, el análisis y la comunicación pública de los datos obtenidos.

1.1 Objetivos

Los objetivos de este proyecto son:

- Sensibilizar a la ciudadanía sobre la calidad del aire y ver si con los conocimientos adquiridos cambian algunas pautas de conducta relacionadas, sobre todo, con la movilidad.
- A nivel más técnico, esta iniciativa también quiere valorar si los datos recogidos por la ciudadanía pueden complementar las medidas “oficiales” de calidad del aire para proporcionar un mejor conocimiento y comprensión de la calidad del aire local.
- Apoyar a la comprobación de la aptitud de la información y seguimiento de la Comisión Europea: Acción 8: “Impulsar un uso más amplio de la ciencia ciudadana para complementar la información ambiental”.

La calidad del aire se ha medido utilizando dosímetros pasivos de NO₂ del tipo Palmes. Estos dosímetros se han utilizado extensivamente en el Reino Unido y en otras campañas en Cataluña y España.

2 La contaminación atmosférica

La contaminación del aire es un problema global con consecuencias locales, ya que afecta la salud de las personas y los ecosistemas. Las acciones efectivas para reducir la contaminación atmosférica, y por tanto su impacto, requieren un buen conocimiento de sus causas: cuáles son las principales fuentes de contaminación, y cómo se transportan y transforman los contaminantes en la atmósfera. Además, la colaboración y coordinación de acciones a nivel internacional, nacional y local es fundamental para disminuir la contaminación del aire. Tras el cambio climático, la contaminación atmosférica es la mayor preocupación que tienen los europeos en materia de medio ambiente (EuropeanCommission, 2017).

En los últimos años la mayoría de la población europea que vive en zonas urbanas ha respirando aire contaminado, que incumple los valores de referencia recomendados por la directiva de la Unión Europea (UE) y por la Organización Mundial de la Salud (OMS) (EuropeanEnvironmentAgency, 2018). Se estima que la exposición a una mala calidad del aire causa alrededor de 400.000 muertes prematuras al año en Europa (Lim, 2012; WHO, 2014, 2016; GBD 2016 Risk Factors Collaborators, 2017; HEI, 2018). Además, la exposición a corto y largo plazo de niños y adultos a la contaminación atmosférica puede reducir la capacidad pulmonar, provocar infecciones respiratorias, y agravar el asma, entre otras enfermedades. También se ha observado que la exposición de mujeres embarazadas a una mala calidad del aire afecta el desarrollo de los fetos (WHO, 2005, 2013).

Según el informe anual de la calidad del aire en Cataluña realizado por el Departament de Territori i Sostenibilitat, mediante los datos oficiales registrados en las estaciones de referencia (GeneralitatDeCatalunya, 2018), los contaminantes más problemáticos en Cataluña durante 2018 fueron el dióxido de nitrógeno (NO₂), el ozono troposférico (O₃), el sulfuro de hidrógeno (H₂S), y el cloruro de hidrógeno (HCl).

2.1 El dióxido de nitrógeno (NO₂)

El dióxido de nitrógeno es un gas formado por dos átomos de oxígeno y uno de nitrógeno. Es de color marrón y tiene un olor fuerte. Es uno de los elementos que forma el smog

fotoquímico y precursor del ácido nítrico, que es uno de los constituyentes de la lluvia ácida, además es precursor de partículas secundarias.

La principal fuente de emisión del NO₂ es la combustión, tanto la antropogénica, derivada del transporte (terrestre, aéreo y / o marítimo) y la industria, como la natural, procedente de la quema de biomasa y/o otros procesos naturales (volcanes, ...). La cantidad de NO₂ emitida depende de las condiciones de la combustión y de la cantidad de combustible quemado.

En concentraciones superiores a 200 ug/m³ (valor límite horario según la normativa europea) el NO₂ provoca una inflamación significativa de las vías respiratorias. Estudios epidemiológicos muestran que una exposición prolongada a concentraciones elevadas de NO₂ aumenta los síntomas de bronquitis en niños asmáticos y una reducción de la función pulmonar de la población sana.

3 Legislación de referencia para evaluar la calidad del aire

El objetivo de la legislación en materia de contaminación atmosférica es preservar la calidad del aire a fin de evitar, prevenir o reducir los potenciales efectos nocivos que la presencia de determinados compuestos en el aire pueda ocasionar en la salud humana y el medio ambiente en su conjunto (www.gencat.net/mediamb). Para alcanzar esta finalidad la legislación establece los instrumentos necesarios para:

- Limitar las emisiones a la atmósfera de agentes contaminantes.
- Definir y establecer unos valores de referencia para los niveles de contaminación en el aire ambiente (niveles de inmisión).

Para hacer la valoración del estado de la calidad del aire, se comparan los valores medidos en el territorio con unos niveles de referencia que establece la legislación.

3.1 Legislación Europea

A causa de estas consecuencias para la salud, el medio ambiente y la degradación de la calidad del aire urbano, debido al incremento de la actividad humana, se ha creado legislación para los contaminantes más importantes. Por ejemplo, la Unión Europea ha introducido varias directivas para establecer niveles estándares y objetivos por años futuros. Las concentraciones de dióxido de nitrógeno (NO₂) en el aire ha sido regulada en Europa desde el año 1995 con la Directiva 85/203 y con la Directiva Hija 1999/30 desde enero de 2000. Actualmente, la evaluación de la calidad del aire se hace de acuerdo con la legislación vigente (Directiva 2008/50 / CE). Los Estados miembros han tenido que adoptar estas directivas a fin de prevenir los conocidos efectos para la salud y el medio ambiente anteriormente mencionados. En el estado Español, esta la Directiva 2008/50 / CE que ha sido transpuesta con el Real Decreto 102/2011.

Estas leyes tienen como objetivo establecer estándares a que cada estado debería llegar a fin de proteger a las personas de los efectos del dióxido de nitrógeno y contribuir a la protección del medio ambiente a largo plazo. La UE requiere métodos precisos y cuidadosos para medir las inmisiones de NO₂ por todos los estados miembros. Para cumplir con las directivas mencionadas, las medidas de dióxido de nitrógeno se obtendrán utilizando el método de referencia de quimiluminiscencia. Por esta razón, se han tenido

que implementar redes automáticas de medida por toda la Comunidad Europea. En Cataluña el responsable de evaluar la calidad del aire es el Departamento de Territorio y Sostenibilidad de la Generalidad de Cataluña, a partir de los datos recogidos con la Red de Vigilancia y Prevención de la Contaminación Atmosférica (XVPCA). Los datos recogidos con la XVPCA se centralizan en el Servicio de Vigilancia y Control del Aire para evaluar la calidad del aire y ser enviadas al Ministerio para la Transición Ecológica (MITECO) de la Administración del Estado, a la Agencia Europea del Medio Ambiente (EEA) y a la Comisión Europea (EC).

Aparte de la técnica automática de quimiluminiscencia, necesaria para cumplir con las directivas europeas mencionadas para evaluar los niveles estándares, puede ser utilizada otra metodología llamada indicativa para medir las inmisiones de dióxido de nitrógeno. La sección Metodología amplía la información de este método utilizado en este estudio.

3.2 Legislación estatal

La legislación española sobre calidad del aire actualmente en vigor viene representada por las siguientes normas:

- Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera.
- Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire.

A continuación se destacan aquellos apartados relacionados con el dióxido de nitrógeno y la evaluación de la calidad del aire.

3.2.1. Ley 34/2007

La Ley 34/2007 actualiza la base legal para los desarrollos relacionados con la evaluación y la gestión de la calidad del aire en España, y tiene como fin último el de conseguir unos niveles óptimos de calidad del aire para evitar, prevenir o reducir riesgos o efectos negativos sobre la salud humana, el medio ambiente y demás bienes de cualquier naturaleza. Mediante la misma se habilita al Gobierno a definir y establecer los objetivos de calidad del aire y los requisitos mínimos de los sistemas de evaluación

de la calidad del aire, y sirve de marco regulador para la elaboración de los planes nacionales, autonómicos y locales para la mejora de la calidad del aire.

Se establecen, pues, los principios esenciales en materia de prevención, vigilancia y reducción de la contaminación atmosférica. Vale la pena destacar los siguientes:

- Los fundamentos de la evaluación y gestión de la calidad del aire, basado en tres pilares: los contaminantes a evaluar y sus objetivos de calidad (artículo 9), las obligaciones de la evaluación (artículo 10), y la zonificación del territorio (artículo 11), según los niveles de contaminantes para los que se hayan establecidos objetivos de calidad.
- La planificación, centrada en la elaboración de planes y programas para la protección de la atmósfera y para minimizar los efectos negativos de la contaminación atmosférica (Art. 16).
- El deber de las comunidades autónomas y, en su caso, entidades locales, disponer de estaciones, redes y otros sistemas de evaluación de la calidad del aire suficientes para el cumplimiento de sus obligaciones, de acuerdo con lo indicado en la norma (Art. 28).

3.2.2. Real Decreto 102/2011

Se destaca la norma del Real Decreto 102/2011, ya que resulta esencial en la evaluación y gestión de la calidad del aire en España.

El Real Decreto 102/2011, del 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire, transpone al ordenamiento jurídico español el contenido de la Directiva 2008/50 / CE, de 21 de mayo de 2008. Se aprueba con el fin de evitar, prevenir y reducir los efectos nocivos de las sustancias mencionadas sobre la salud humana, el medio ambiente en su conjunto y otros bienes de cualquier naturaleza, lo que a su vez conlleva la consecución de diversos objetivos parciales:

- Definir y establecer objetivos de calidad del aire en cuanto a las concentraciones de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno, partículas, plomo, benceno, monóxido de carbono, ozono, arsénico, cadmio, níquel y benzo (a) pireno en el aire ambiente.

- Determinar la información a la población y a la Comisión Europea sobre las concentraciones y los depósitos de las sustancias mencionadas en los apartados anteriores, el cumplimiento de sus objetivos de calidad del aire, los planes de mejora y otros aspectos regulados en la norma.

Para ello, el Real Decreto:

- Define las actuaciones a llevar a cabo, en el ámbito de sus respectivas competencias, por las Administraciones públicas, en concreto, por el actual Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (a través de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural y de la Agencia Estatal de Meteorología), por el Instituto de Salud Carlos III, y por las comunidades autónomas y entidades locales (artículo 3).
- Determina los Objetivos de Calidad del Aire para cada uno de los contaminantes regulados (es decir, SO₂, NO₂, NO_x, PM₁₀, PM_{2,5}, Pb, C₆H₆, CO, O₃, As, Cd, Ni y B(a)P), así como los criterios de agregación y cálculo correspondientes (artículo 4 y Anexo I).
- Establece la obligación de dividir el territorio de las diferentes comunidades autónomas en zonas y aglomeraciones, en las que se llevarán a cabo las actividades de evaluación y gestión de la calidad del aire (artículo 5).

De forma resumida, sienta las bases de la evaluación de la calidad del aire, enfocada a tres tipos o grupos de contaminantes:

- Evaluación de la calidad del aire en relación al dióxido de azufre, el dióxido de nitrógeno y los óxidos de nitrógeno, las partículas, el plomo, el benceno y el monóxido de carbono, el arsénico, el cadmio, el níquel, el mercurio, el benzo (a) pireno y los otros hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP). Para todos estos contaminantes excepto mercurio y HAP, se obliga a la clasificación de cada zona o aglomeración en función de los umbrales de evaluación establecidos teniendo en cuenta los principios de implantación de las estaciones de muestreo y determina el método de evaluación (mediciones fijas, técnicas de modelización, campañas de mediciones representativas indicativas o una combinación de los mismos). También concreta aspectos relacionados con las mediciones, tales como:

los criterios de ubicación de los puntos de muestreo o la determinación del número mínimo de estos en medición fija (Anexo IV), los objetivos de calidad de los datos (anexos V y VI) o los métodos de referencia para la evaluación (Anexo VII).

El Real Decreto también se ocupa de la gestión de la calidad del aire, ya que:

- Fija varias obligaciones con respecto a los plazos de cumplimiento y de las necesidades de elaborar listados diferenciados por contaminante donde se indique los umbrales y límites legislados superados, por zonas y aglomeraciones, así como al estipular una serie de medidas aplicables según la superación o no superación de los límites, objetivos y/o umbrales establecidos, según el caso.
- Considera la posibilidad de solicitar prórrogas de los plazos de cumplimiento, y exenciones en la obligación de aplicar ciertos valores límite.

Como consecuencia de todo lo anterior, el Real Decreto estipula que cuando en determinadas zonas o aglomeraciones los niveles de contaminantes en el aire ambiente superen cualquier valor límite o valor objetivo, las comunidades autónomas aprobarán planes de calidad del aire para estas zonas y aglomeraciones para conseguir respetar el valor límite o el valor objetivo correspondiente.

Finalmente, el Real Decreto regula el intercambio de información (entre las administraciones públicas y la población) y establece el régimen sancionador para el incumplimiento de lo que dispone el mismo.

4 Metodología

4.1 Ciencia ciudadana

El proyecto se ha ejecutado con la ayuda del Ministerio para la Transición Ecológica y el Ayuntamiento de Girona, con lo que se amplía el conocimiento de la calidad del aire a nivel local. Se han analizado 195 puntos de medida repartidos por toda la ciudad a nivel de calle y de forma sincronizada.

Se escogió la ciudad de Girona como punto de partida del proyecto [CleanAir@Schools](#) ya que durante el curso escolar 2018/2019 ya se había hecho una prueba piloto en una escuela de la ciudad y también se han realizado medidas de calidad de el aire en la ciudad desde el año 2008 (desde 2000 discontinuamente).

4.2 Selección de escuelas

Las escuelas contactadas para realizar el proyecto fueron propuestas por el Ayuntamiento de Girona ya que forman parte del programa “Escoles Verdes” que promueve el Departament de Territori i Sostenibilitat (Generalitat de Catalunya). De los centros contactados, 9 aceptaron participar en el estudio, entre los que hay una mezcla de centros públicos y concertados (cuadro 1 i figura 1).

Cuadro 1: *Centros educativos de la ciudad incluidos en el estudio.*

Centros educativos
Escola Bosc de la Pabordia
Escola Domeny
Escola FEDAC Pont Major
Escola Dr. Masmitjà
Escola Migdia
Escola Pla de Girona
Institut La Salle Girona
Escola Sta. Eugènia
Escola Vedruna

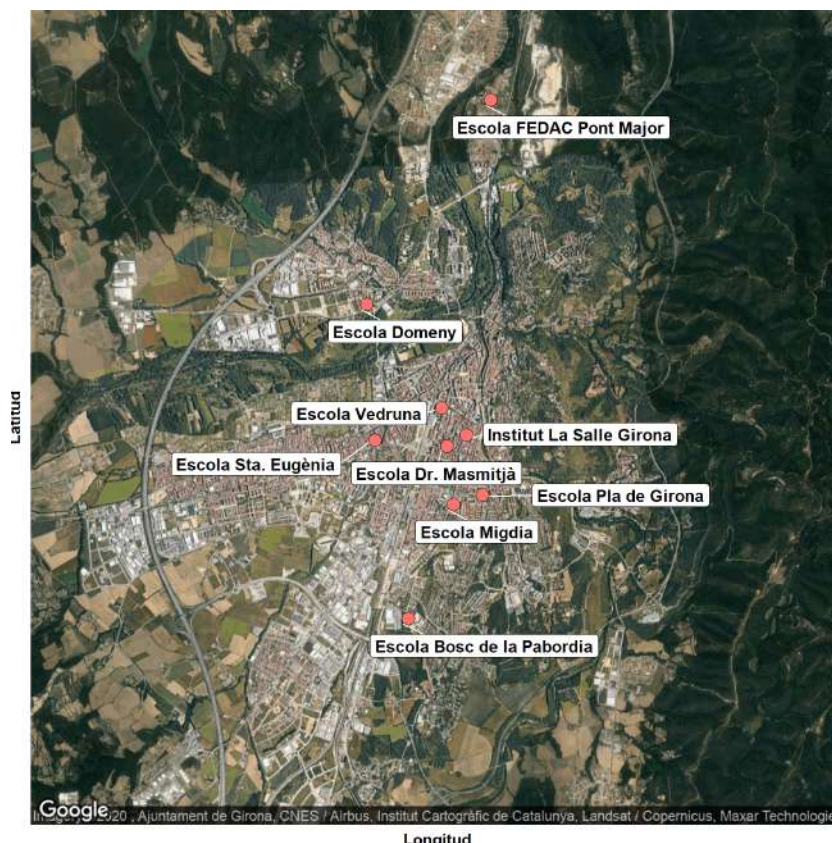


Figura 1: Mapa de las escuelas seleccionadas.

La actividad la realizaron los alumnos de ciclo medio y ciclo superior de primaria con los profesores de cada centro, y en algún caso, con la colaboración de los padres.

Una de las escuelas que había aceptado participar en el proyecto se retiró del mismo en el momento de instalar los sensores porque no vio clara la organización con los alumnos a la hora de realizar la actividad. Entonces ofrecimos a la escuela de secundaria La Salle Girona participar en el proyecto porque tenían mucho interés en realizar proyectos ambientales.

Las campañas en las escuelas se han reforzado con la red de puntos de la ciudad de Girona y con la estación automática de referencia del Departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya.

Cada centro educativo designa una persona como punto de contacto para facilitar la coordinación de la actividad. Se deja libertad a los centros para que organicen la actividad según la naturaleza y funcionamiento de la escuela.

4.3 Calendario y ejecución

Además de las reuniones entre 4sfera Innova y el Ayuntamiento de Girona donde se establecen los objetivos del proyecto y se predefine el calendario, se hacen varias reuniones con los centros educativos donde se explica la actividad y se concreta el calendario.

Las escuelas preparan la actividad y trabajan con los alumnos para involucrarlos desde el comienzo con la actividad.

4.3.1. Primera reunión con los centros participantes: 8 de mayo - Centre Cívic Barri Vell

- Presentación de los diversos aspectos del proyecto, metodología, protocolos y primera discusión de donde poner los sensores. Además, se distribuye una guía de uso donde se describe paso a paso cómo se deben escoger los puntos y cómo se hace la instalación del sensor.
- Se decide que cada escuela tendrá 20 puntos a distribuir alrededor del centro, siempre teniendo en cuenta que habrá puntos de tipo de tráfico y de fondo urbano y que se instalará un punto en la entrada principal de la escuela, uno a dentro de un aula y uno en el patio principal.
- Se acuerda que los centros harán una propuesta de los puntos donde quieren poner los dosímetros siguiendo la hoja de cálculo modelo propuesta por la Agencia Europea del Medio Ambiente. En este documento se da un código único a cada punto, se describe el tipo de punto y se detalla su localización con la latitud y longitud. Con estos datos, 4sfera representa en un mapa la distribución de puntos de todas las escuelas.

4.3.2. Segunda reunión con los centros participantes: 19 de junio - Centre Cívic Barri Vell

- Revisión de las propuestas de distribución de puntos de medida de cada centro. Se acuerda con los centros el calendario de la instalación y recogida de los tubos para las dos campañas.

4.3.3. Tercera reunión con los centros participantes: 23 de septiembre - Centre Cívic Barri Vell

- Puesta en común de los mapas de la ciudad, resolución de últimas dudas y recogida de tubos.

4.3.4. Primera campaña de medida: 25 de septiembre - centros educativos

- Colocación de los sensores en toda la ciudad. Ventana horaria para colocar los sensores (entre las 9 h y las 17 h), desde cada escuela en los lugares preacordados y de forma sincronizada. Cada centro se divide en grupos pequeños donde hay un número determinado de alumnos y por lo menos un profesor y se distribuyen los puntos a instalar. Son los alumnos los que hacen la instalación del soporte y el sensor en los puntos predeterminados. En cada punto se hace una foto del punto y de la localización y se anota la hora de instalación.
- También se instalan los tubos de la red del Ayuntamiento de Girona y en la estación automática de la Generalitat.

4.3.5. Recogida de tubos primera campaña e instalación de la segunda campaña: 23/24 de septiembre - centros educativos

- Recogida de sensores de forma sincronizada con todos los centros.
- Colocación de los sensores en toda la ciudad. Ventana horaria para colocar los sensores (entre las 9 h y las 17 h), desde cada escuela en los lugares preacordados y de forma sincronizada.
- Una vez terminada la actividad, cada centro llevó los tubos recogidos, junto con la hoja con los datos de exposición de la primera campaña, a la “Caseta”.
- Revisión del material de la primera exposición y envío al laboratorio por parte de 4sfera.

4.3.6. Recogida de tubos de la segunda campaña: 20 de noviembre - centros educativos.

- Recogida de sensores de forma sincronizada con todos los centros. Recopilación de los tubos de todos los centros en la “Caseta”.

- Revisión de material y envío al laboratorio para el análisis por parte de 4sfera.

Para coordinar mejor la actividad se creó un grupo de *whatsapp* con un representante de cada centro, representantes del Ayuntamiento y de 4sfera.

4.4 Muestreo de la calidad del aire con sensores pasivos

Los niveles de dióxido de nitrógeno (NO_2) se han medido como indicador de la calidad del aire utilizando la técnica de tubos pasivos de NO_2 del tipo Palmes (figura 2). Este método es considerado indicativo, por lo que los datos que se obtienen son indicativos y en ningún caso se pueden utilizar como datos de referencia para cumplimiento normativo.

Sin embargo, la utilización de los dosímetros pasivos ha sido validada y utilizada en numerosos estudios en todo el mundo. Se trata de una técnica que presenta muchas ventajas porque no necesita ni mantenimiento, ni calibración, ni electricidad, lo que hace que se pueda aplicar fácilmente en cualquier ambiente y/o circunstancia. Se utiliza sobre todo en estudios preliminares y estudios base para investigar las distribuciones espaciales de los contaminantes atmosféricos tanto en ambientes urbanos como rurales, ya que es un método que permite cubrir áreas muy extensas del territorio.

Aunque esta técnica presenta muchas ventajas, hay que tener en cuenta que los dosímetros pasivos deben utilizarse con precaución y debidamente ya que pueden dar problemas intrínsecos al método, es por esto que la validación de los resultados es muy necesaria.

Un tubo pasivo de NO_2 del tipo Palmes es un captador de gas que consiste en un tubo acrílico de 7.1 cm de largo y un diámetro interno de 1.1 cm. Una membrana impregnada de triethanolamine (TEA) colocada en el tapón superior del captador (color gris en la figura 2) absorbe el dióxido de nitrógeno del aire. El transporte del gas a través del tubo es debido al proceso físico de difusión (Targa, 2001).



Figura 2: *Dosímetro pasivo de NO₂ del tipo Palmes*

Con los captadores pasivos, la resolución temporal es igual al periodo de exposición de este mismo que suele ser de 4 semanas. Es decir, que los resultados obtenidos con los captadores son iguales a la media del periodo. Por esta razón, **los resultados obtenidos sólo se pueden comparar con valores referentes a medias mensuales/anuales** y no a medias horarias ya que el método no es capaz de medir en una resolución de tiempo tan pequeña.

A continuación, se detalla la información referente a la campaña de muestreo.

4.5 Periodo de medida

Las campañas de medición de las concentraciones de NO₂ se han realizado durante 2 periodos de 4 semanas cada uno. Concretamente, los captadores pasivos midieron en las siguientes fechas:

- 25/09/2019 y 23/10/2019
- 23/10/2019 y 20/11/2019

4.6 Estrategia de medida

La estrategia de medida ha seguido el objetivo principal del estudio que era ver de manera indicativa la distribución espacial de NO₂ en el municipio y concretamente en 9 escuelas de la ciudad. Para evaluar la calidad del aire se han escogido como mínimo los siguientes tipos de puntos:

- Punto interior en alguna aula próxima a vías con tráfico principal (I)
- Punto exterior en el patio principal
- Punto a la entrada principal de la escuela
- Puntos de fondo alejados del tráfico (UB)
- Puntos cercanos a vías transitadas (UT)

Con el objetivo de obtener la distribución espacial de NO₂ alrededor de las escuelas, 195 puntos se colocaron en la ciudad de Girona (figura 3). El estudio ha evitado la colocación de tubos en cruces según normas de microimplantación. La lista completa de los puntos se incluye en la sección de cada escuela. Esta es la primera campaña de medición de los niveles de NO₂ con captadores pasivos para el estudio específico de los niveles alrededor de las escuelas.



Figura 3: Mapa de los puntos de muestreo.

4.7 Puntos de muestreo dentro y fuera de los centros educativos

El muestreo de la calidad del aire se llevó a cabo por parte de la comunidad educativa en 9 escuelas de Girona. Cada escuela dispuso de material para muestrear en 20 puntos alrededor y dentro del centro educativo. Cada punto de muestreo ha sido fotografiado para contextualizar mejor los resultados.

4.7.1. Escola Bosc de la Pabordia

El muestreo de la calidad del aire se llevó a cabo en 19 puntos de medida alrededor y dentro del centro educativo. Los diferentes puntos de muestreo del estudio incluyen 4 puntos de fondo, 2 puntos en el interior de un aula y 13 puntos de tráfico.

El mapa de la figura 4 ilustra la localización de los diferentes puntos de muestreo y el cuadro 2 enumera las localizaciones y su descripción.

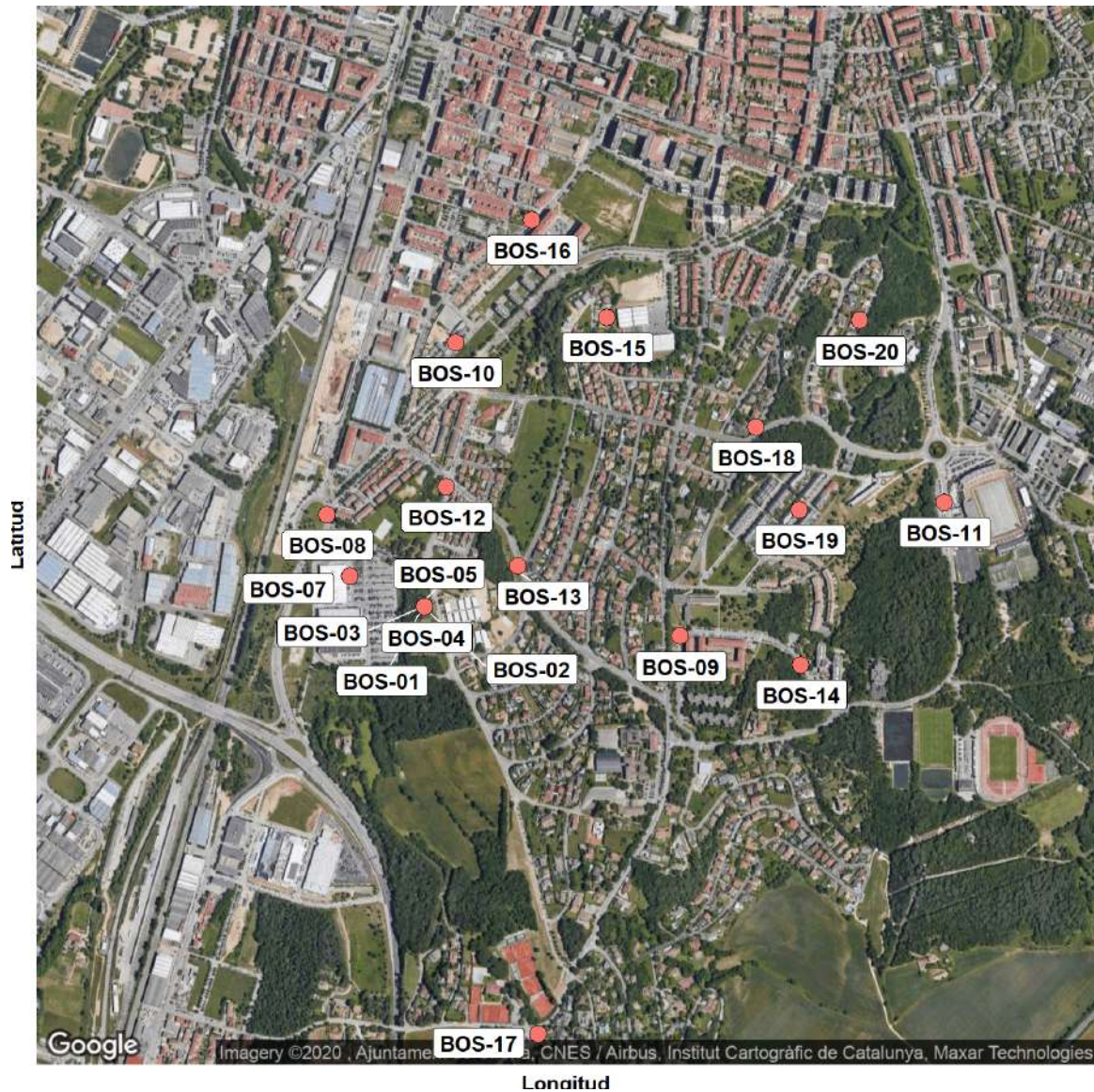


Figura 4: Localització de los puntos de muestreo de la Escola Bosc de la Pabordia.

Cuadro 2: *Puntos de muestreo de la Escola Bosc de la Pabordia*

Punt	Latitud	Longitud	Tipus	Descripció
BOS-01	41.95927	2.813624	UB	PORTA ENTRADA ESCOLA
BOS-02	41.95927	2.813624	I	MENJADOR ESCOLA
BOS-03	41.95927	2.813624	UB	PATI CICLE SUPERIOR
BOS-04	41.95927	2.813624	UB	PATI CICLE INICIAL
BOS-05	41.95927	2.813624	I	BIBLIOTECA
BOS-07	41.95986	2.811693	UT	ENTRADA DECATHLON
BOS-08	41.96104	2.811092	UT	ROTONDA MC DONALDS
BOS-09	41.95870	2.820247	UT	BOSTON JOCS OLIMPICS
BOS-10	41.96437	2.814429	UT	ESCOLA MARTA MATA
BOS-11	41.96128	2.827089	UT	CAMP GIRONA MONTILIVI
BOS-12	41.96158	2.814182	UB	PARC DE BAIX DE L'ESCOLA
BOS-13	41.96006	2.816049	UT	ERMESSEDA
BOS-14	41.95815	2.823377	UT	RESIDÈNCIA AVIS PALAU
BOS-15	41.96485	2.818345	UT	PAVELLÓ PALAU
BOS-16	41.96673	2.816403	UT	CARRER MIGDIA, DREAMS
BOS-17	41.95103	2.816575	UT	MONTESORI
BOS-18	41.96274	2.822210	UT	MAS ABELLA
BOS-19	41.96114	2.823337	UT	YTER
BOS-20	41.96479	2.824903	UT	FONT DE L'ABELLA

4.7.2. Escola Domeny

El muestreo de la calidad del aire se llevó a cabo en 18 puntos de medida alrededor y dentro del centro educativo. Los diferentes puntos de muestreo del estudio incluyen 5 puntos de fondo, 1 punto en el interior de un aula y 12 puntos de tráfico.

El mapa de la figura 5 ilustra la localización de los diferentes puntos de muestreo y el cuadro 3 enumera las localizaciones y su descripción.

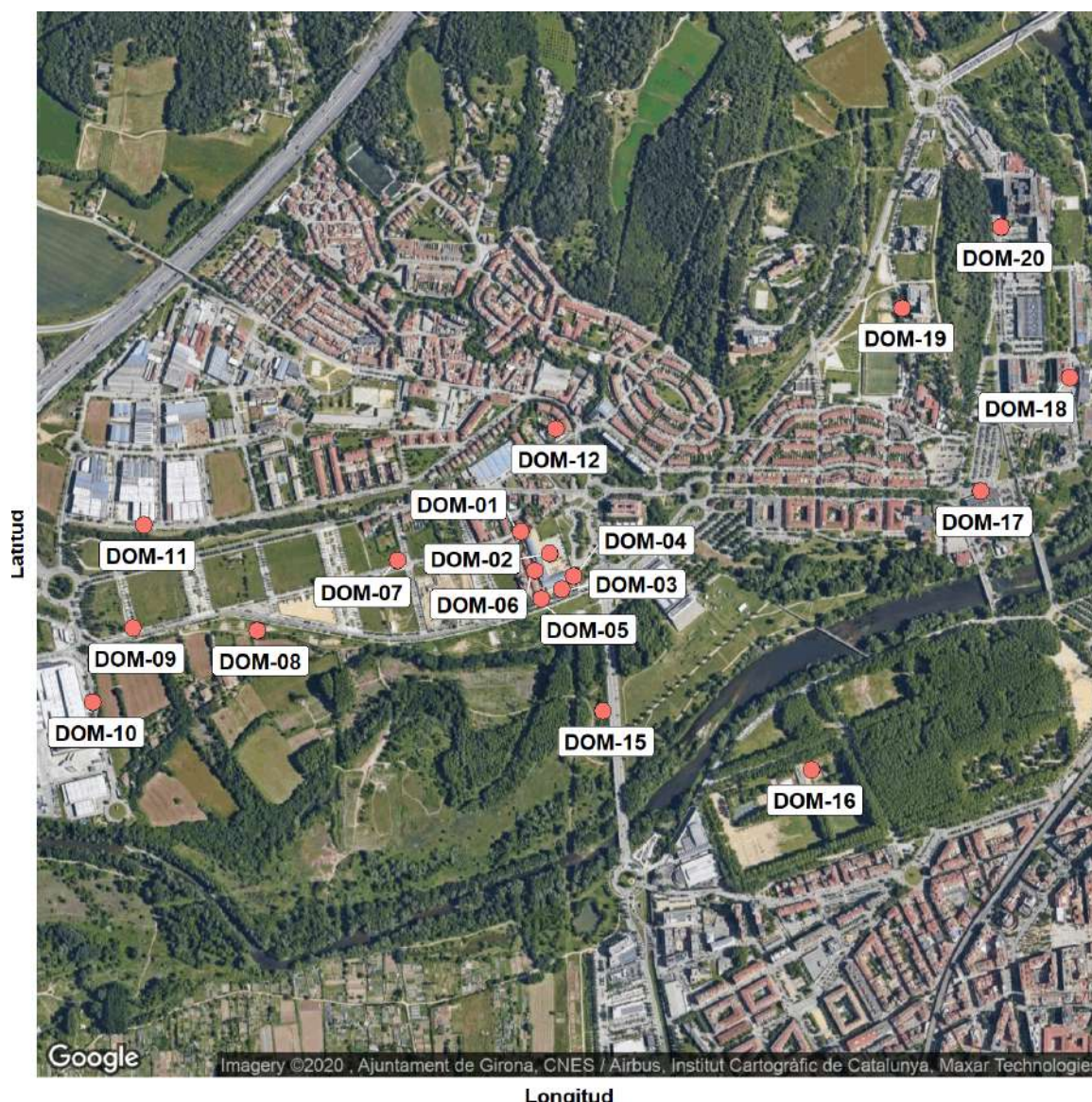


Figura 5: Localització de los puntos de muestreo de la Escola Domeny.

Cuadro 3: *Puntos de muestreo de la Escola Domeny*

Punt	Latitud	Longitud	Tipus	Descripció
DOM-01	41.99148	2.807141	UB	sorral
DOM-02	41.99106	2.807877	UB	pati escola
DOM-03	41.99038	2.808194	UB	pati infantil
DOM-04	41.99063	2.808480	UT	Entrada pàrquing
DOM-05	41.99020	2.807657	UT	Entrada Roberto Bolaño
DOM-06	41.99073	2.807488	I	Aula 6è A
DOM-07	41.99094	2.803958	UB	Residencial Domeny c/ Bullidors amb c/ Damià Escudé
DOM-08	41.98959	2.800342	UT	Parc de Domeny
DOM-09	41.98963	2.797134	UT	Roberto Bolaño amb C/Xirinacs
DOM-10	41.98821	2.796104	UT	Nestlé
DOM-11	41.99161	2.797423	UT	Bo de Bo
DOM-12	41.99345	2.808036	UT	Celler de Can Roca
DOM-15	41.98804	2.809237	UT	Pont de Fontajau
DOM-16	41.98692	2.814623	UB	Devesa zona Agility
DOM-17	41.99226	2.818970	UT	Ocine
DOM-18	41.99442	2.821281	UT	GEIEG
DOM-19	41.99577	2.816954	UT	Can Sunyer
DOM-20	41.99731	2.819500	UT	Trueta

4.7.3. Escola FEDAC Pont Major

El muestreo de la calidad del aire se llevó a cabo en 16 puntos de medida alrededor y dentro del centro educativo. Los diferentes puntos de muestreo del estudio incluyen 3 puntos de fondo, 1 punto en el interior de un aula y 12 puntos de tráfico.

El mapa de la figura 6 ilustra la localización de los diferentes puntos de muestreo y el cuadro 4 enumera las localizaciones y su descripción.

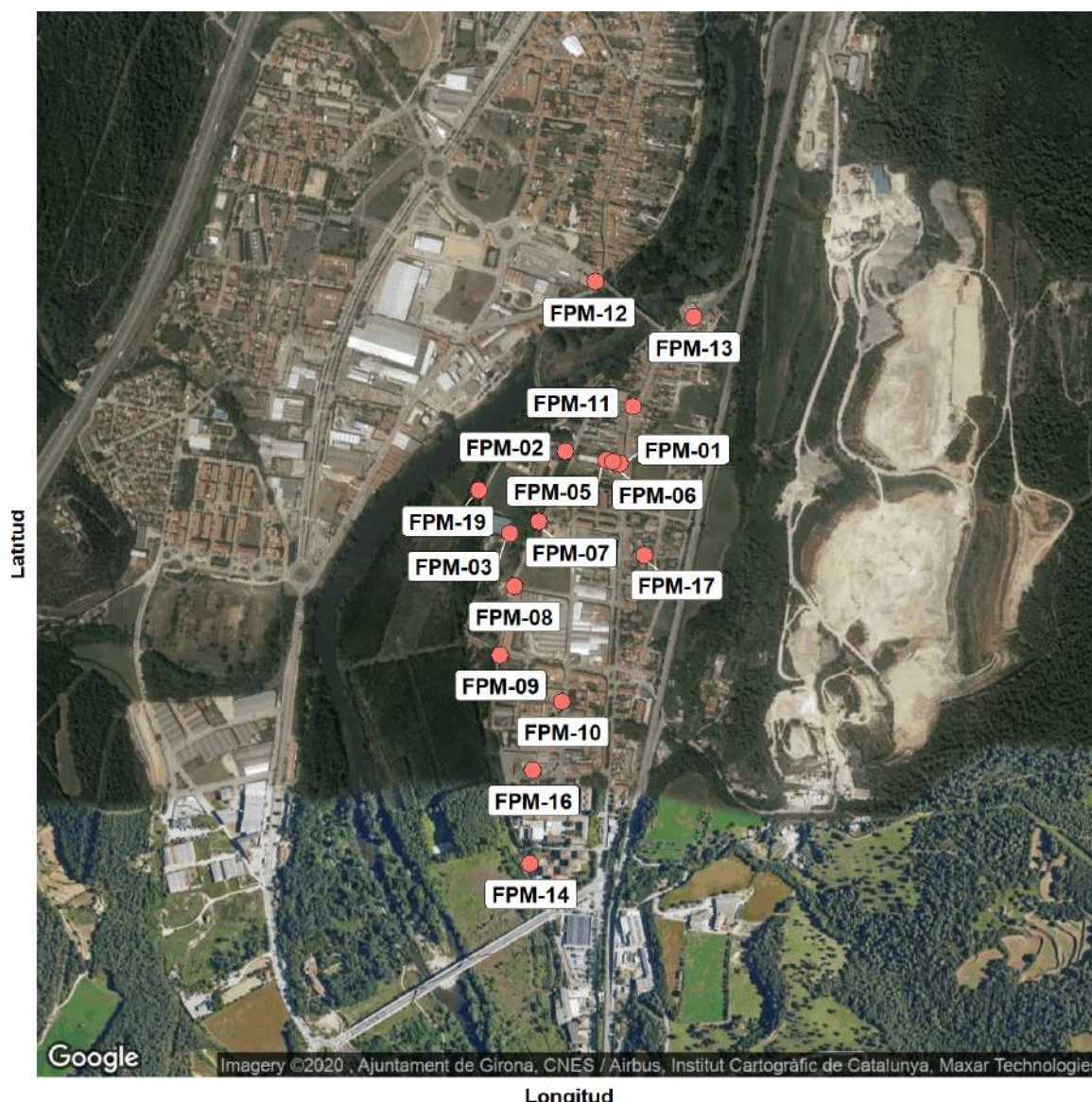


Figura 6: Localització de los puntos de muestreo de la Escola FEDAC Pont Major.

Cuadro 4: *Puntos de muestreo de la Escola FEDAC Pont Major*

Punt	Latitud	Longitud	Tipus	Descripció
FPM-01	42.01112	2.825165	UT	porta principal
FPM-02	42.01136	2.823761	UT	porta del darrera
FPM-03	42.00979	2.822330	UB	davant pavelló
FPM-05	42.01119	2.824811	UT	pati de l'escola
FPM-06	42.01116	2.824989	I	aula de 5è
FPM-07	42.01002	2.823077	UT	parc infantil
FPM-08	42.00877	2.822431	UT	Port lligat 12
FPM-09	42.00746	2.822066	UT	Pl. Isabel Vila
FPM-10	42.00657	2.823668	UT	Centre penit.
FPM-11	42.01222	2.825498	UT	Centre cívic
FPM-12	42.01461	2.824523	UT	C255 km0
FPM-13	42.01393	2.827055	UT	resta. Ca la P.
FPM-14	42.00346	2.822851	UT	carrer fuerteventura,10
FPM-16	42.00525	2.822914	UT	cantonda teisa
FPM-17	42.00937	2.825796	UB	carrer de na Carme Gubert,7
FPM-19	42.01061	2.821533	UB	darrere camp de fútbol

4.7.4. Escola Dr.Masmitjà

El muestreo de la calidad del aire se llevó a cabo en 27 puntos de medida alrededor y dentro del centro educativo. Los diferentes puntos de muestreo del estudio incluyen 4 puntos de fondo, 2 puntos en el interior de un aula y 21 puntos de tráfico.

El mapa de la figura 7 ilustra la localización de los diferentes puntos de muestreo y el cuadro 5 enumera las localizaciones y su descripción.



Figura 7: Localització de los puntos de muestreo de la Escola Dr.Masmitjà.

Cuadro 5: *Puntos de muestreo de la Escola Dr. Masmitjà*

Punt	Latitud	Longitud	Tipus	Descripció
50	41.97659	2.818419	UB	Terrat
51	41.97657	2.818838	UB	Pati Magnolia
52	41.97629	2.818928	UT	P3B - fora C/Creu
53	41.97632	2.818949	I	P3B - DINS
54	41.97636	2.818646	UT	Pati Bàsquet (Tanca Creu)
55	41.97646	2.818698	UB	Pati Bàsquet (façana P4)
56	41.97650	2.818685	I	Dins classe P4 (costat bàsquet)
MAS-01	41.97638	2.819293	UT	Entrada escola
MAS-02	41.97671	2.819456	UT	Maragall, davant Dcasa
MAS-03	41.97692	2.820782	UT	Maluquer Salvador
MAS-04	41.97750	2.819940	UT	Parc davant Wsecret
MAS-05	41.97719	2.818910	UT	Francesc Ciurana
MAS-06	41.97680	2.817960	UT	Francesc Ciurana, davant pati escola
MAS-07	41.97667	2.817450	UT	Parc Creu/Barcelona
MAS-08	41.97614	2.816850	UT	Barcelona, 59
MAS-09	41.97668	2.817150	UT	Contonada Barcelona/Creu
MAS-10	41.97571	2.819137	UT	Balmes
MAS-11	41.97557	2.817420	UT	Emili Grahit/Manel Quer
MAS-12	41.97524	2.818783	UT	Emili Grahit
MAS-13	41.97575	2.820802	UT	Migdia, 36 Davant Caixa
MAS-14	41.97637	2.820735	UT	Migdia, davant Sedes
MAS-15	41.97578	2.821385	UT	Creu, BBVA
MAS-16	41.97676	2.816480	UT	Creu , Parquing Dia
MAS-17	41.97782	2.817610	UT	Barcelona, vorera davant Abacus
MAS-18	41.97790	2.818860	UT	Salle, Angelus
MAS-19	41.97630	2.819866	UB	Parc Santa Glòria
MAS-20	41.97647	2.817900	UT	Creu/Manel Quer

4.7.5. Escola Migdia

El muestreo de la calidad del aire se llevó a cabo en 19 puntos de medida alrededor y dentro del centro educativo. Los diferentes puntos de muestreo del estudio incluyen 8 puntos de fondo, 2 puntos en el interior de un aula y 9 puntos de tráfico.

El mapa de la figura 8 ilustra la localización de los diferentes puntos de muestreo y el cuadro 6 enumera las localizaciones y su descripción.



Figura 8: Localització de los puntos de muestreo de la Escola Migdia.

Cuadro 6: *Puntos de muestreo de la Escola Migdia*

Punt	Latitud	Longitud	Tipus	Descripció
MIG-01	41.97073	2.819416	UT	entrada carrer migdia
MIG-02	41.97053	2.819423	I	interior infantil (p3-p5)
MIG-03	41.97045	2.819984	UB	pati
MIG-04	41.97048	2.820784	UT	entrada carrer Sant Agustí
MIG-05	41.97044	2.820561	I	interior primaria
MIG-06	41.96947	2.819328	UB	Plaça Josep Irla i Bosch
MIG-07	41.96814	2.817776	UT	bonpreu carrer migdia
MIG-08	41.96937	2.813926	UT	carrer Barcelona Hotel Melià
MIG-09	41.97143	2.812407	UB	parc de la comtessa ermessenda
MIG-10	41.97340	2.816965	UB	Parc Migdia
MIG-11	41.97094	2.814546	UT	carrer Barcelona hipercor
MIG-12	41.97153	2.816606	UT	carrer Saragossa
MIG-13	41.96971	2.816132	UT	Carrer Caldes de Montbui
MIG-14	41.97328	2.813883	UT	Carrer Oviedo
MIG-15	41.97023	2.810212	UT	Carrer Valladolid
MIG-16	41.97052	2.817774	UB	PLAÇA MANUEL VAZQUEZ MONTALBAN
MIG-18	41.97257	2.813048	UB	Carrer la pau
MIG-19	41.97093	2.809778	UB	Carrer Rafael Alberti
MIG-20	41.97067	2.816411	UB	Carrer Joan M. Pau i Camps

4.7.6. Escola Pla de Girona

El muestreo de la calidad del aire se llevó a cabo en 19 puntos de medida alrededor y dentro del centro educativo. Los diferentes puntos de muestreo del estudio incluyen 5 puntos de fondo, 1 punto en el interior de un aula y 13 puntos de tráfico.

El mapa de la figura 9 ilustra la localización de los diferentes puntos de muestreo y el cuadro 7 enumera las localizaciones y su descripción.

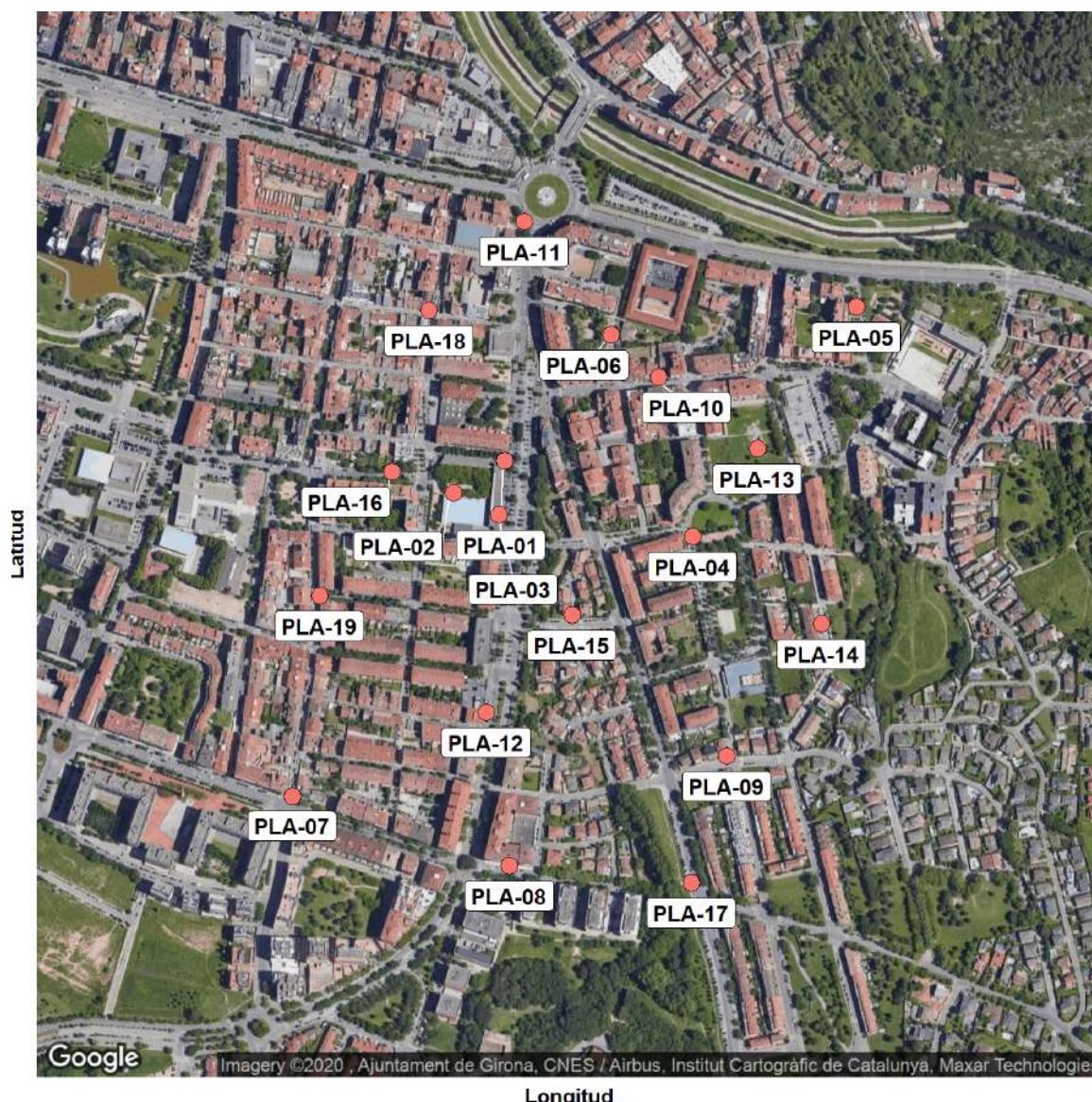


Figura 9: Localització de los puntos de muestreo de la Escola Pla de Girona.

Cuadro 7: *Puntos de muestreo de la Escola Pla de Girona*

Punt	Latitud	Longitud	Tipus	Descripció
PLA-01	41.97158	2.824075	UT	Avd. Lluís Pericot, 16-18
PLA-02	41.97128	2.823411	UB	Pati de l'escola
PLA-03	41.97107	2.823997	I	Classe 4tB
PLA-04	41.97086	2.826494	UB	Plaça Ciutat de Figueres
PLA-05	41.97306	2.828606	UT	C/ Carles Bolós
PLA-06	41.97279	2.825444	UT	C/ Joaquim Botet i Sisó, 6
PLA-07	41.96838	2.821336	UT	C/ Rutlla i Caldes de Montbuí (cantonada)
PLA-08	41.96771	2.824136	UT	C/ Riera de Bugantó, 7
PLA-09	41.96876	2.826933	UT	C/ Francesc Romaguera
PLA-10	41.97239	2.826058	UT	C/ Andreu Tuyet i Santamaria, 15-9
PLA-11	41.97388	2.824325	UT	Avd. Lluís Pericot, 2
PLA-12	41.96918	2.823836	UT	Avd. Lluís Pericot, 38,46
PLA-13	41.97170	2.827333	UB	C/ del Castell de Solterra, 6
PLA-14	41.97002	2.828153	UT	C/ del Castell de Solterra
PLA-15	41.97011	2.824939	UT	C/ Francesc Palau i Quer 3-1
PLA-16	41.97148	2.822625	UB	C/ Joan Reglà, 12
PLA-17	41.96754	2.826475	UT	Avd. Montilivi
PLA-18	41.97303	2.823100	UT	C/ Josep Ametller i Viña, 38
PLA-19	41.97029	2.821689	UB	C/ Jaume Marqués Casanovas

4.7.7. Institut La Salle Girona

El muestreo de la calidad del aire se llevó a cabo en 20 puntos de medida alrededor y dentro del centro educativo. Los diferentes puntos de muestreo del estudio incluyen 5 puntos de fondo, 1 punto en el interior de un aula y 14 puntos de tráfico.

El mapa de la figura 10 ilustra la localización de los diferentes puntos de muestreo y el cuadro 8 enumera las localizaciones y su descripción.

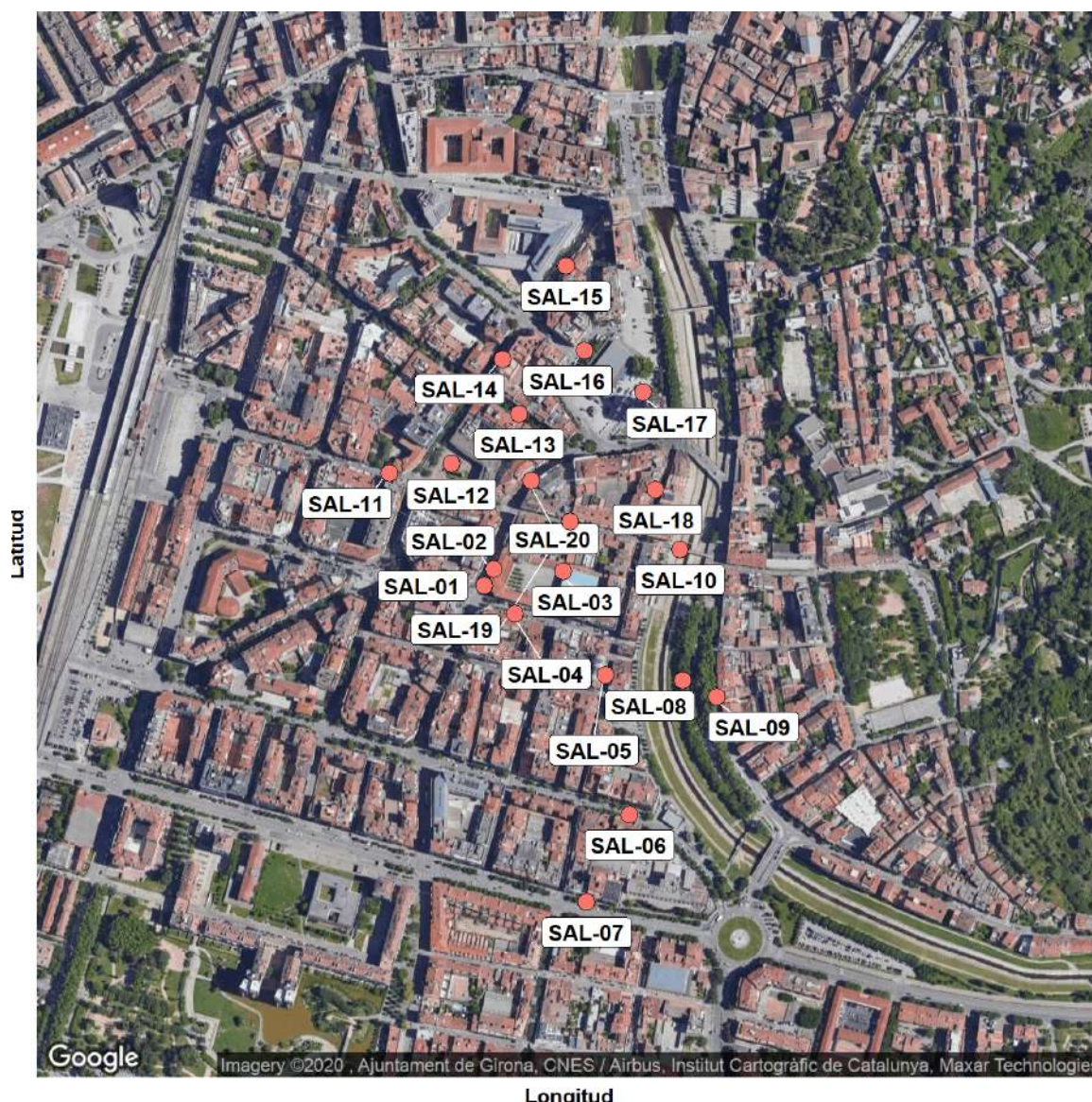


Figura 10: Localització de los puntos de muestreo de la Institut La Salle Girona.

Cuadro 8: Puntos de muestreo de la Institut La Salle Girona

Punt	Latitud	Longitud	Tipus	Descripció
SAL-01	41.97752	2.821310	UT	Entrada escola
SAL-02	41.97767	2.821435	I	Interior escola (Migdia)
SAL-03	41.97765	2.822331	UB	Pati
SAL-04	41.97725	2.821707	UT	C/Salle 13 (passat Dia)
SAL-05	41.97666	2.822871	UT	C/Rutlla (entre 68 i 70) - oposat a granel
SAL-06	41.97532	2.823180	UT	C/ Creu (aprop Gasolinera)
SAL-07	41.97448	2.822631	UT	C/ Emili Grahit (davant eica)
SAL-08	41.97661	2.823864	UB	Parc carrer del carme
SAL-09	41.97645	2.824306	UT	C/ del Carme (canto de les cases)
SAL-10	41.97786	2.823829	UB	Pont carrer bisbe Lorenzana
SAL-11	41.97859	2.820088	UT	C/ Lorenzana 35 (vorera Col·legi Verd)
SAL-12	41.97868	2.820893	UB	Plaça Miquel Santaló i Pavor
SAL-13	41.97916	2.821759	UT	R. S Antoni M. Claret (davant Abacus)
SAL-14	41.97969	2.821545	UT	C/ Joan Maragall 21 (costat Cottet)
SAL-15	41.98058	2.822362	UT	C/ Joan Maragall (entre Tenzenis i pimkie)
SAL-16	41.97977	2.822604	UT	Gran Via Jaume I / Mercat Lleó (costa pas de zebra)
SAL-17	41.97937	2.823358	UB	Plaça Calvet i Rubalcaba (MERCAT)
SAL-18	41.97844	2.823514	UT	C/ de la Rutlla 14
SAL-19	41.97813	2.822413	UT	C/ Bisbe Lorenzana 18 (façana)
SAL-20	41.97852	2.821919	UT	C/Ultonia

4.7.8. Escola Sta. Eugènia

El muestreo de la calidad del aire se llevó a cabo en 20 puntos de medida alrededor y dentro del centro educativo. Los diferentes puntos de muestreo del estudio incluyen 5 puntos de fondo, 1 punto en el interior de un aula y 14 puntos de tráfico.

El mapa de la figura 11 ilustra la localización de los diferentes puntos de muestreo y el cuadro 9 enumera las localizaciones y su descripción.

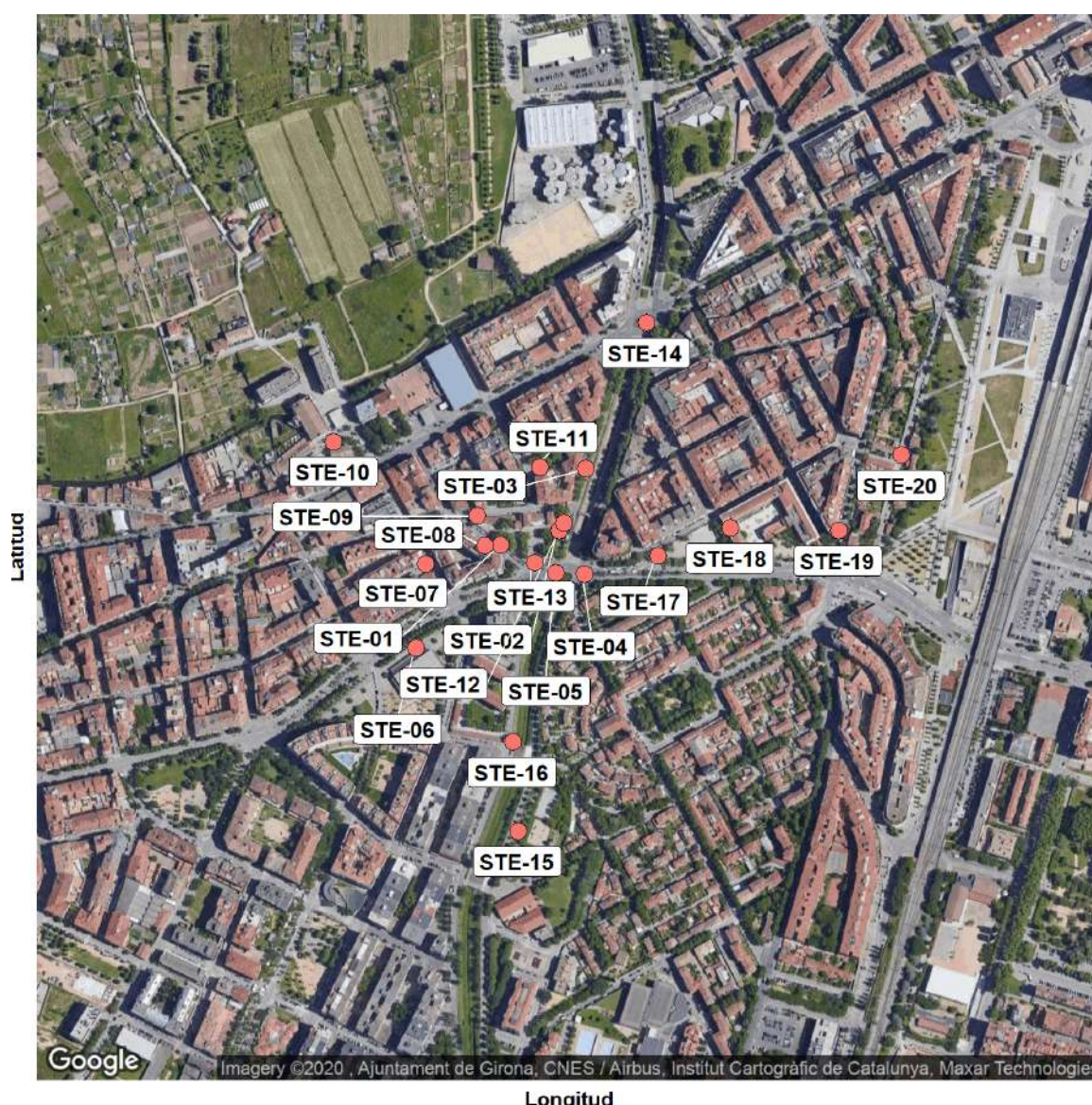


Figura 11: Localització de los puntos de muestreo de la Escola Sta. Eugènia.

Cuadro 9: *Puntos de muestreo de la Escola Sta. Eugènia*

Punt	Latitud	Longitud	Tipus	Descripció
STE-01	41.97686	2.809118	UT	pati escola porta
STE-02	41.97700	2.809879	UT	pàrquing escola
STE-03	41.97759	2.810218	UT	Marzen restaurant
STE-04	41.97659	2.810200	UT	farmàcia pont Dimoni
STE-05	41.97659	2.809834	UT	rotonda xino
STE-06	41.97588	2.808031	UB	pavelló santa Eugènia
STE-07	41.97668	2.808155	UB	locutori
STE-08	41.97686	2.808916	UT	carrer mare Déu salut
STE-09	41.97715	2.808821	UT	plaça petita escola
STE-10	41.97785	2.806971	UT	Biblioteca
STE-11	41.97761	2.809627	UT	parc darrera Marzen
STE-12	41.97707	2.809937	I	aula 3r
STE-13	41.97669	2.809562	UT	pati gran escola
STE-14	41.97899	2.810998	UT	rotonda Maristes
STE-15	41.97412	2.809345	UB	parc Sant Narcís
STE-16	41.97498	2.809275	UT	pont nou Sant Narcís
STE-17	41.97676	2.811144	UT	passeig d'Olot altura escola FEDAC
STE-18	41.97703	2.812083	UB	c/Ramón Muntaner n11
STE-19	41.97700	2.813475	UT	av. Sant Narcís 47
STE-20	41.97772	2.814281	UB	c/Bisbe Sivilla 3

4.7.9. Escola Vedruna

El muestreo de la calidad del aire se llevó a cabo en 19 puntos de medida alrededor y dentro del centro educativo. Los diferentes puntos de muestreo del estudio incluyen 8 puntos de fondo, 5 puntos en el interior de un aula y 6 puntos de tráfico.

El mapa de la figura 12 ilustra la localización de los diferentes puntos de muestreo y el cuadro 10 enumera las localizaciones y su descripción.



Figura 12: Localització de los puntos de muestreo de la Escola Vedruna.

Cuadro 10: *Puntos de muestreo de la Escola Vedruna*

Punt	Latitud	Longitud	Tipus	Descripció
VED-02	41.97978	2.819577	UT	Porta Vedruna, Carrer Juli Garreta
VED-03	41.98009	2.818446	UT	Carretera Barcelona, 21
VED-04	41.98083	2.817785	UT	Plaça Poeta Marquina
VED-05	41.98094	2.819437	UT	C/ Ferran Agulló, 9
VED-06	41.98127	2.821261	UB	Plaça Hospital, 6 (Davant Casa Cultura)
VED-07	41.98252	2.818481	UT	Avda. Sta Eugènia, 22 (Can Rigau)
VED-08	41.98034	2.815634	UB	Parc Central
VED-09	41.98290	2.814891	UB	Pl Miquel de Palol (Cantonada C/ Riu Guell)
VED-10	41.98587	2.817179	UB	Plaça Sardana (Devesa-Davant Gesemé)
VED-11	41.97736	2.817528	UT	Carretera Barcelona, 30
VED-12	41.98234	2.821227	UB	Carrer Nou, 16
VED-13	41.98300	2.822173	UB	Plaça Josep Pla
VED-14	41.98379	2.821216	UB	Plaça 1 d'Octubre (tocant Jaume I)
VED-15	41.98557	2.823584	UB	Plaça Independència
VED-16	41.98028	2.819496	I	Escola Vedruna Cantonada Escola 1ESO
VED-17	41.97996	2.819008	I	Classe 4t B Primaria
VED-18	41.97996	2.818825	I	Classe 2A primaria
VED-19	41.98014	2.819233	I	Sala Profes ESO
VED-20	41.98016	2.818647	I	Classe 5e

4.8 Puntos de muestreo de la red semipermanente del Ayuntamiento de Girona

En paralelo al proyecto de ciencia ciudadana [Cleanair@School](#), durante las dos campañas también se llevaron a cabo medidas en la red semipermanente del Ayuntamiento de Girona. La malla consiste en 18 puntos de medida que se ilustran en la figura 13 y en el cuadro 11.

La red incluye los siguientes puntos:

- Puntos de fondo urbano dentro del municipio
- Puntos cercanos a vías transitadas
- Puntos en zonas céntricas de la ciudad

La configuración de la red sigue las recomendaciones de estudios anteriores en la ciudad de Girona donde se identifican diferentes puntos conflictivos en la ciudad. Estos puntos parecen indicar la posible superación del valor límite de la media anual de los niveles de NO₂. La red semipermanente es necesaria para valorar el riesgo de estas superaciones.

Además de los puntos orientados al tráfico rodado, la red también incluye puntos de fondo. Estos están distribuidos en puntos alejados del tráfico (a más de 20 metros de la orilla de una vía principal). En la mayoría de casos, estos puntos están situados dentro de parques urbanos (Parque de Mediodía, Plaza Europa ...).

En total se muestrearon 18 puntos repartidos por los diferentes barrios, de los que 3 puntos son de fondo y 15 puntos son de tráfico.

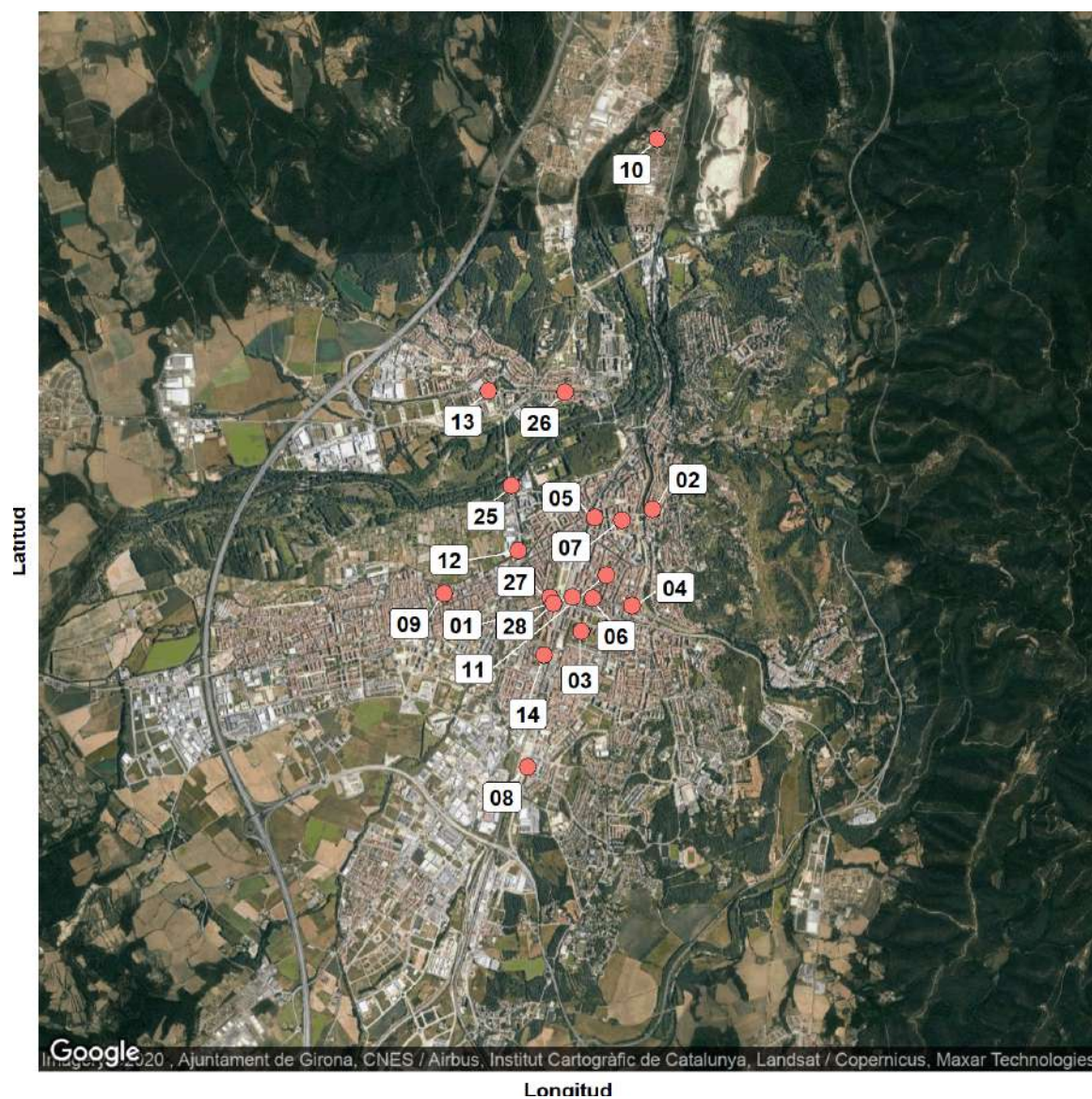


Figura 13: *Localització de los puntos de muestreo de la red semipermanente.*

Cuadro 11: *Puntos de muestreo de la red semipermanente.*

Punt	Latitud	Longitud	Tipus	Descripció
01	41.97637	2.816534	UT	Estació Escola de Música
02	41.98308	2.824869	UB	Pl. del Vi
03	41.97370	2.817484	UB	Parc del Migdia
04	41.97565	2.822714	UT	C. Rutlla
05	41.98248	2.818874	UT	Ronda Ferran Puig
06	41.97626	2.818647	UT	C. de la Creu
07	41.98226	2.821688	UT	C. Sant Francesc
08	41.96324	2.811908	UT	Ctra Barcelona - Bolera
09	41.97662	2.803268	UT	Santa Eugènia
10	42.01158	2.825323	UT	C. Pont Major
11	41.97801	2.820088	UT	C. Maragall
12	41.97989	2.810926	UT	Maristes
13	41.99223	2.807821	UT	Crta Sant Gregori
14	41.97185	2.813601	UT	C. Oviedo
25	41.98490	2.810200	UT	Devesa - Rotonda
26	41.99210	2.815800	UT	Rambla Xavier Culgat
27	41.97630	2.814200	UT	Pl. Europa
28	41.97580	2.814600	UB	Pl. Europa (so)

4.9 Colocación de captadores en la estación de referencia

Siguiendo el procedimiento habitual desarrollado por 4sfera, 1 punto de muestreo se puso en la estación de referencia más cercana a la zona de estudio. En este caso se puso en la estación de calidad del aire que hay en Girona mismo, en la estación llamada: Girona (Escola de Música). Esta estación está equipada con un analizador automático de quimioluminiscencia, que es el aparato de medida de referencia (ver figura 14 para la localización de la estación).



Figura 14: Localització de la estació de referència.

En este punto de la estación de referencia los dosímetros pasivos se pusieron en triplicado, 3 tubos (figura 15). Este ejercicio se lleva a cabo para calcular la precisión y

exactitud de la campaña. Además, en caso conveniente, se puede calcular un factor de ajuste para compensar la tendencia a sobre estimar de los tubos tipo Palmes.



Figura 15: *Col.locación en triplicado en la estación automática de control.*

4.10 Openair - R package para el análisis de datos de calidad del aire

La herramienta *Openair* (Carslaw y Ropkins, 2012) ha sido elegida para poder realizar un análisis más profundo de los datos automáticamente e ilustrar de forma muy visual los resultados del estudio.

Openair es un paquete del programa R desarrollado para analizar los datos de calidad del aire o más generalmente los datos de composición de la atmósfera. El paquete se utiliza ampliamente en el mundo académico, el sector público y privado. El proyecto fue financiado inicialmente por el Natural Environment Research Council (NERC) del Reino Unido (NERC, s.f.), con fondos adicionales de Departamento Británico de Medio Ambiente (DEFRA) (DEFRA, s.f.).

La herramienta de *Openair* da la posibilidad de introducir diferentes variables en el análisis de datos de calidad del aire para poder identificar y cuantificar el foco emisor de contaminantes de la calidad del aire. *Openair* va más allá de las simples rosas de viento donde las únicas variables son velocidad y dirección del viento y el contaminante. *Openair* es una innovadora técnica de análisis de datos de calidad del aire. Esta poderosa herramienta da un mejor conocimiento de la contaminación del aire que permite obtener una amplia información de los datos de las redes de vigilancia.

5 Resultados

A continuación se presentan los resultados obtenidos del estudio de las concentraciones de NO₂ y su interpretación, pero antes es importante destacar que el método utilizado es indicativo y que por lo tanto los datos obtenidos en ningún caso se pueden utilizar como datos de referencia para cumplimiento normativo.

5.1 Verificación de los datos

Aunque la técnica de los dosímetros pasivos presenta muchas ventajas, estos deben utilizarse con precaución y debidamente ya que pueden dar problemas intrínsecos al método. Es por ello que 4sfera siempre realiza la verificación de los resultados obtenidos siguiendo los protocolos internacionales relacionados con esta técnica. La verificación de los datos consiste en calcular la precisión y la exactitud de la medida gracias a la comparación de los dosímetros con la estación de referencia.

5.1.1. Precisión de la medida

La **precisión** se refiere a la proximidad de una serie de medidas entre sí (repetibilidad). En este caso la precisión nos da una idea de cómo de iguales son los datos obtenidos con los tres tubos colocados en la estación de referencia. Esto se obtiene mediante el cálculo del coeficiente de variación (CV), que no es más que el cociente entre la desviación estándar y la media de los tres tubos. Según las recomendaciones establecidas por este método, el CV debe ser inferior al 10% para que los resultados puedan considerarse aceptables.

En el presente estudio el CV obtenido va de 1 a 7.4% (cuadro 12), con una media de 4.2%. Por lo tanto la precisión de los datos se puede considerar buena ya que el CV no supera el 10%.

Cuadro 12: Datos obtenidos en las dos campañas.

Periodo	Tubo 1	Tubo 2	Tubo 3	Media tubos	DS	CV(%)	Media referencia
p1903	23.67	26.70	27.05	25.8	1.9	7.4	22
p1904	29.14	28.77	29.32	29.1	0.3	1.0	29

5.1.2. Exactitud de la medida

La **exactitud** corresponde a la proximidad de la medida al valor real. En este caso la exactitud se refiere a cómo se parecen los resultados obtenidos con los dosímetros pasivos y los obtenidos en la estación de referencia (cuadro 12). Esto se obtiene mediante el cálculo del valor llamado “Bias A”, que se utiliza para ajustar los resultados obtenidos.

En este estudio el valor obtenido del “Bias A” fue de 0.93, esto significa que los valores brutos obtenidos con los dosímetros fueron 7% diferentes a los reales, es decir, sobreestimaron las concentraciones de NO₂. Por lo tanto, todas las concentraciones de NO₂ se tienen que ajustar mediante el factor del “Bias A”.

La figura 16 ilustra la relación entre los resultados automáticos y los tubos pasivos. Esta correlación es bastante típica para los tubos donde generalmente tienen un tendencia a sobreestimar los resultados. La exactitud de los tubos ha sido dentro del +-10% establecido.

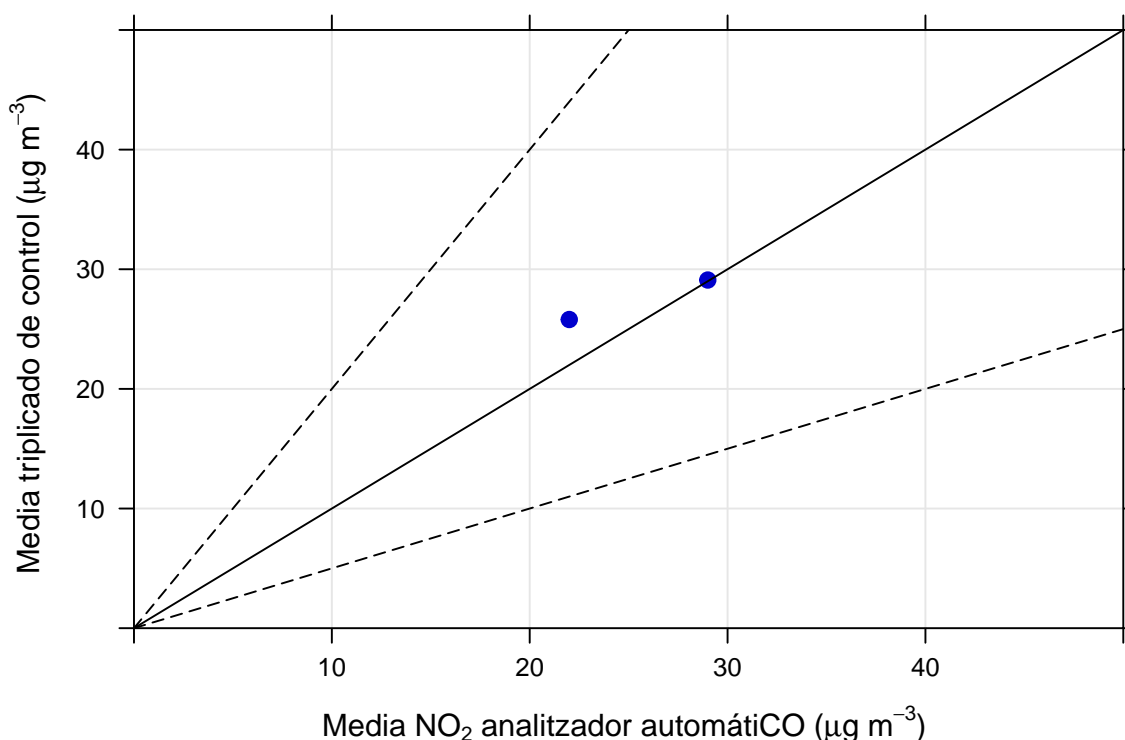


Figura 16: Verificación de los datos del estudio con datos de la estación de referencia.

Siguiendo la guía inglesa de buenas prácticas en la gestión de los datos de calidad del aire (LAQM.TG 2009), publicada por el departamento de medio ambiente del Reino Unido, se ha calculado también un factor de ajuste para “sacar” la parte estacional de las medidas, el aumento o la disminución propia de la época del año. Esto se ha hecho calculando la concentración media de NO₂ en la estación de referencia durante los dos periodos y la media durante todo el año en que se han realizado las medidas (2019), y entonces se ha hecho la ratio. En este caso la ratio obtenida ha sido de 1.01. Por lo tanto, todas las concentraciones de NO₂ se tienen que ajustar mediante este factor para desestacionalizar los datos.

5.2 Contextualitzación de los datos

Este informe incluye un pequeño análisis de las concentraciones de NO₂ observadas en la estación de referencia de Girona (Escola de Música) para contextualitzar los resultados obtenidos y dar valor añadido a los datos indicativos.

5.2.1. Concentraciones de NO₂ en la estación de Girona (Escola de Música)

La figura 17 ilustra la media anual de NO₂ en la estación de Girona (Escola de Música) entre el año 2011 y 2019. Los niveles anuales de NO₂ en esta estación han oscilado entre 26 ug/m³ el año 2019 y 36 ug/m³ el año 2012.

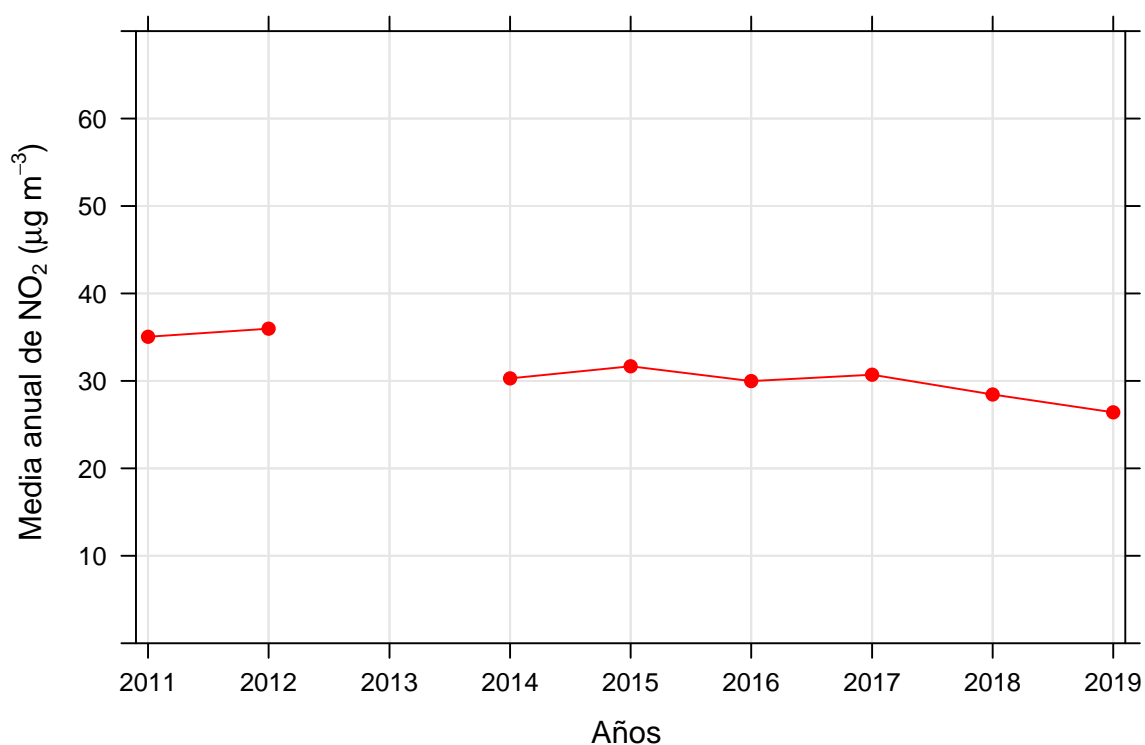


Figura 17: *Medias anuales de NO₂ en la estación de referencia.*

La variación mensual de los niveles de NO₂ en la estación se observa en la figura 18, donde se puede ver el ciclo anual muy marcado con concentraciones máximas en invierno y mínimas en verano .

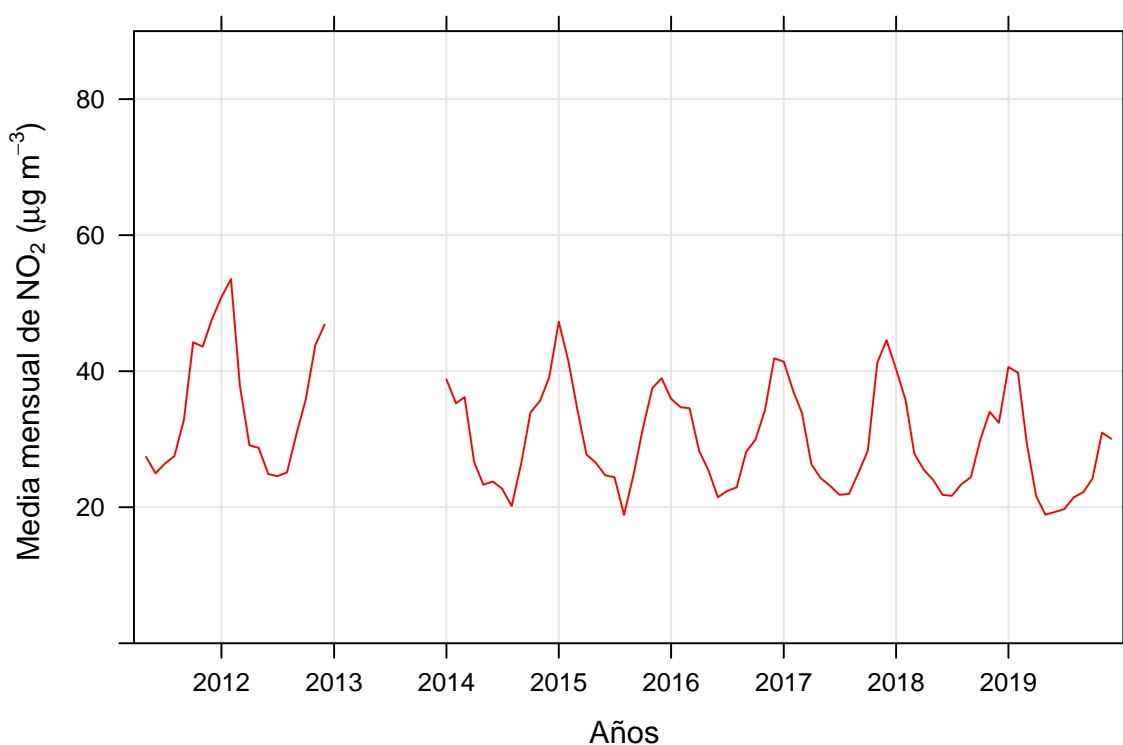


Figura 18: Variación mensual de NO₂ en la estación de referencia.

5.2.2. Análisis detallado de la variación temporal de las concentraciones de NO₂

Las características de los niveles de NO₂ en la estación de referencia se han estudiado mediante la herramienta *openair*. El análisis detallado de la variación temporal incluye las variaciones: Diurnas (Día/horas), Semanales (días de la semana) y Mensuales (estacionales).

Este análisis detallado se ilustra en las figuras 19, 20 y 21. La variación que se observa es típica de una estación de tránsito. Esta variación se puede resumir en los siguientes puntos:

- Los niveles más elevados se observan durante las horas punta de tráfico (mañana y tarde).
- Los niveles más bajos se registran al mediodía y por la noche.
- Las concentraciones son más elevadas durante los días laborables (de lunes a viernes) que el fin de semana.

- El mínimo anual se observa en verano (julio y agosto), mientras que las concentraciones más elevadas se dan en invierno.

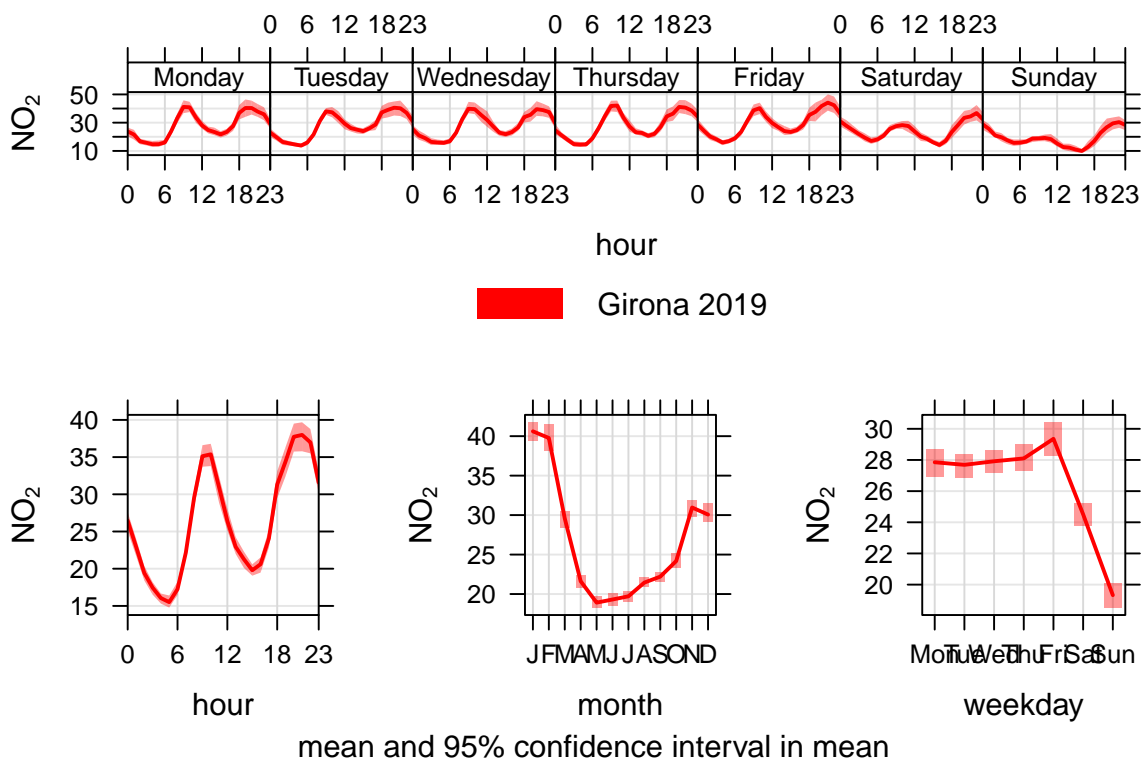


Figura 19: Análisis detallado de la variación temporal de las concentraciones de NO₂ durante el 2019.

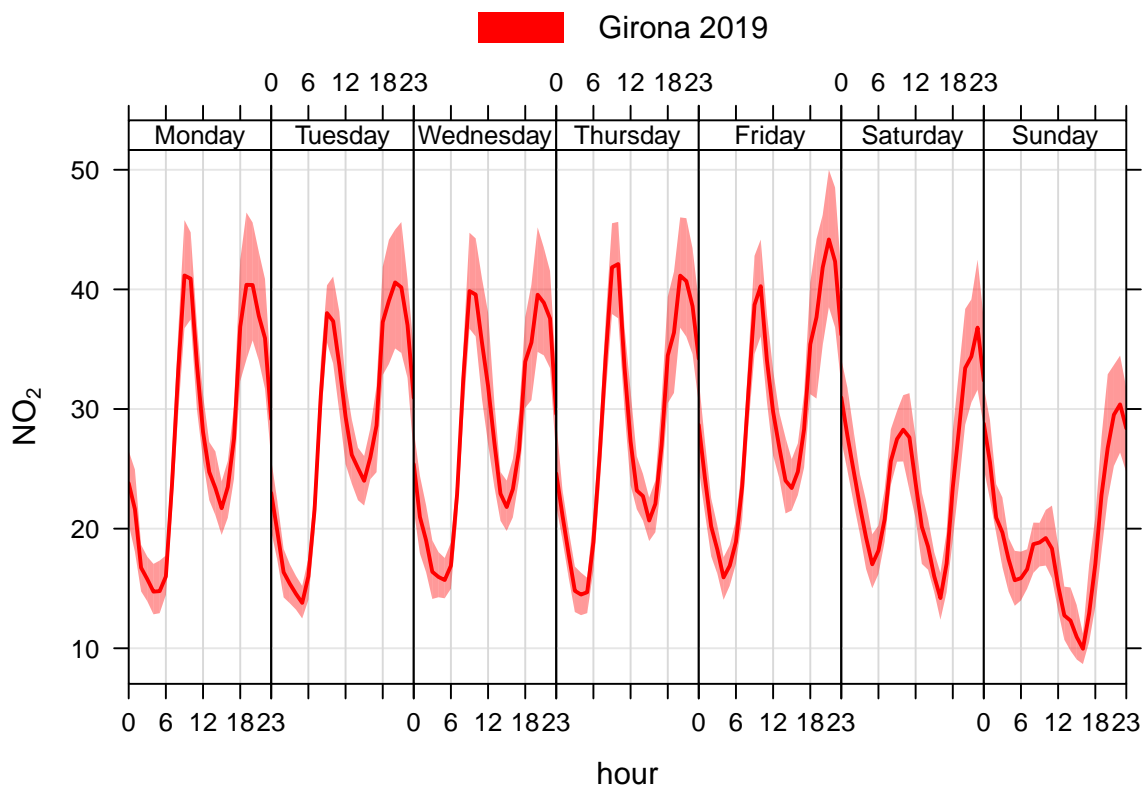


Figura 20: Análisis detallado de la variación diaria-setmanal durante el 2019.

La variación de las concentraciones de NO₂ durante el año 2019 se ilustra en la figura 21. Esta variación es típica con niveles bajos Julio-Agosto y más elevados Enero-Marzo y Octubre-Diciembre.

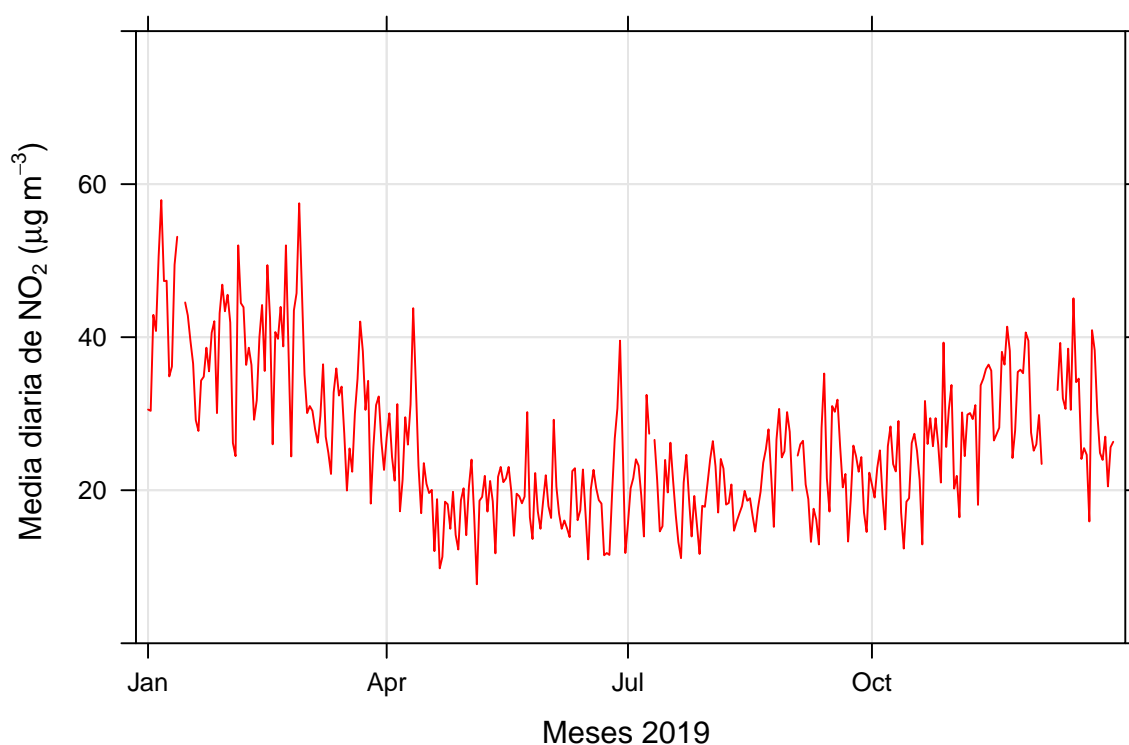


Figura 21: Concentraciones diarias de NO₂ durante el 2019.

5.2.3. Variación de las concentraciones de NO₂ durante el estudio

Las concentraciones de NO₂ en la estación de referencia durante los dos periodos de muestreo de dosímetros pasivos se muestra a continuación. La figura 22 corresponde al primer periodo del estudio y la figura 23 el segundo periodo.

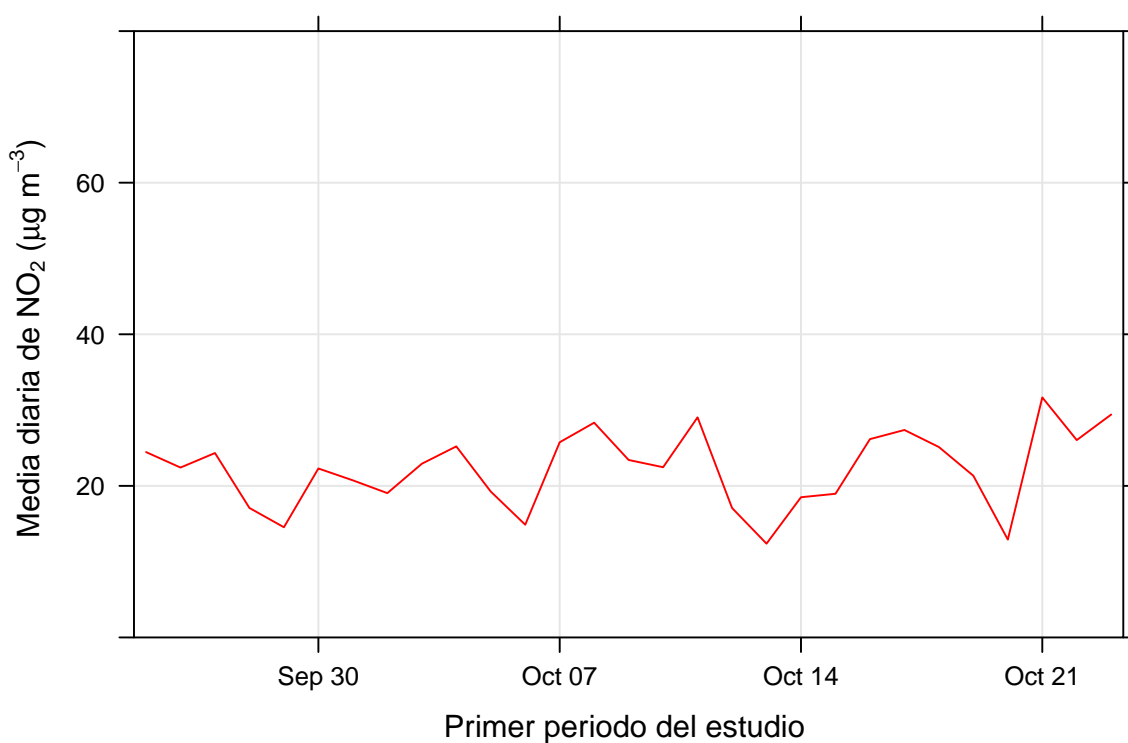


Figura 22: Análisis detallado de la variación temporal de NO₂ durante el primer periodo.

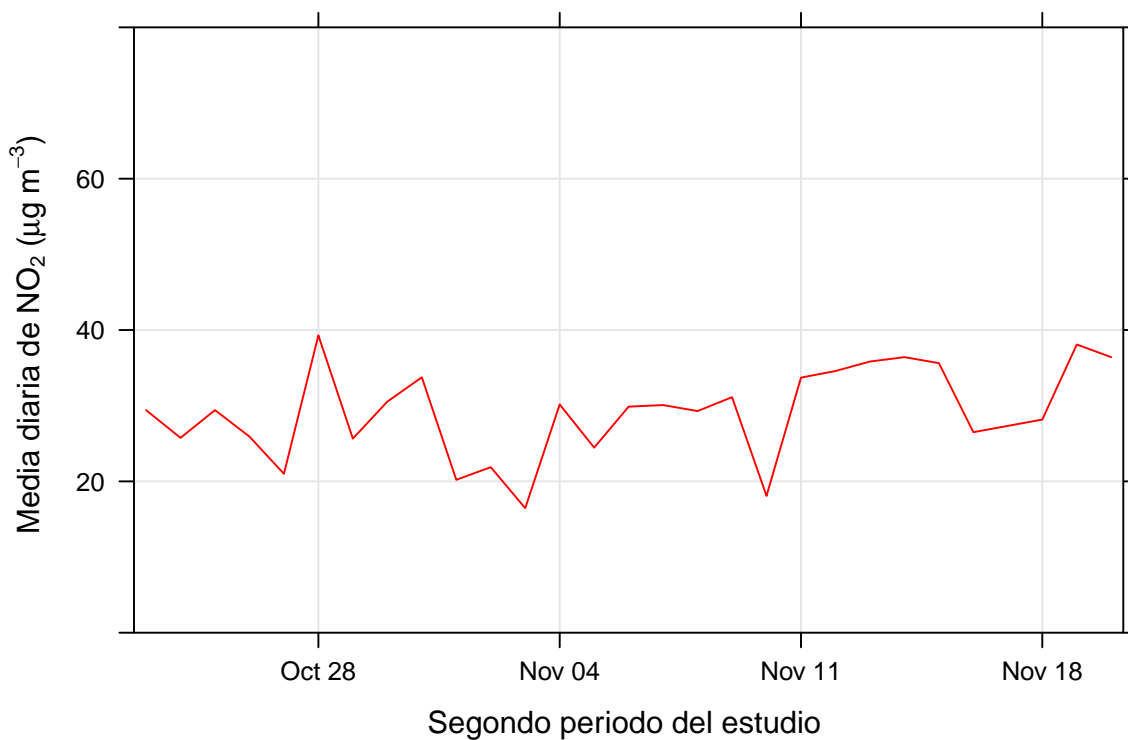


Figura 23: Análisis detallado de la variación temporal de NO₂ durante el segundo periodo.

Como ya se ha dicho, las concentraciones de NO₂ obtenidas mediante el método de dosímetros pasivos son indicativas y en ningún caso se pueden utilizar para cumplimiento normativo. Sin embargo en algún caso los resultados se han comparado con el límite legal anual (40 ug/m³). A continuación se analizan los resultados obtenidos con los dosímetros pasivos.

5.3 Análisis de las concentraciones de NO₂ en la ciudad de Girona

La gráfica de barras (figura 24) resume las medias obtenidas en los 2 periodos tanto en los puntos de la red semipermanente como en los puntos del proyecto Cleanair@schools. Las concentraciones de NO₂ en la ciudad de Girona oscilan entre 10.8 y 61 ug/m³, con una media de 29 ug/m³.

Concretamente, el fondo urbano de la ciudad varía entre 13.1 ug/m³ y 38.7 ug/m³, con una media de 24 ug/m³. Por lo tanto todos los puntos de fondo son inferiores al valor límite de 40 ug/m³ (figura 25).

Las concentraciones más altas de NO₂ se han registrado en los puntos de más tráfico, como era de esperar. En particular, las concentraciones en las zonas de tránsito oscilan entre 14.6 ug/m³ y 61 ug/m³, con una media de 32. Sólo 22 puntos de 129 presentan concentraciones superiores a 40 ug/m³.

Sin embargo, el impacto en los niveles de calidad del aire en los interiores de las aulas es menor. *Los niveles de NO₂ en el interior* del aula de todas las escuelas estudiadas oscilan entre 10.8 ug/m³ y 29.9 ug/m³, con una media de 20.

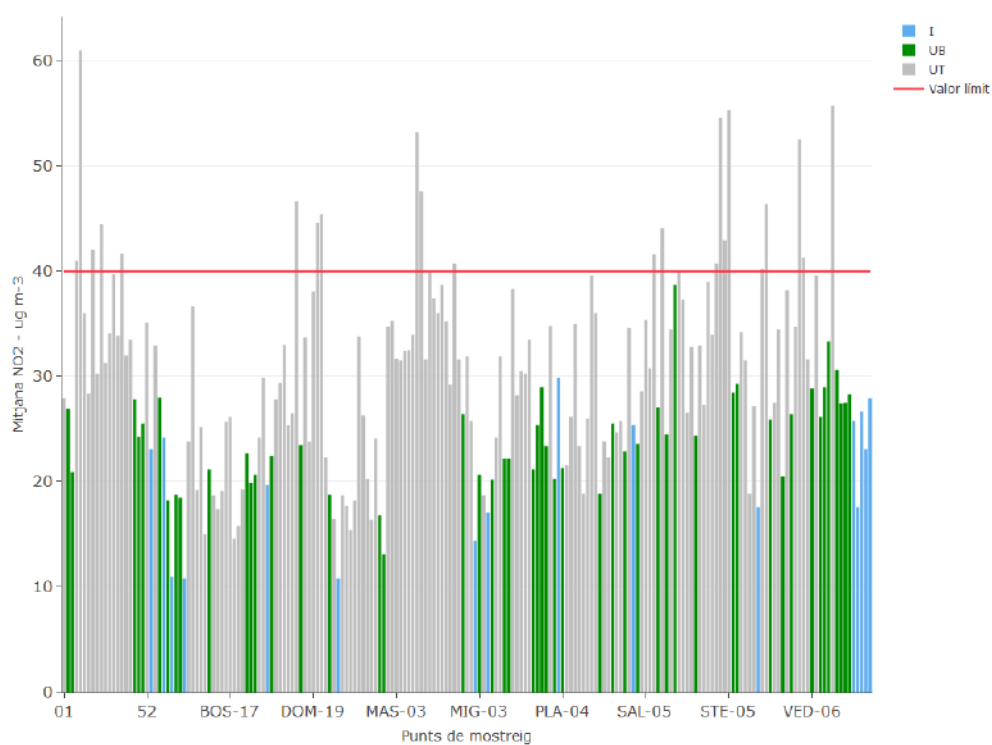


Figura 24: Concentraciones medias de NO₂ de los dos periodos para todos los puntos de muestreo.

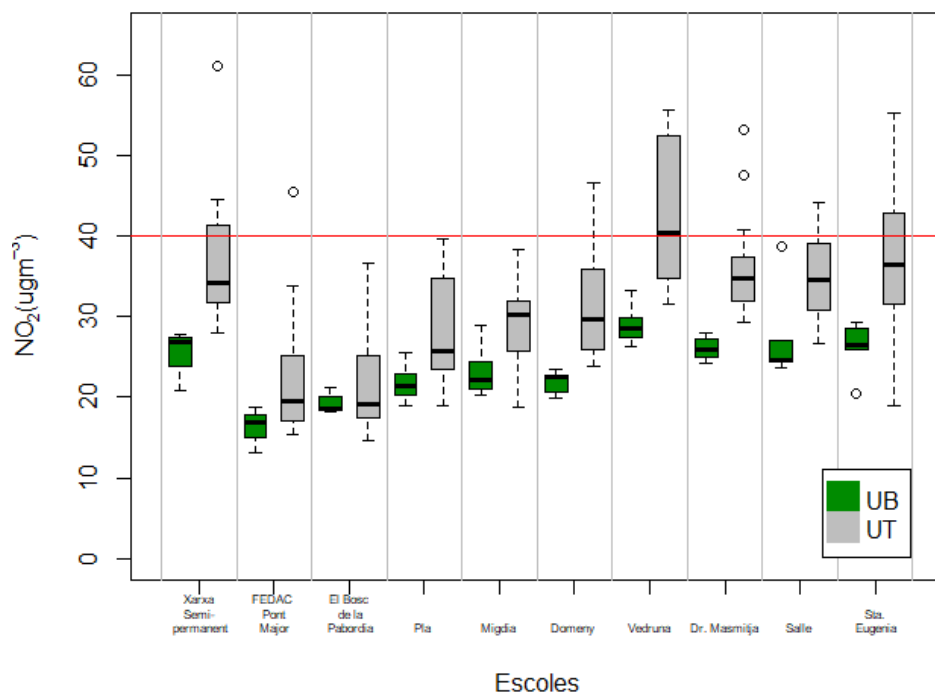


Figura 25: Concentraciones medias de NO₂ de los dos periodos para los puntos de fondo y de tránsito.

La distribución espacial de las concentraciones medias de NO₂ para los dos periodos se ilustra en el mapa de la figura 26. Este mapa muestra tanto los puntos de tráfico como los de fondo urbano de toda la ciudad.

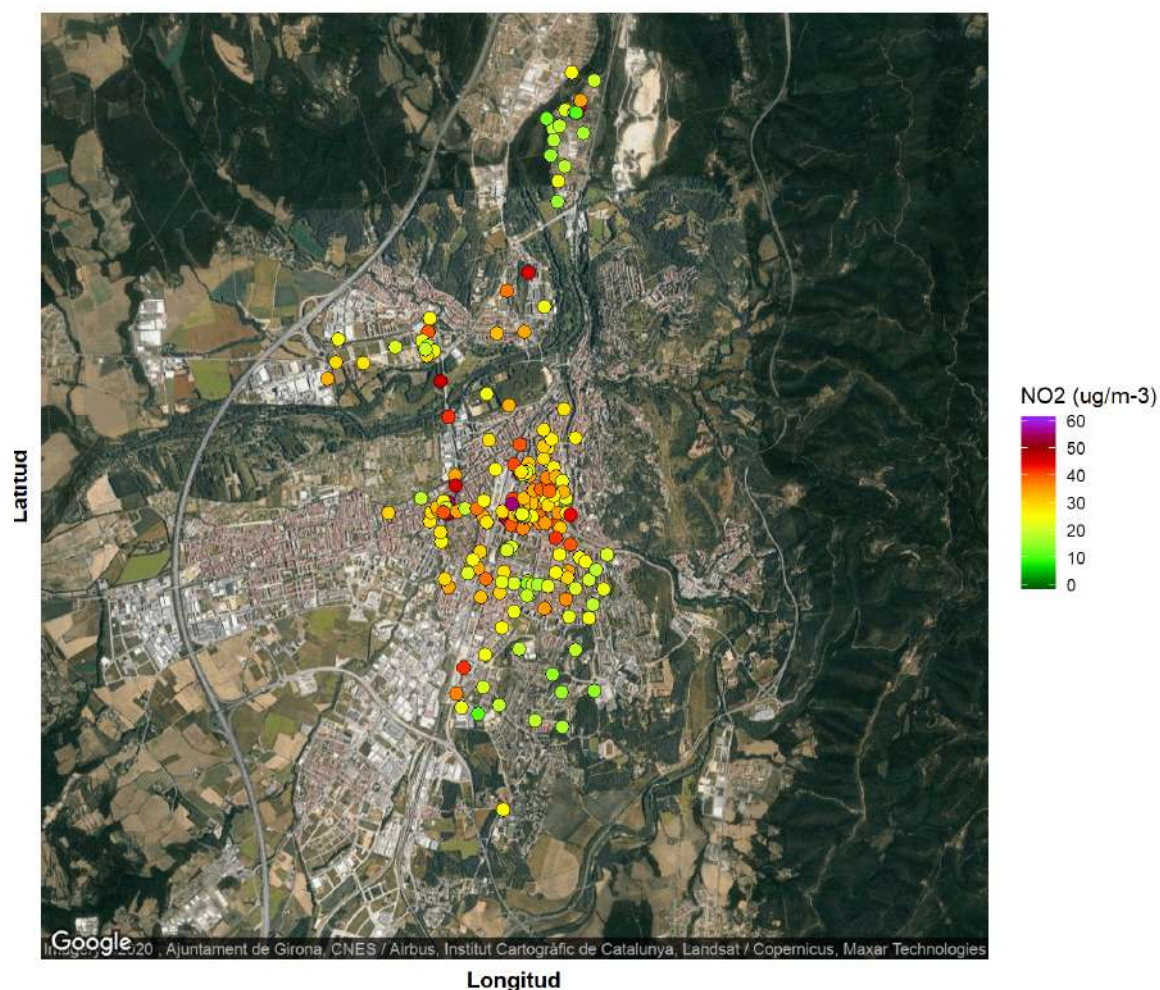


Figura 26: Mapa de las concentraciones medias de NO₂.

Las concentraciones más elevadas en las zonas de tránsito se han medido en el punto 05 (Ronda Ferran Puig) con 61 ug/m³, seguido del punto VED-11 (Carretera Barcelona, 30) con 55.7 ug/m³ y del STE-05 (rotonda xino) con 55.3 ug/m³.

Los niveles de fondo más elevados dentro de la ciudad de Girona son en el punto SAL-12 (Plaça Miquel Santaló i Pavor) con 33.3 ug/m³, seguido del punto VED-10 (Plaça Sardana (Devesa-Davant Gesemé)) con 33.3 ug/m³ y del VED-12 (Carrer Nou, 16) con 30.6 ug/m³.

5.4 Análisis de las concentraciones de NO₂ en la red semipermanente del Ayuntamiento de Girona

El muestreo de la red semipermanente indica niveles que oscilan entre 20.9 y 61 ug/m³ (figuras 27 y 28). La media de todos los puntos de fondo urbano es de 25 ug/m³ y la media de todos los puntos de tráfico es de 37 ug/m³. De los 18 puntos de muestreo, 13 puntos tienen resultados inferiores a 40 ug/m³, por lo tanto sólo 5 superarían el valor límite anual.

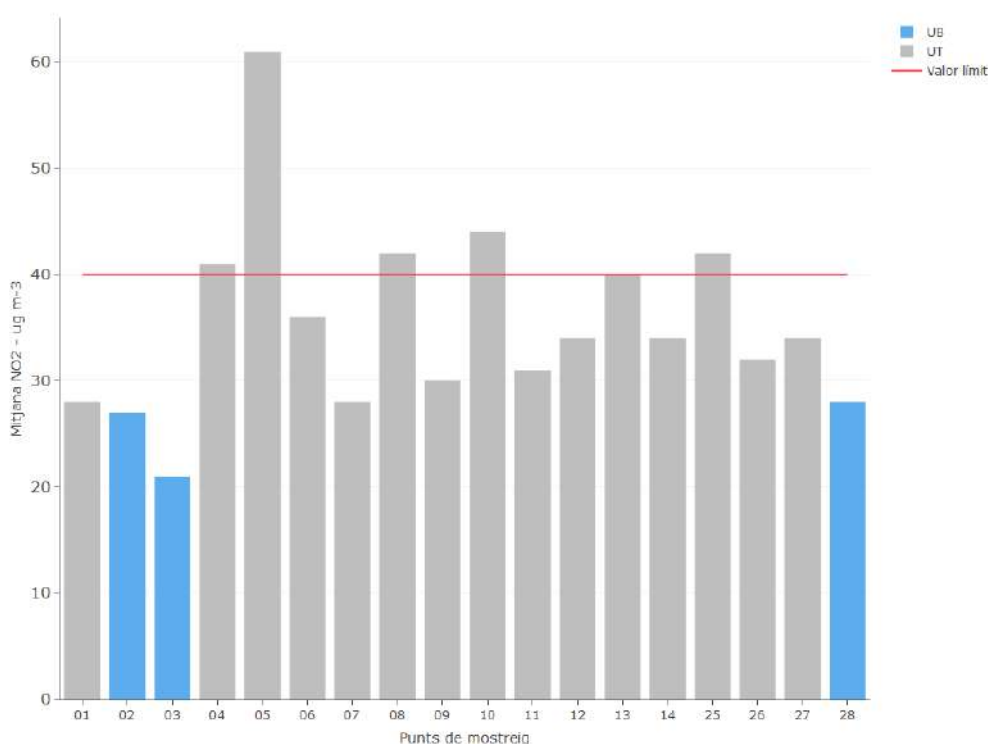


Figura 27: Gráfica de barras de las concentraciones de NO₂ de la red semipermanente.

La distribución espacial de las concentraciones medias de NO₂ para los 2 periodos se ilustra en el mapa de la figura 28. Este mapa muestra tanto los puntos de tráfico como los de fondo urbano de toda la ciudad. Las concentraciones más elevadas se midieron en el punto 05 (Ronda Ferran Puig) con 61 ug/m³, seguido del punto 10 (C. Pont Major) con 44.5 ug/m³ y del 08 (Ctra Barcelona - Bolera) con 42 ug/m³.

Las concentraciones de fondo más elevadas dentro de la ciudad se obtuvieron en el punto 28 (Pl. Europa (so)) con 27.8 ug/m^3 , seguido del punto 02 (Pl. del Vi) con 26.9 ug/m^3 y del 03 (Parc del Migdia) con 20.9 ug/m^3 .

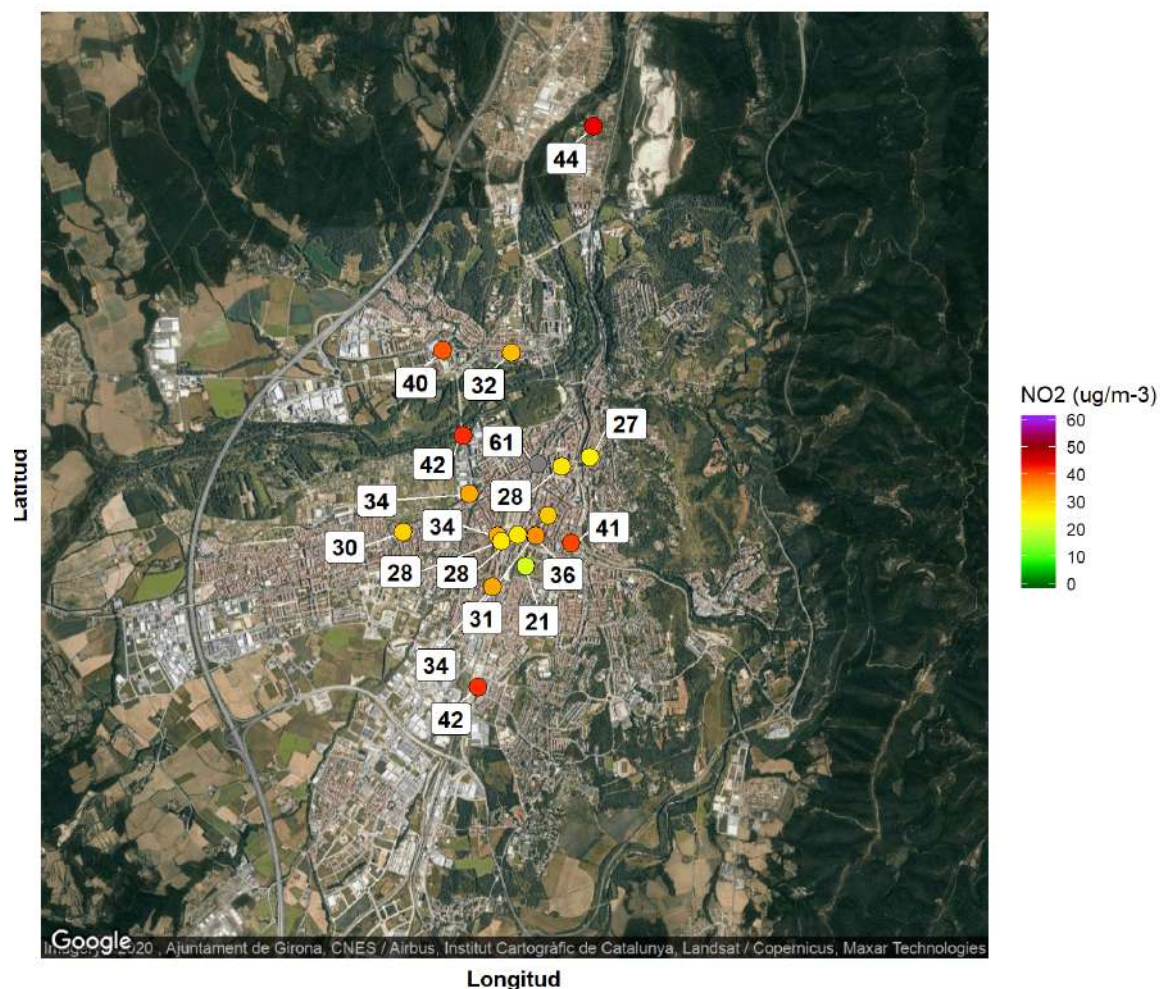


Figura 28: Mapa de las concentraciones de NO₂ en la red semipermanente.

El cuadro 13 contiene las concentraciones de NO₂ obtenidas en cada punto de la red semipermanente.

Para entender mejor los resultados obtenidos en la red semipermanente, estos se presentan divididos por categorías, según si el punto es de fondo o de tráfico.

Cuadro 13: Niveles de NO₂ de la red semipermanente.

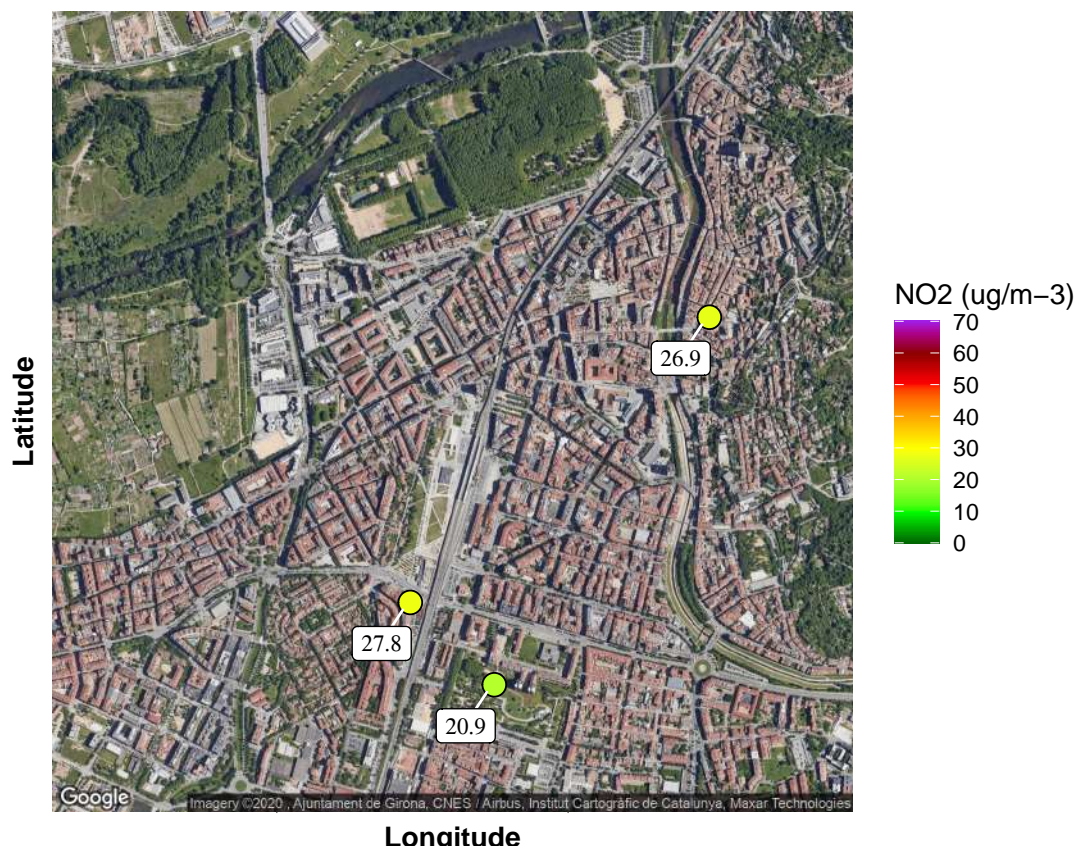
Punto	Tipo	NO ₂	Descripción
05	UT	61.0	Ronda Ferran Puig
10	UT	44.5	C. Pont Major
08	UT	42.0	Ctra Barcelona - Bolera
25	UT	41.7	Devesa - Rotonda
04	UT	41.0	C. Rutlla
13	UT	39.7	Crta Sant Gregori
06	UT	36.0	C. de la Creu
12	UT	34.1	Maristes
14	UT	33.9	C. Oviedo
27	UT	33.5	Pl. Europa
26	UT	32.0	Rambla Xavier Cugat
11	UT	31.3	C. Maragall
09	UT	30.3	Santa Eugènia
07	UT	28.4	C. Sant Francesc
01	UT	27.9	Estació Escola de Música
28	UB	27.8	Pl. Europa (so)
02	UB	26.9	Pl. del Vi
03	UB	20.9	Parc del Migdia

5.4.1. Concentraciones de NO₂ en el fondo urbano de la red

De los 18 puntos de la red, 3 puntos están considerados de fondo urbano, alejados del tráfico (figura 29 y cuadro 14). La media de estos puntos fue de 25 ug/m³, con una concentración máxima de 27.8 ug/m³ en el punto 28 (Pl. Europa (so)) y una mínima de 20.9 ug/m³ en el punto 03 (Parc del Migdia). Por lo tanto, de los 3 puntos ninguno presenta concentraciones superiores a 40 ug/m³.

Cuadro 14: Niveles de NO₂ en los puntos de fondo urbano.

Punto	Descripción	NO ₂
28	Pl. Europa (so)	27.8
02	Pl. del Vi	26.9
03	Parc del Migdia	20.9

**Figura 29:** Mapa de las medias de NO₂ en el fondo urbano.

5.4.2. Concentraciones de NO₂ en las zonas de tránsito de la red

En la red hay 15 puntos considerados de tráfico urbano. La media de estos puntos fue de 37 ug/m³. En el cuadro 15 se pueden ver las concentraciones obtenidas en cada punto de tránsito. Las figuras 30 y 31 muestran la distribución espacial de las concentraciones de NO₂ en los puntos de tránsito.

La concentración más elevada obtenida en los puntos de tránsito fue de 61 ug/m³ en el punto 05 (Ronda Ferran Puig) y la mínima fue de 27.9 ug/m³ en el punto 01 (Estació Escola de Música). De los 15 puntos, solo 5 puntos registraron concentraciones superiores a 40 ug/m³.

Cuadro 15: Niveles de NO₂ en los puntos de tráfico urbano.

Punto	Descripción	NO ₂
05	Ronda Ferran Puig	61.0
10	C. Pont Major	44.5
08	Ctra Barcelona - Bolera	42.0
25	Devesa - Rotonda	41.7
04	C. Rutlla	41.0
13	Crta Sant Gregori	39.7
06	C. de la Creu	36.0
12	Maristes	34.1
14	C. Oviedo	33.9
27	Pl. Europa	33.5
26	Rambla Xavier Culgat	32.0
11	C. Maragall	31.3
09	Santa Eugènia	30.3
07	C. Sant Francesc	28.4
01	Estació Escola de Música	27.9

Los 5 puntos con concentraciones más críticas de la red son: Ronda Ferran Puig (punto 05) con 61 ug/m³; C. Pont Major (punto 10) con 44.5 ug/m³, Ctra Barcelona - Bolera (punto 08) con 42 ug/m³; Devesa - Rotonda (punto 25) con 41.7 ug/m³ i C. Rutlla (punto 04) con 41 ug/m³.

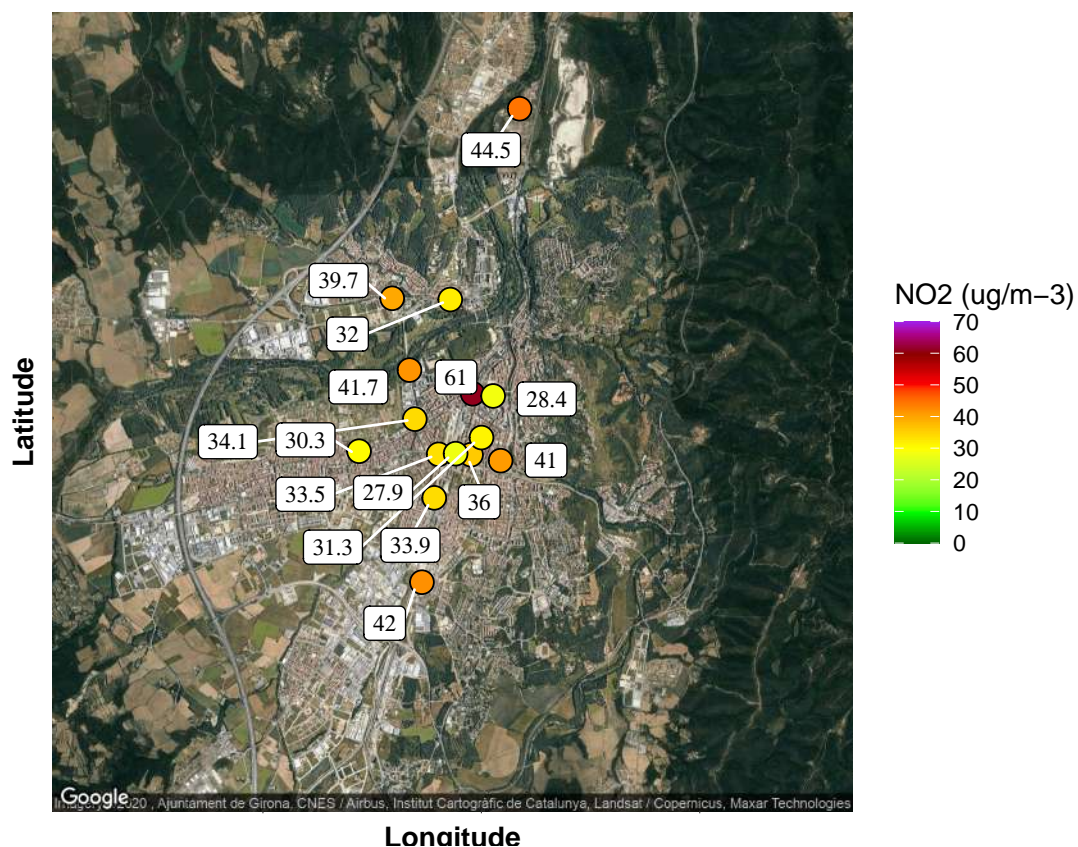


Figura 30: Mapa de las medias de NO₂ en puntos de tráfico urbano

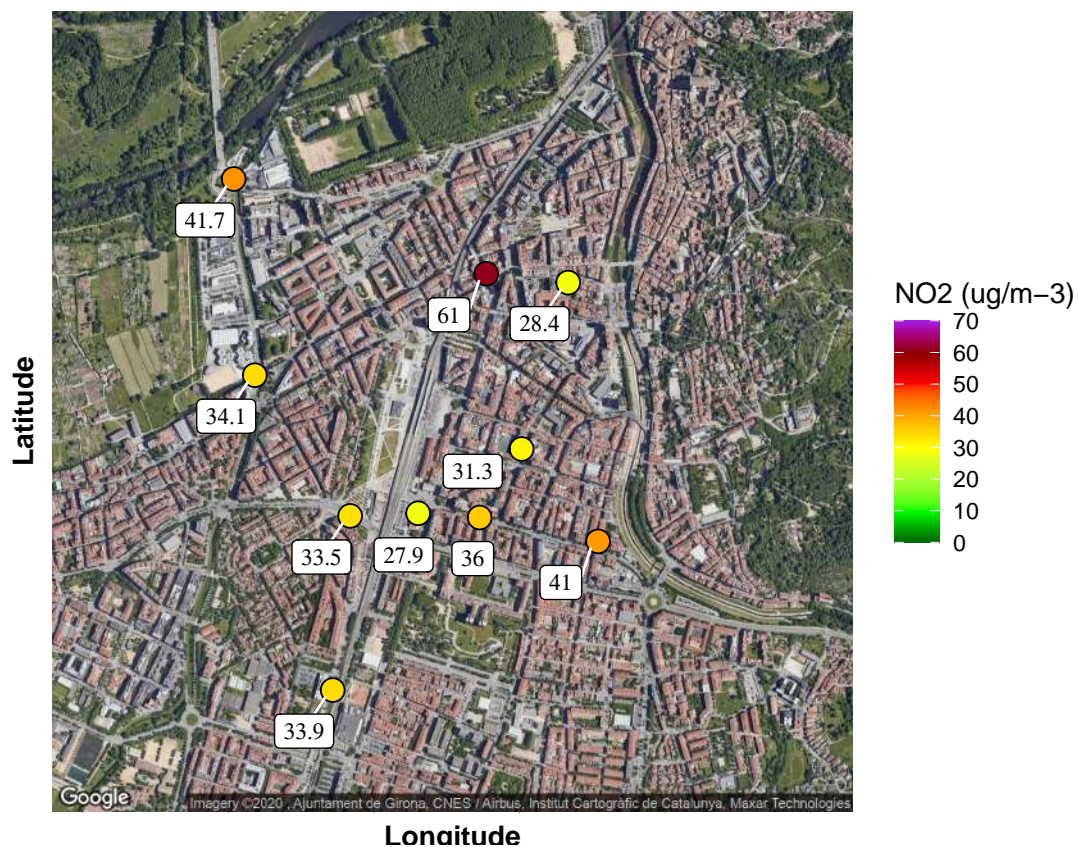


Figura 31: Mapa de las medias de NO₂ en puntos de tráfico urbano (zoom)

5.5 Análisis de las concentraciones de NO₂ en los centros educativos

A continuación se presentan las concentraciones medias obtenidas para los dos periodos individualmente para cada escuela.

5.5.1. Resultados: Escola Bosc de la Pabordia

Las campañas realizadas indica niveles que oscilan entre 10.8 y 36.7 ug/m³ (figuras 32 y 33) alrededor del centro. *Los niveles de NO₂ en el interior del aula son de 11 ug/m³*. La variación de las concentraciones de NO₂ alrededor del centro es de 25.9 ug/m³ entre el punto de tráfico y la calidad de aire en el interior del aula.

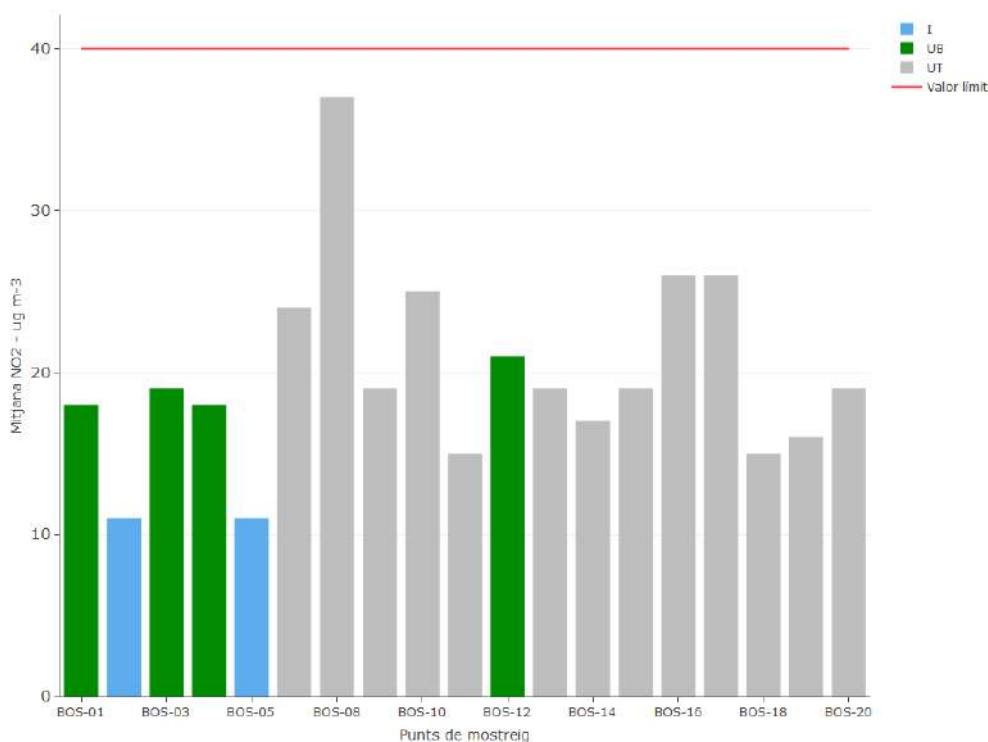


Figura 32: Gráfica de barras de las concentraciones de NO₂ en la Escola Bosc de la Pabordia.

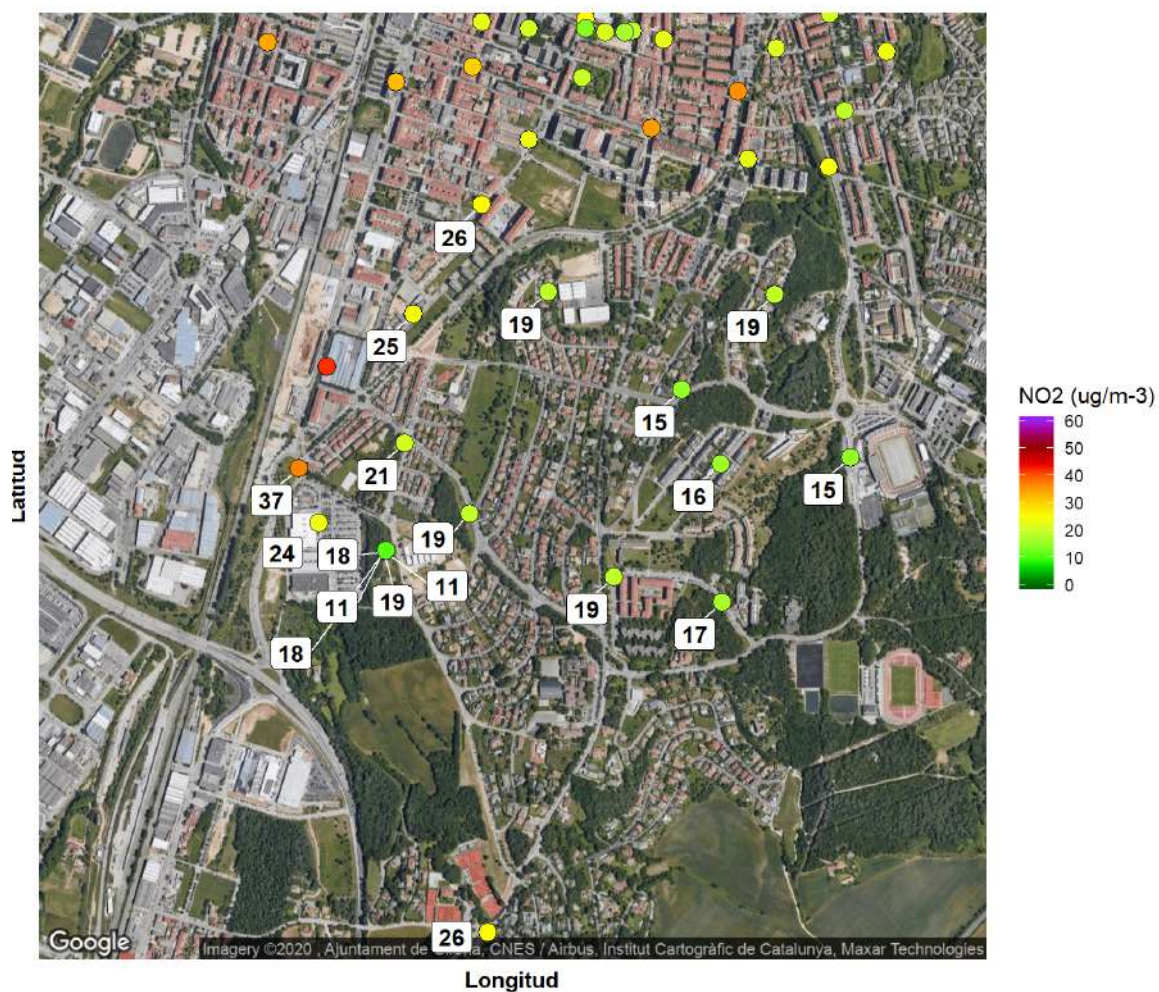


Figura 33: Mapa de las concentraciones de NO₂ en la Escola Bosc de la Pabordia.

El cuadro 16 contiene las concentraciones de NO₂ obtenidas dentro y alrededor de la escuela.

Cuadro 16: Niveles de NO2 dentro y alrededor de la Escola Bosc de la Pabordia

Punto	Tipo	NO2	Índice	Descripción
BOS-08	UT	36.7	Regular	ROTONDA MC DONALDS
BOS-17	UT	26.2	Bona	MONTESSORI
BOS-16	UT	25.7	Bona	CARRER MIGDIA, DREAMS
BOS-10	UT	25.2	Bona	ESCOLA MARTA MATA
BOS-07	UT	23.8	Bona	ENTRADA DECATHLON
BOS-12	UB	21.2	Bona	PARC DE BAIX DE L'ESCOLA
BOS-20	UT	19.3	Molt bona	FONT DE L'ABELLA
BOS-09	UT	19.2	Molt bona	BOSTON JOCS OLIMPICS
BOS-15	UT	19.1	Molt bona	PAVELLÓ PALAU
BOS-03	UB	18.8	Molt bona	PATI CICLE SUPERIOR
BOS-13	UT	18.7	Molt bona	ERMESSEDA
BOS-04	UB	18.5	Molt bona	PATI CICLE INICIAL
BOS-01	UB	18.2	Molt bona	PORTA ENTRADA ESCOLA
BOS-14	UT	17.4	Molt bona	RESIDÈNCIA AVIS PALAU
BOS-19	UT	15.8	Molt bona	YTER
BOS-11	UT	15.0	Molt bona	CAMP GIRONA MONTILIVI
BOS-18	UT	14.6	Molt bona	MAS ABELLA
BOS-02	I	11.0	Molt bona	MENJADOR ESCOLA
BOS-05	I	10.8	Molt bona	BIBLIOTECA

5.5.2. Resultados: Escola Domeny

Las campañas realizadas indica niveles que oscilan entre 19.7 y 46.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (figuras 34 y 35) alrededor del centro. Los niveles de NO_2 en el interior del aula son de 19.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La variación de las concentraciones de NO_2 alrededor del centro es de 26.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ entre el punto de tráfico y la calidad de aire en el interior del aula.

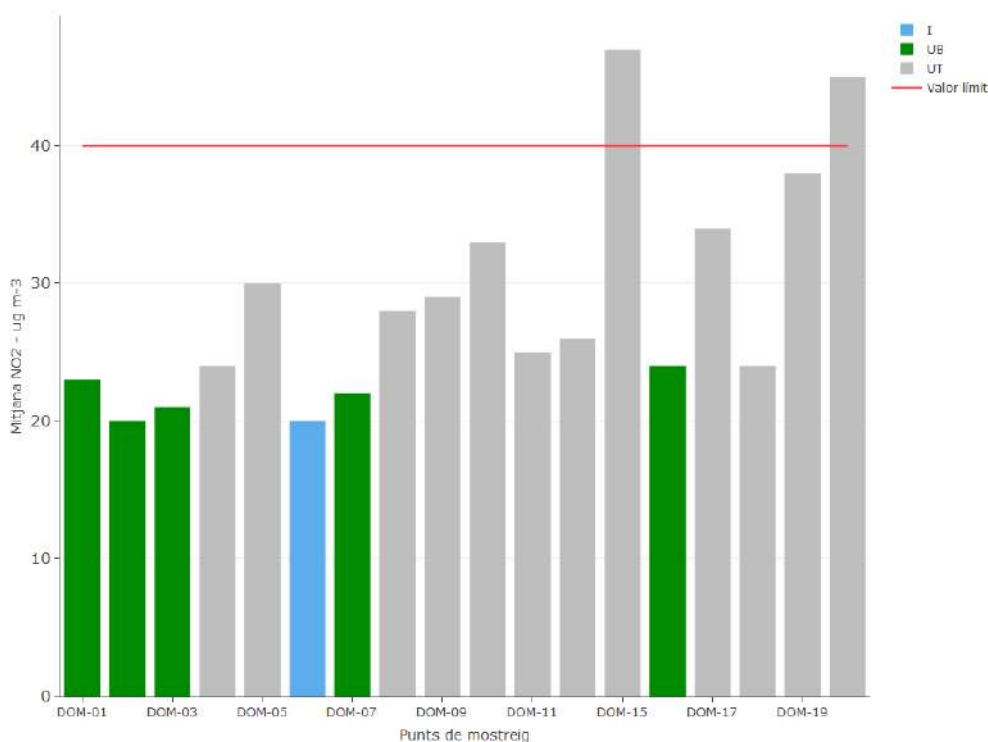


Figura 34: Gráfica de barras de las concentraciones de NO_2 en la Escola Domeny.

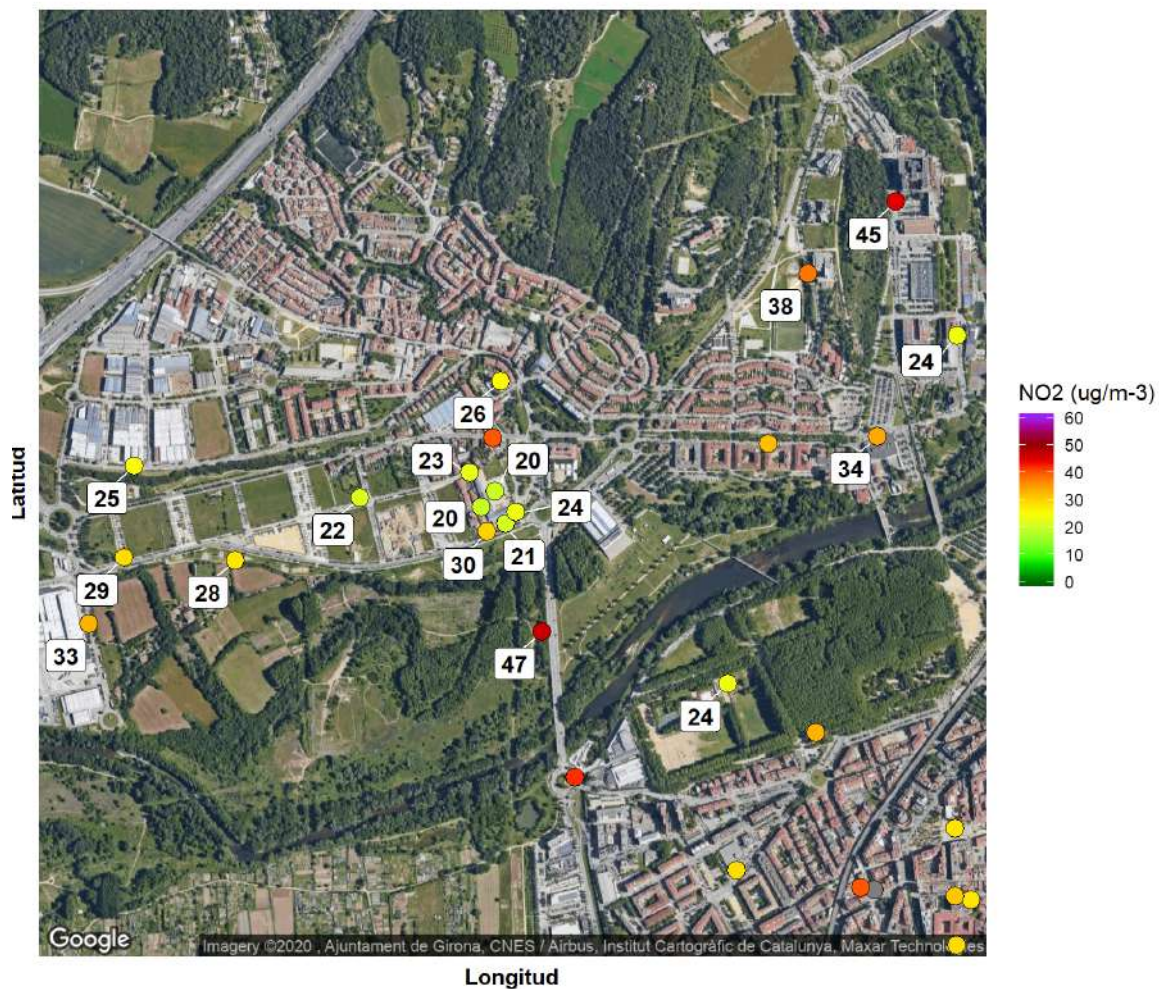


Figura 35: Mapa de las concentraciones de NO₂ en la Escola Domeny.

El cuadro 17 contiene las concentraciones de NO₂ obtenidas dentro y alrededor de la escuela.

Cuadro 17: Niveles de NO₂ dentro y alrededor de la Escola Domeny

Punto	Tipo	NO ₂	Índice	Descripción
DOM-15	UT	46.6	Pobra	Pont de Fontajau
DOM-20	UT	44.6	Pobra	Trueta
DOM-19	UT	38.1	Regular	Can Sunyer
DOM-17	UT	33.7	Regular	Ocine
DOM-10	UT	33.0	Regular	Nestlé
DOM-05	UT	29.9	Bona	Entrada Roberto Bolaño
DOM-09	UT	29.4	Bona	Roberto Bolaño amb C/Xirinacs
DOM-08	UT	27.8	Bona	Parc de Domeny
DOM-12	UT	26.5	Bona	Celler de Can Roca
DOM-11	UT	25.4	Bona	Bo de Bo
DOM-04	UT	24.2	Bona	Entrada pàrquing
DOM-18	UT	23.8	Bona	GEIEG
DOM-16	UB	23.5	Bona	Devesa zona Agility
DOM-01	UB	22.7	Bona	sorral
DOM-07	UB	22.5	Bona	Residencial Domeny c/ Bullidors amb c/ Damià Escuder
DOM-03	UB	20.7	Bona	pati infantil
DOM-02	UB	19.9	Molt bona	pati escola
DOM-06	I	19.7	Molt bona	Aula 6è A

5.5.3. Resultados: Escola FEDAC Pont Major

Las campañas realizadas indica niveles que oscilan entre 10.8 y 45.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (figuras 36 y 37) alrededor del centro. Los niveles de NO_2 en el interior del aula son de 10.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La variación de las concentraciones de NO_2 alrededor del centro es de 34.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ entre el punto de tráfico y la calidad de aire en el interior del aula.

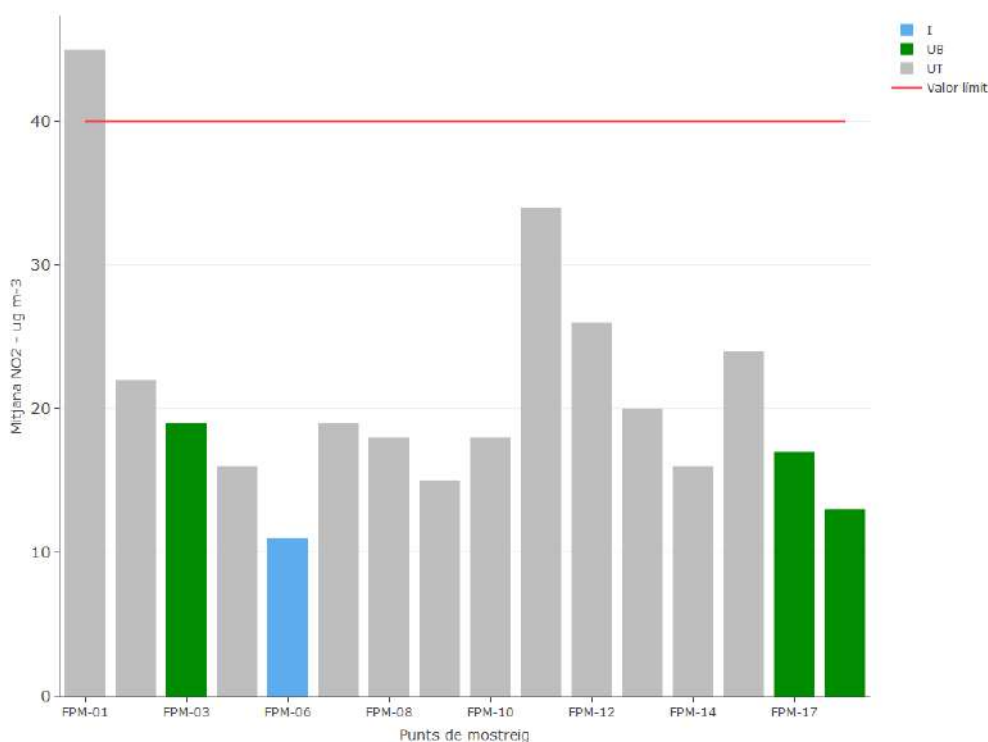


Figura 36: Gráfica de barras de las concentraciones de NO_2 en la Escola FEDAC Pont Major.

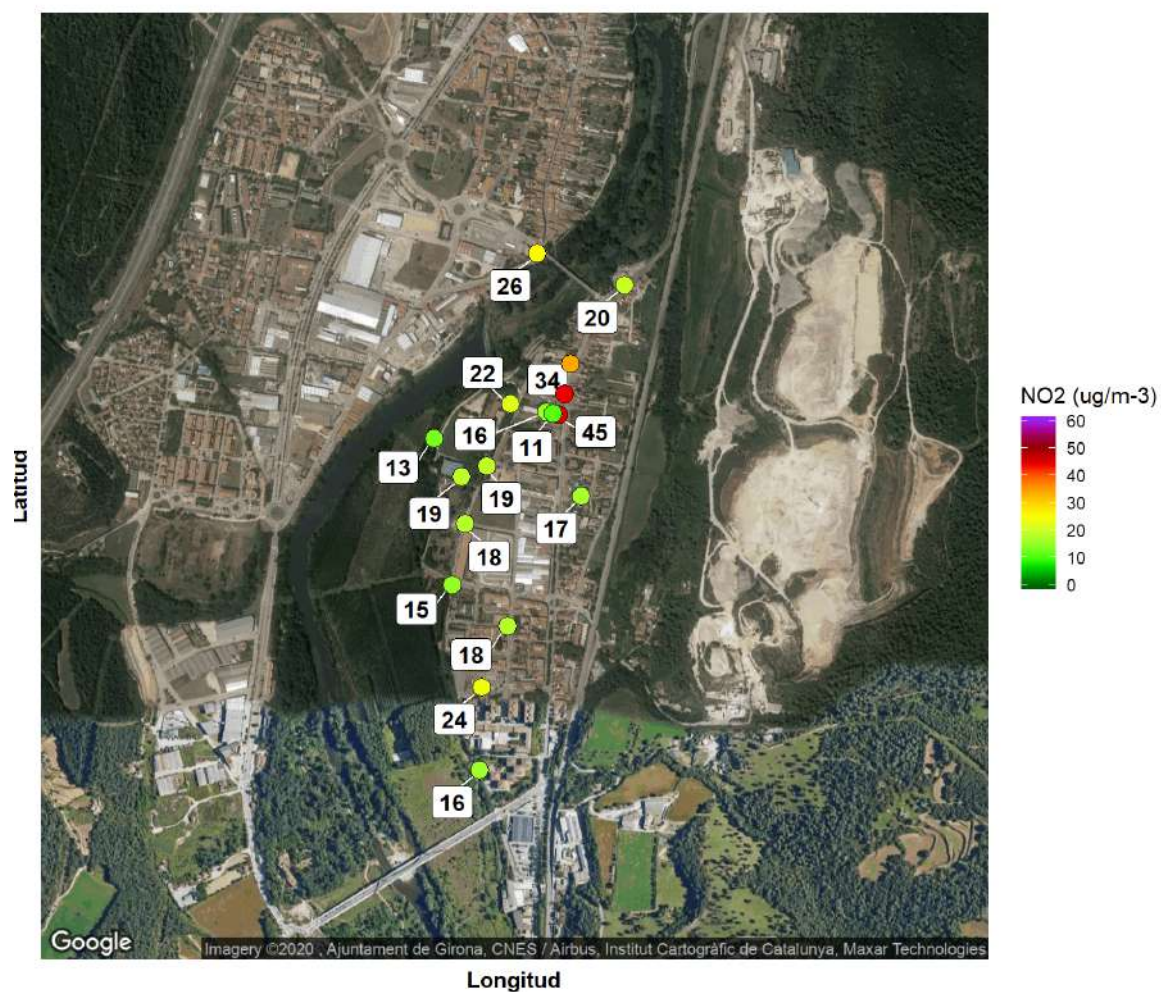


Figura 37: Mapa de las concentraciones de NO₂ en la Escola FEDAC Pont Major.

El cuadro 18 contiene las concentraciones de NO₂ obtenidas dentro y alrededor de la escuela.

Cuadro 18: Niveles de NO2 dentro y alrededor de la Escola FEDAC Pont Major

Punto	Tipo	NO2	Índice	Descripción
FPM-01	UT	45.4	Pobra	porta principal
FPM-11	UT	33.8	Regular	Centre cívic
FPM-12	UT	26.3	Bona	C255 km0
FPM-16	UT	24.1	Bona	cantonda teisa
FPM-02	UT	22.3	Bona	porta del darrera
FPM-13	UT	20.3	Bona	resta. Ca la P.
FPM-03	UB	18.8	Molt bona	davant pavelló
FPM-07	UT	18.7	Molt bona	parc infantil
FPM-10	UT	18.2	Molt bona	Centre penit.
FPM-08	UT	17.7	Molt bona	Port lligat 12
FPM-17	UB	16.8	Molt bona	carrer de na Carme Gubert,7
FPM-05	UT	16.5	Molt bona	pati de l'escola
FPM-14	UT	16.4	Molt bona	carrer fuerteventura,10
FPM-09	UT	15.4	Molt bona	Pl. Isabel Vila
FPM-19	UB	13.1	Molt bona	darrere camp de fútbol
FPM-06	I	10.8	Molt bona	aula de 5è

5.5.4. Resultados: Escola Dr.Masmitjà

Las campañas realizadas indica niveles que oscilan entre 23.1 y 53.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (figuras 38 y 39) alrededor del centro. Los niveles de NO_2 en el interior del aula son de 24.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La variación de las concentraciones de NO_2 alrededor del centro es de 30.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ entre el punto de tráfico y la calidad de aire en el interior del aula.

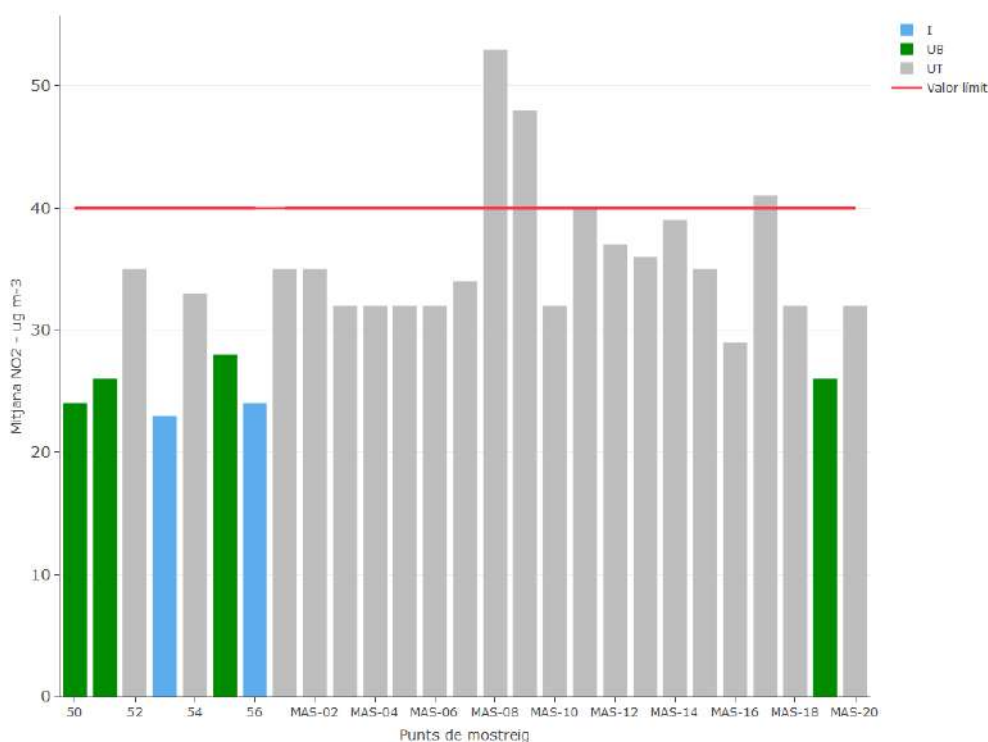


Figura 38: Gráfica de barras de las concentraciones de NO_2 en la Escola Dr.Masmitjà.

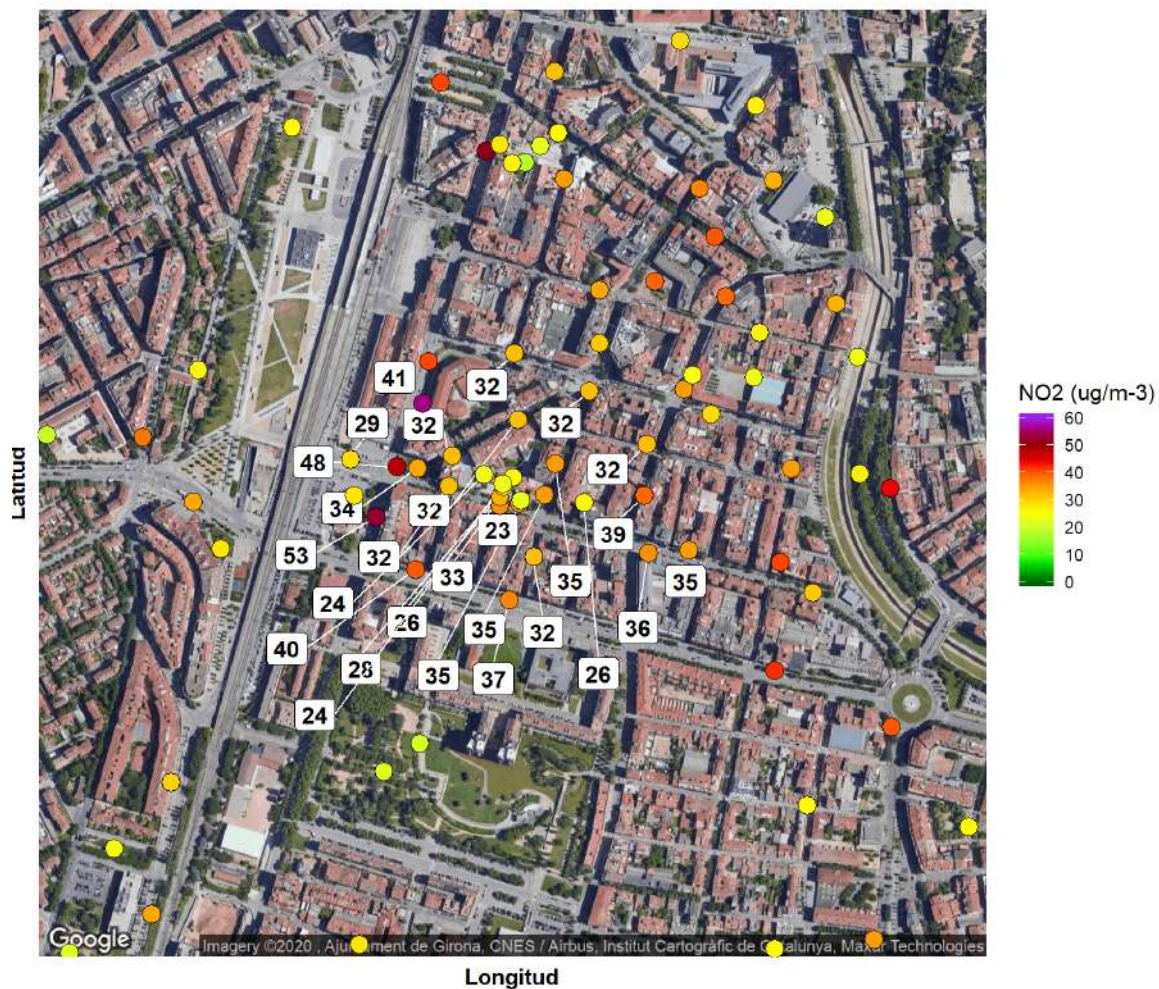


Figura 39: Mapa de las concentraciones de NO₂ en la Escola Dr.Masmitjà.

El cuadro 19 contiene las concentraciones de NO₂ obtenidas dentro y alrededor de la escuela.

Cuadro 19: Niveles de NO2 dentro y alrededor de la Escola Dr. Masmitjà

Punto	Tipo	NO2	Índice	Descripción
MAS-08	UT	53.2	Pobra	Barcelona, 59
MAS-09	UT	47.6	Pobra	Contonada Barcelona/Creu
MAS-17	UT	40.7	Pobra	Barcelona, vorera davant Abacus
MAS-11	UT	39.9	Regular	Emili Grahit/Manel Quer
MAS-14	UT	38.7	Regular	Migdia, davant Sedes
MAS-12	UT	37.4	Regular	Emili Grahit
MAS-13	UT	36.0	Regular	Migdia, 36 Davant Caixa
MAS-02	UT	35.3	Regular	Maragall, davant Dcasa
MAS-15	UT	35.2	Regular	Creu, BBVA
52	UT	35.1	Regular	P3B - fora C/Creu
MAS-01	UT	34.7	Regular	Entrada escola
MAS-07	UT	34.0	Regular	Parc Creu/Barcelona
54	UT	32.9	Regular	Pati Bàsquet (Tanca Creu)
MAS-06	UT	32.5	Regular	Francesc Ciurana, davant pati escola
MAS-05	UT	32.4	Regular	Francesc Ciurana
MAS-20	UT	31.9	Regular	Creu/Manel Quer
MAS-03	UT	31.7	Regular	Maluquer Salvador
MAS-10	UT	31.6	Regular	Balmes
MAS-18	UT	31.6	Regular	Salle, Angelus
MAS-04	UT	31.5	Regular	Parc davant Wsecret
MAS-16	UT	29.2	Bona	Creu , Parquing Dia
55	UB	28.0	Bona	Pati Bàsquet (façana P4)
MAS-19	UB	26.4	Bona	Parc Santa Glòria
51	UB	25.5	Bona	Pati Magnolia
50	UB	24.3	Bona	Terrat
56	I	24.2	Bona	Dins classe P4 (costat bàsquet)
53	I	23.1	Bona	P3B - DINS

5.5.5. Resultados: Escola Migdia

Las campañas realizadas indica niveles que oscilan entre 14.4 y 38.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (figuras 40 y 41) alrededor del centro. Los niveles de NO_2 en el interior del aula son de 17.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La variación de las concentraciones de NO_2 alrededor del centro es de 23.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ entre el punto de tráfico y la calidad de aire en el interior del aula.

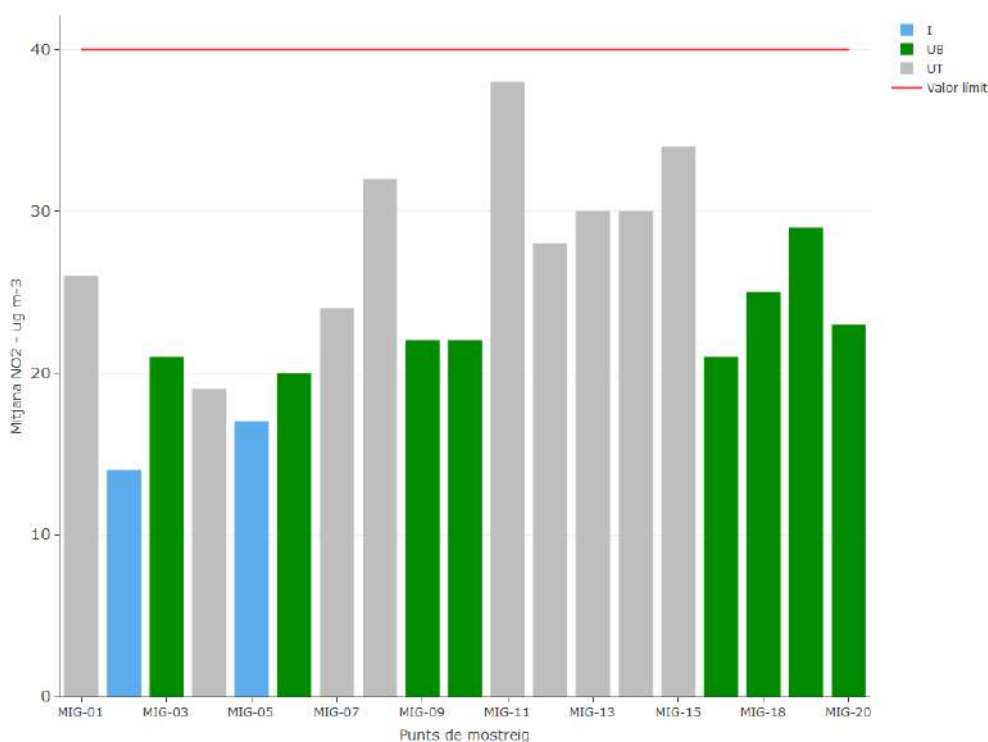


Figura 40: Gráfica de barras de las concentraciones de NO_2 en la Escola Migdia.

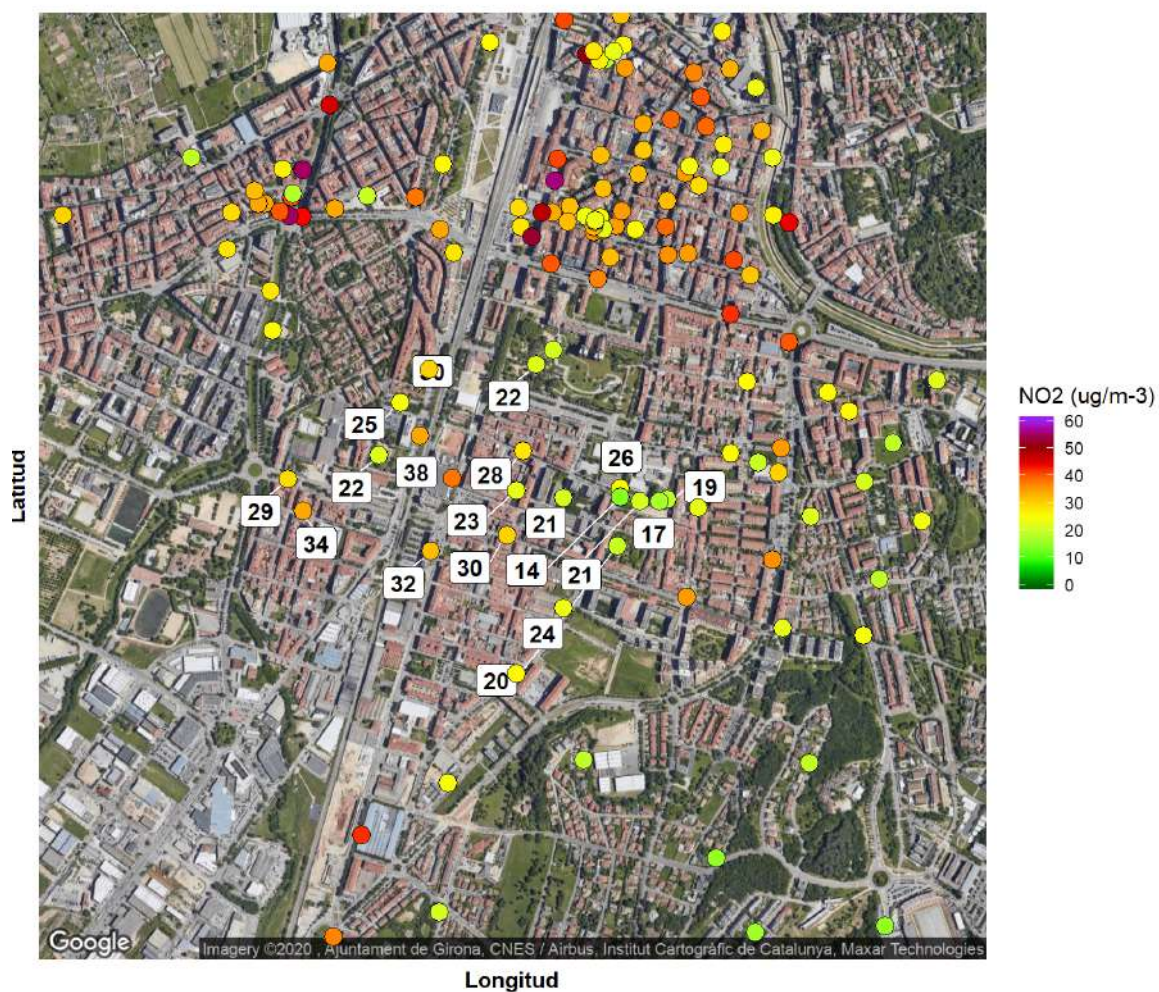


Figura 41: Mapa de las concentraciones de NO₂ en la Escola Migdia.

El cuadro 20 contiene las concentraciones de NO₂ obtenidas dentro y alrededor de la escuela.

Cuadro 20: Niveles de NO2 dentro y alrededor de la Escola Migdia

Punto	Tipo	NO2	Índice	Descripción
MIG-11	UT	38.3	Regular	carrer Barcelona hipercor
MIG-15	UT	33.5	Regular	Carrer Valladolid
MIG-08	UT	31.9	Regular	carrer Barcelona Hotel Melià
MIG-13	UT	30.5	Regular	Carrer Caldes de Montbui
MIG-14	UT	30.3	Regular	Carrer Oviedo
MIG-19	UB	29.0	Bona	Carrer Rafael Alberti
MIG-12	UT	28.2	Bona	carrer Saragossa
MIG-01	UT	25.8	Bona	entrada carrer migdia
MIG-18	UB	25.4	Bona	Carrer la pau
MIG-07	UT	24.2	Bona	bonpreu carrer migdia
MIG-20	UB	23.4	Bona	Carrer Joan M. Pau i Camps
MIG-09	UB	22.2	Bona	parc de la comtessa ermessenda
MIG-10	UB	22.2	Bona	Parc Migdia
MIG-16	UB	21.2	Bona	PLAÇA MANUEL VAZQUEZ MONTALBAN
MIG-03	UB	20.7	Bona	pati
MIG-06	UB	20.2	Bona	Plaça Josep Irla i Bosch
MIG-04	UT	18.7	Molt bona	entrada carrer Sant Agustí
MIG-05	I	17.1	Molt bona	interior primaria
MIG-02	I	14.4	Molt bona	interior infantil (p3-p5)

5.5.6. Resultados: Escola Pla de Girona

Las campañas realizadas indica niveles que oscilan entre 18.9 y 39.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (figuras 42 y 43) alrededor del centro. Los niveles de NO_2 en el interior del aula son de 29.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La variación de las concentraciones de NO_2 alrededor del centro es de 20.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ entre el punto de tráfico y la calidad de aire en el interior del aula.

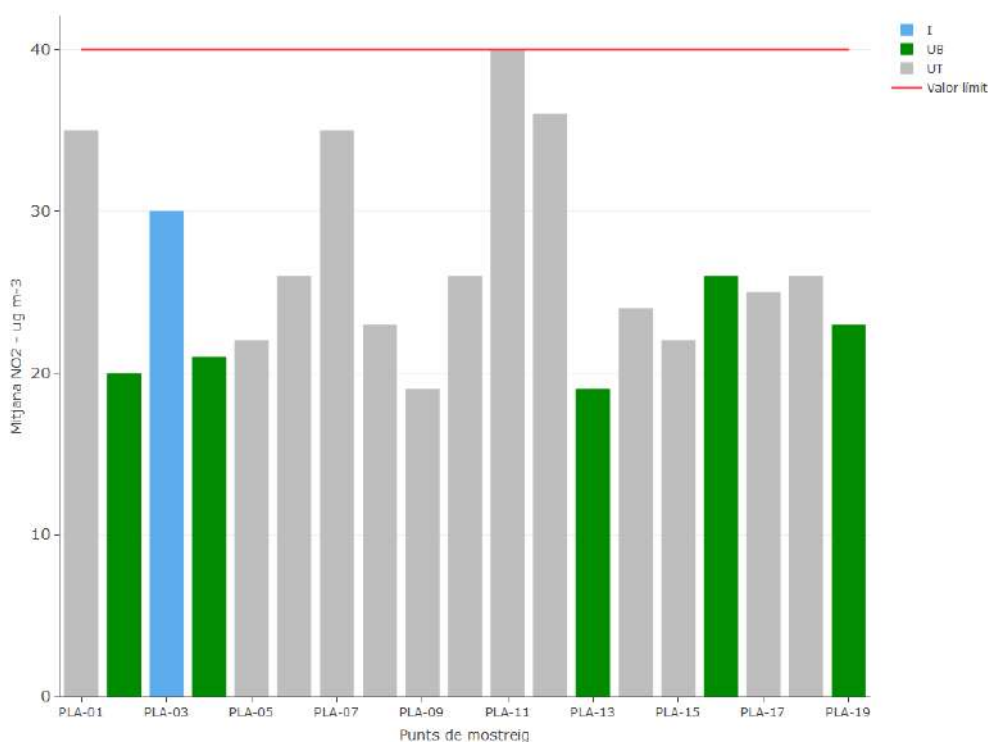


Figura 42: Gráfica de barras de las concentraciones de NO_2 en la Escola Pla de Girona.

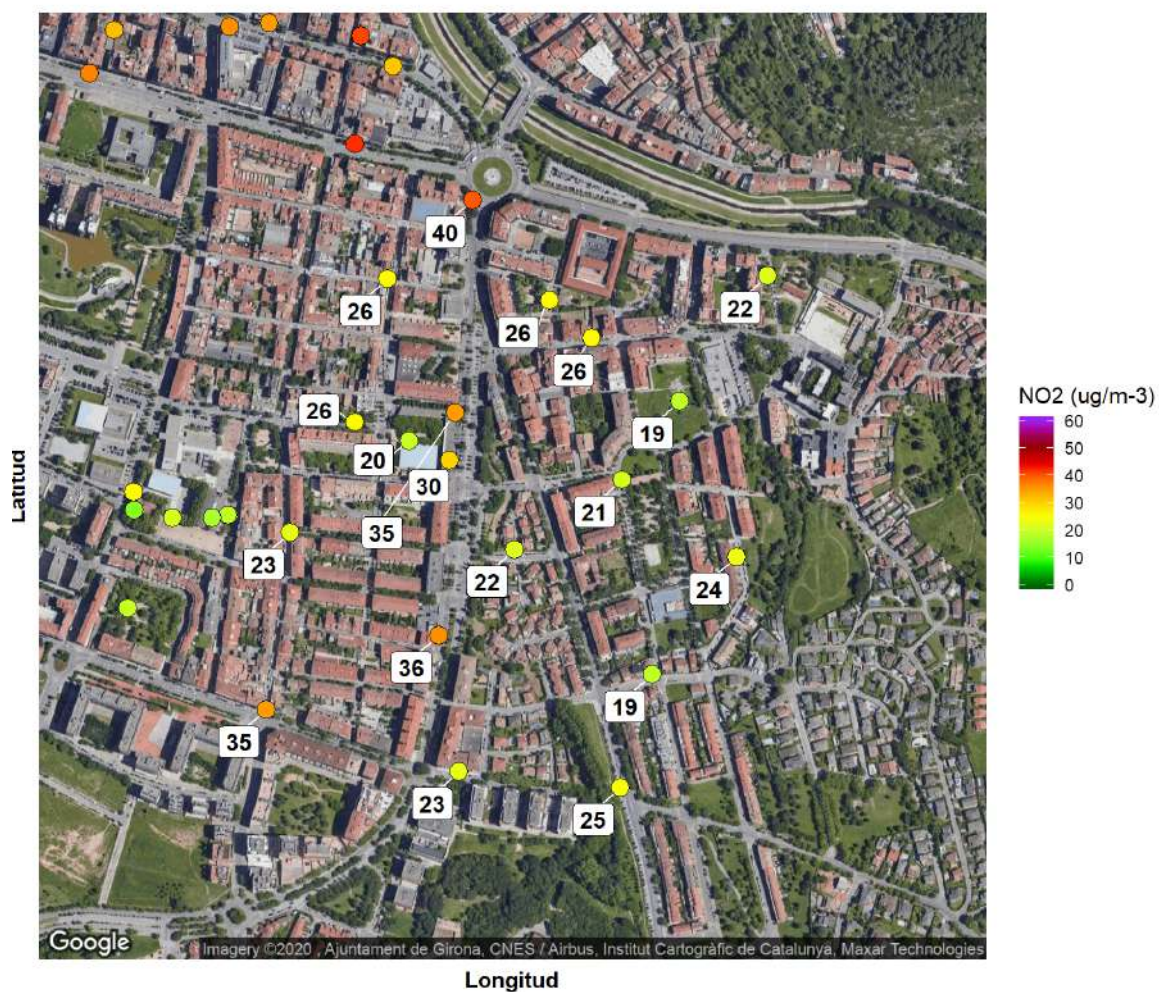


Figura 43: Mapa de las concentraciones de NO₂ en la Escola Pla de Girona.

El cuadro 21 contiene las concentraciones de NO₂ obtenidas dentro y alrededor de la escuela.

Cuadro 21: Niveles de NO2 dentro y alrededor de la Escola Pla de Girona

Punto	Tipo	NO2	Índice	Descripción
PLA-11	UT	39.6	Regular	Avd. Lluís Pericot, 2
PLA-12	UT	36.0	Regular	Avd. Lluís Pericot, 38,46
PLA-07	UT	35.0	Regular	C/ Rutlla i Caldes de Montbuí (cantonada)
PLA-01	UT	34.8	Regular	Avd. Lluís Pericot, 16-18
PLA-03	I	29.9	Bona	Classe 4tB
PLA-06	UT	26.2	Bona	C/ Joaquim Botet i Sisó, 6
PLA-10	UT	26.0	Bona	C/ Andreu Tuyet i Santamaria, 15-9
PLA-18	UT	25.8	Bona	C/ Josep Ametller i Viña, 38
PLA-16	UB	25.5	Bona	C/ Joan Reglà, 12
PLA-17	UT	24.7	Bona	Avd. Montilivi
PLA-14	UT	23.8	Bona	C/ del Castell de Solterra
PLA-08	UT	23.4	Bona	C/ Riera de Bugantó, 7
PLA-19	UB	22.9	Bona	C/ Jaume Marqués Casanovas
PLA-15	UT	22.3	Bona	C/ Francesc Palau i Quer 3-1
PLA-05	UT	21.6	Bona	C/ Carles Bolós
PLA-04	UB	21.3	Bona	Plaça Ciutat de Figueres
PLA-02	UB	20.3	Bona	Pati de l'escola
PLA-09	UT	18.9	Molt bona	C/ Francesc Romaguera
PLA-13	UB	18.9	Molt bona	C/ del Castell de Solterra, 6

5.5.7. Resultados: Institut La Salle Girona

Las campañas realizadas indica niveles que oscilan entre 23.6 y 44.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (figuras 44 y 45) alrededor del centro. *Los niveles de NO_2 en el interior del aula son de 25.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.* La variación de las concentraciones de NO_2 alrededor del centro es de 20.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ entre el punto de tráfico y la calidad de aire en el interior del aula.

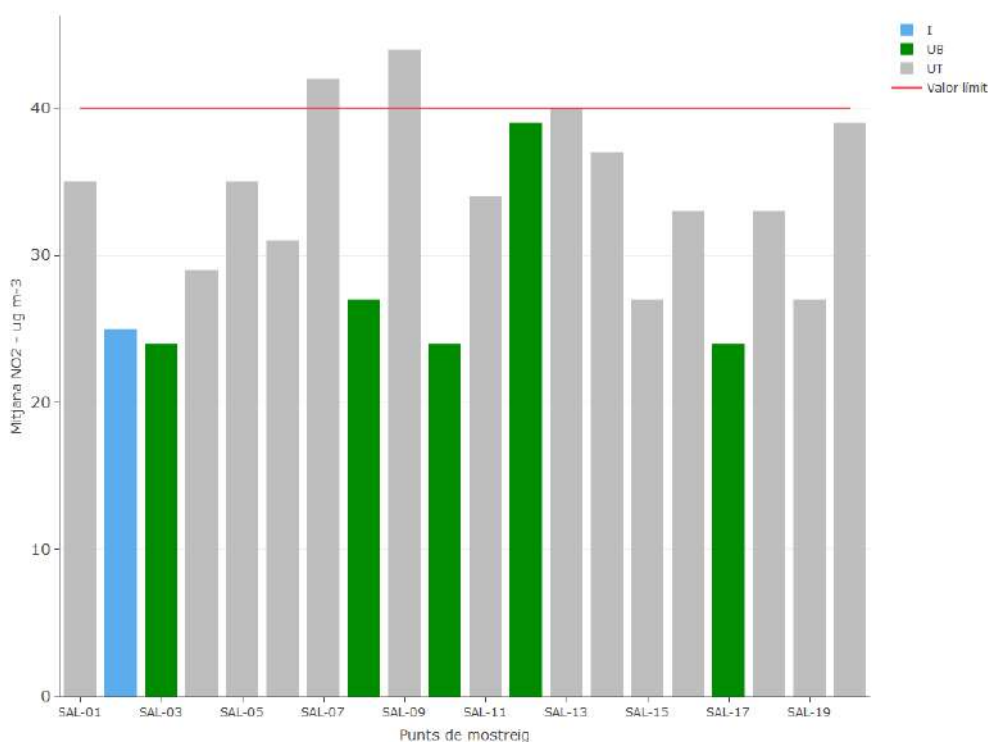


Figura 44: Gráfica de barras de las concentraciones de NO_2 en la Institut La Salle Girona.

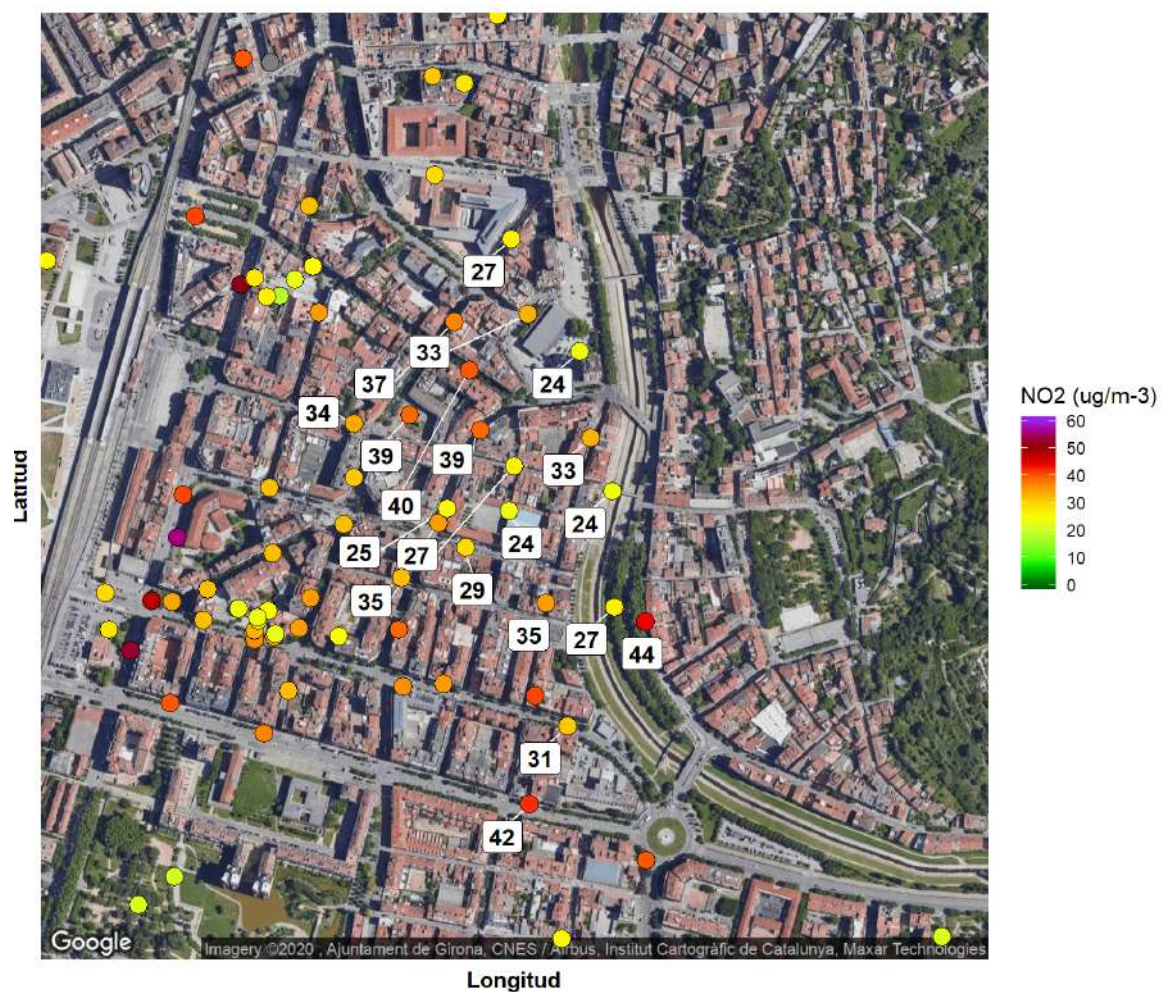


Figura 45: Mapa de las concentraciones de NO₂ en la Institut La Salle Girona.

El cuadro 22 contiene las concentraciones de NO₂ obtenidas dentro y alrededor de la escuela.

Cuadro 22: Niveles de NO2 dentro y alrededor de la Institut La Salle Girona

Punto	Tipo	NO2	Índice	Descripción
SAL-09	UT	44.1	Pobra	C/ del Carme (canto de les cases)
SAL-07	UT	41.6	Pobra	C/ Emili Grahit (davant eica)
SAL-13	UT	40.0	Regular	R. S Antoni M. Claret (davant Abacus)
SAL-20	UT	39.0	Regular	C/Ultonia
SAL-12	UB	38.7	Regular	Plaça Miquel Santaló i Pavor
SAL-14	UT	37.3	Regular	C/ Joan Maragall 21 (costat Cottet)
SAL-05	UT	35.4	Regular	C/Rutlla (entre 68 i 70) - oposat a granel
SAL-01	UT	34.6	Regular	Entrada escola
SAL-11	UT	34.5	Regular	C/ Lorenzana 35 (vorera Col·legi Verd)
SAL-18	UT	32.9	Regular	C/ de la Rutlla 14
SAL-16	UT	32.8	Regular	Gran Via Jaume I / Mercat Lleó (costa pas de zebra)
SAL-06	UT	30.8	Regular	C/ Creu (aprop Gasolinera)
SAL-04	UT	28.6	Bona	C/Salle 13 (passat Dia)
SAL-19	UT	27.3	Bona	C/ Bisbe Lorenzana 18 (façana)
SAL-08	UB	27.1	Bona	Parc carrer del carme
SAL-15	UT	26.6	Bona	C/ Joan Maragall (entre Tenzenis i pimkie)
SAL-02	I	25.4	Bona	Interior escola (Migdia)
SAL-10	UB	24.5	Bona	Pont carrer bisbe Lorenzana
SAL-17	UB	24.4	Bona	Plaça Calvet i Rubalcaba (MERCAT)
SAL-03	UB	23.6	Bona	Pati

5.5.8. Resultados: Escola Sta. Eugènia

Las campañas realizadas indica niveles que oscilan entre 17.6 y 55.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (figuras 46 y 47) alrededor del centro. Los niveles de NO_2 en el interior del aula son de 17.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La variación de las concentraciones de NO_2 alrededor del centro es de 37.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ entre el punto de tráfico y la calidad de aire en el interior del aula.

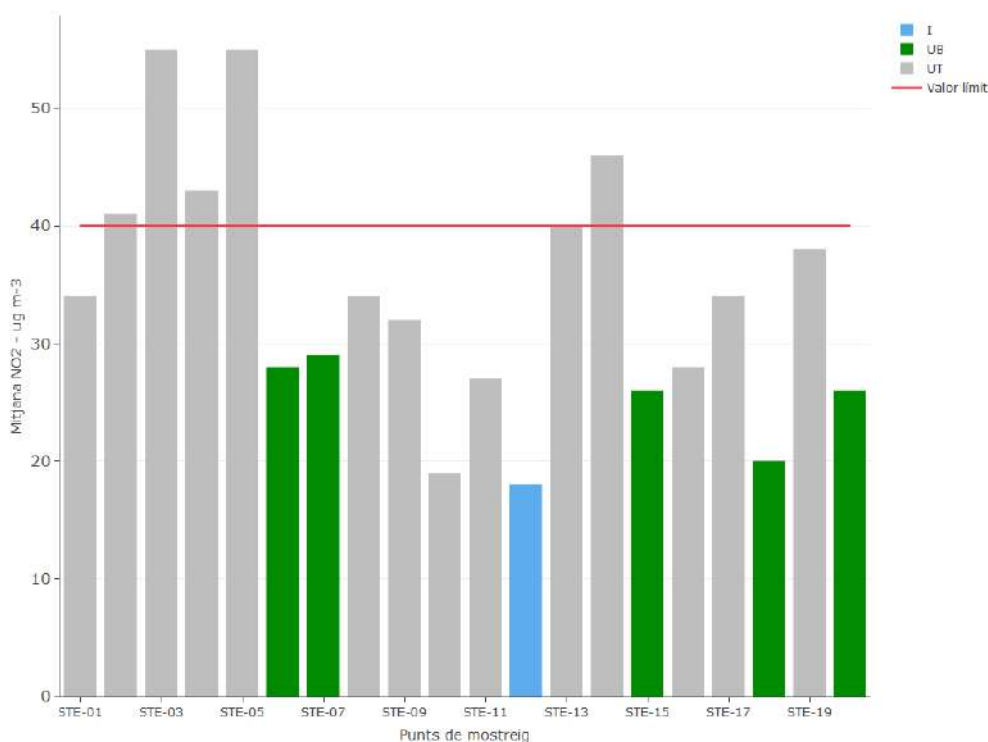


Figura 46: Gráfica de barras de las concentraciones de NO_2 en la Escola Sta. Eugènia.

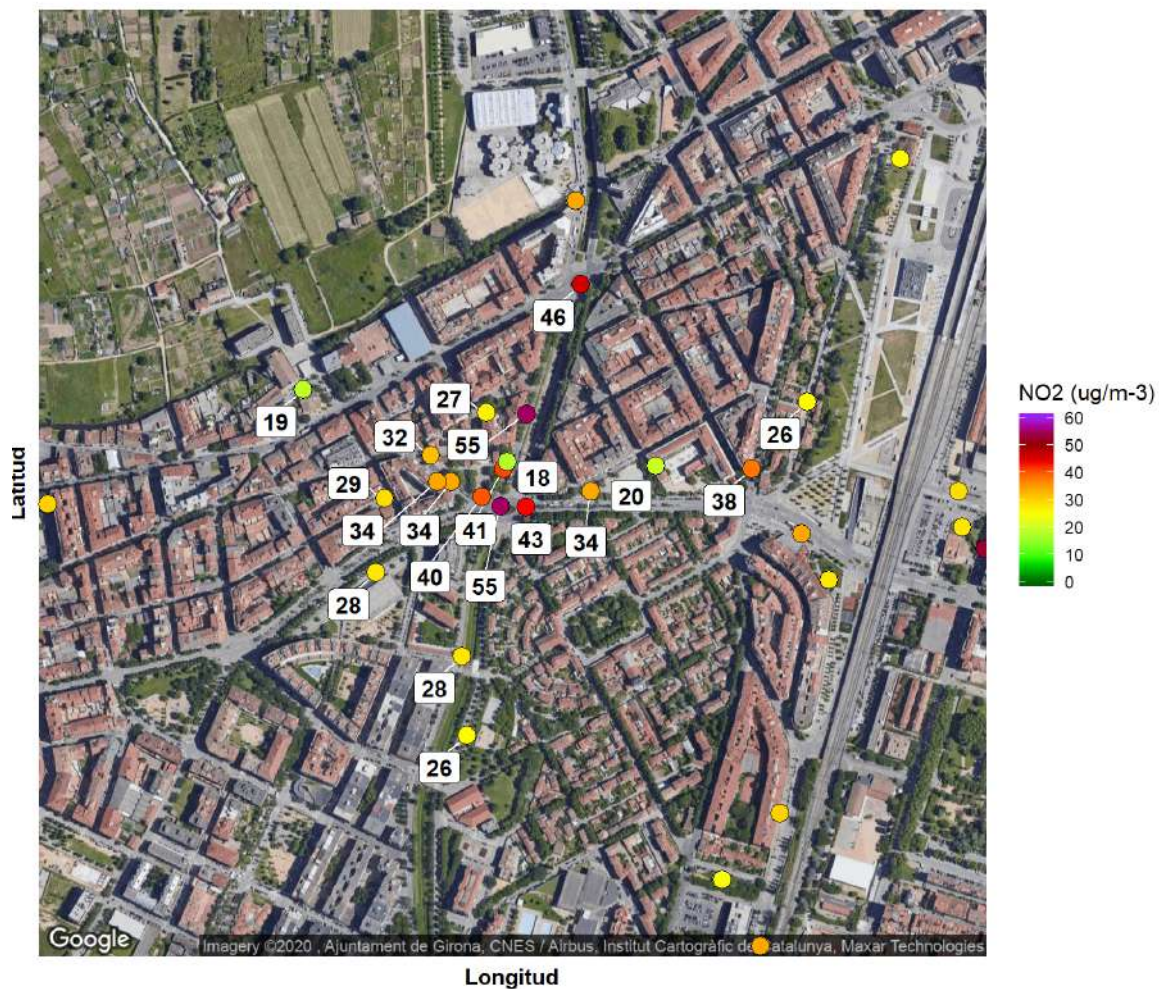


Figura 47: Mapa de las concentraciones de NO₂ en la Escola Sta. Eugènia.

El cuadro 23 contiene las concentraciones de NO₂ obtenidas dentro y alrededor de la escuela.

Cuadro 23: Niveles de NO2 dentro y alrededor de la Escola Sta. Eugènia

Punto	Tipo	NO2	Índice	Descripción
STE-05	UT	55.3	Molt pobra	rotonda xino
STE-03	UT	54.6	Pobra	Marzen restaurant
STE-14	UT	46.4	Pobra	rotonda Maristes
STE-04	UT	42.9	Pobra	farmàcia pont Dimoni
STE-02	UT	40.7	Pobra	pàrquing escola
STE-13	UT	40.2	Pobra	pati gran escola
STE-19	UT	38.2	Regular	av. Sant Narcís 47
STE-17	UT	34.5	Regular	passeig d'Olot altura escola FEDAC
STE-08	UT	34.2	Regular	carrer mare Déu salut
STE-01	UT	34.0	Regular	pati escola porta
STE-09	UT	31.5	Regular	plaça petita escola
STE-07	UB	29.3	Bona	locutori
STE-06	UB	28.5	Bona	pavelló santa Eugènia
STE-16	UT	27.5	Bona	pont nou Sant Narcís
STE-11	UT	27.2	Bona	parc darrera Marzen
STE-20	UB	26.4	Bona	c/Bisbe Sivilla 3
STE-15	UB	25.9	Bona	parc Sant Narcís
STE-18	UB	20.5	Bona	c/Ramón Muntaner n11
STE-10	UT	18.9	Molt bona	Biblioteca
STE-12	I	17.6	Molt bona	aula 3r

5.5.9. Resultados: Escola Vedruna

Las campañas realizadas indica niveles que oscilan entre 17.6 y 55.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (figuras 48 y 49) alrededor del centro. Los niveles de NO_2 en el interior del aula son de 27.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La variación de las concentraciones de NO_2 alrededor del centro es de 38.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ entre el punto de tráfico y la calidad de aire en el interior del aula.

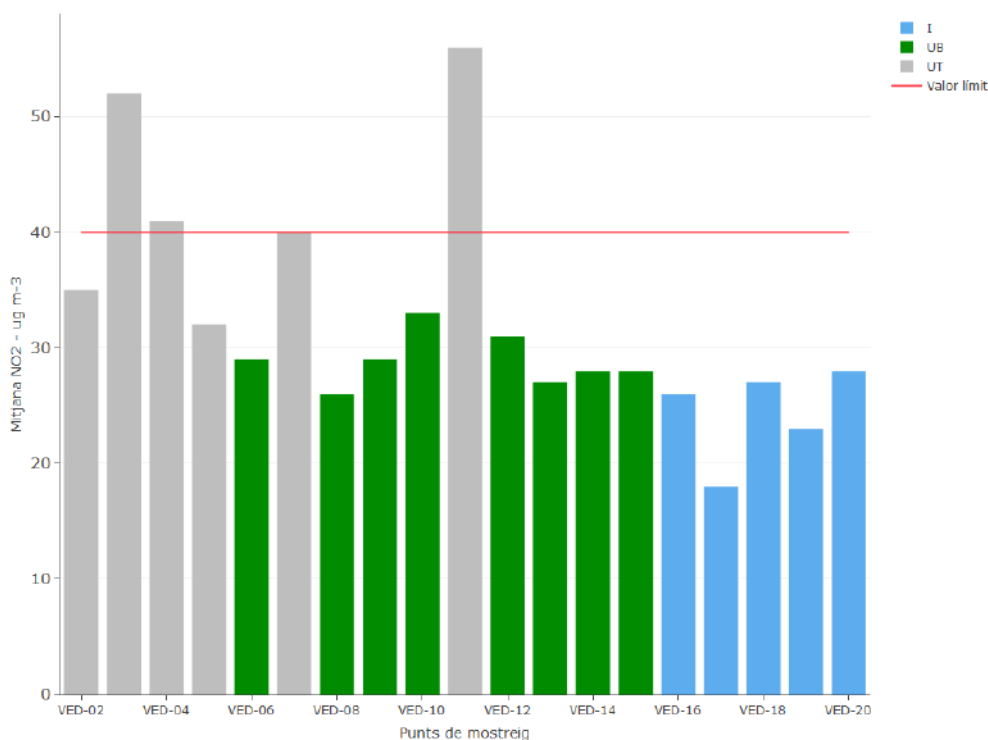


Figura 48: Gráfica de barras de las concentraciones de NO_2 en la Escola Vedruna.

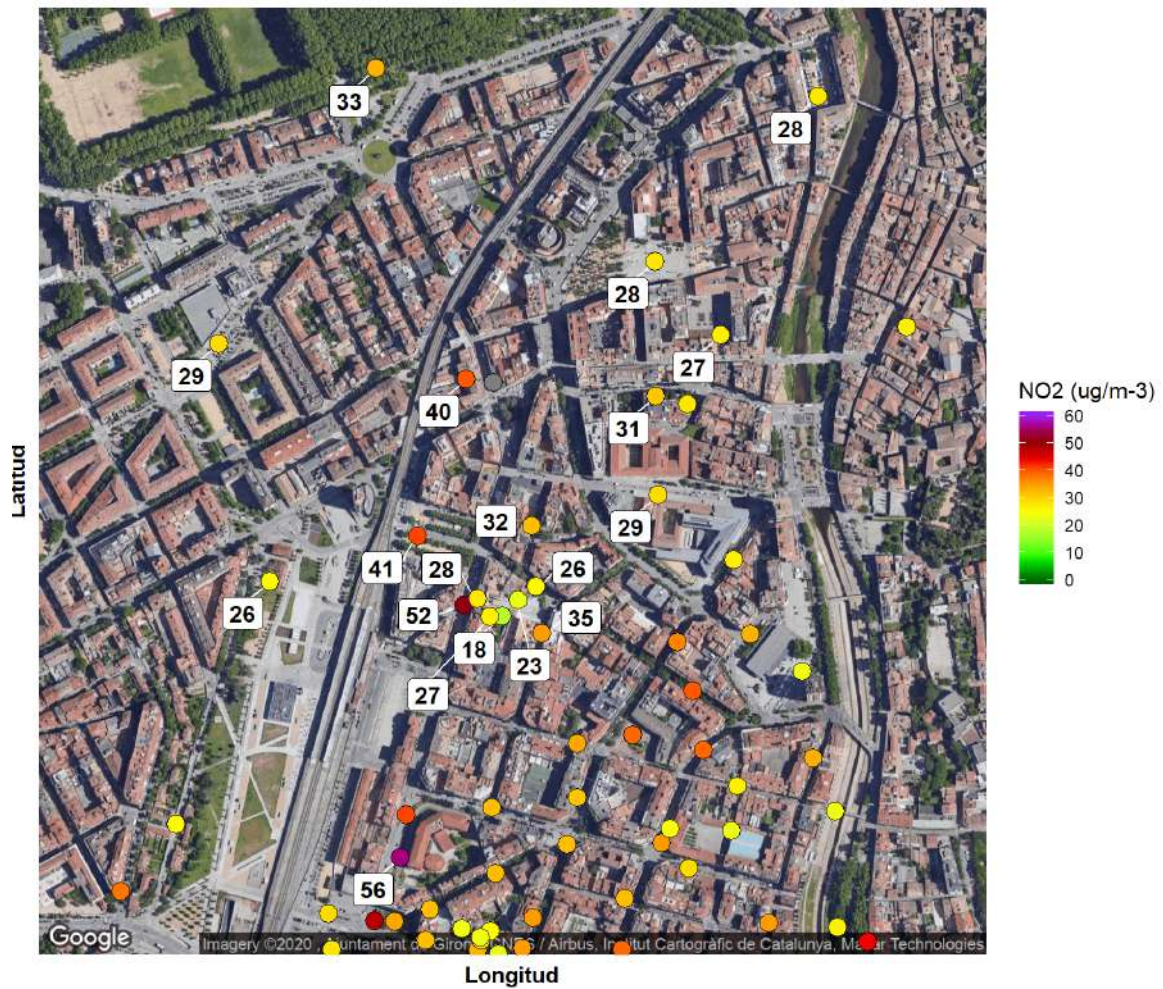


Figura 49: Mapa de las concentraciones de NO_2 en la Escola Vedruna.

El cuadro 24 contiene las concentraciones de NO_2 obtenidas dentro y alrededor de la escuela.

Cuadro 24: Niveles de NO2 dentro y alrededor de la Escola Vedruna

Punto	Tipo	NO2	Índice	Descripción
VED-11	UT	55.7	Molt pobra	Carretera Barcelona, 30
VED-03	UT	52.5	Pobra	Carretera Barcelona, 21
VED-04	UT	41.3	Pobra	Plaça Poeta Marquina
VED-07	UT	39.6	Regular	Avda. Sta Eugènia, 22 (Can Rigau)
VED-02	UT	34.7	Regular	Porta Vedruna, Carrer Juli Garreta
VED-10	UB	33.3	Regular	Plaça Sardana (Devesa-Davant Gesemé)
VED-05	UT	31.6	Regular	C/ Ferran Agulló, 9
VED-12	UB	30.6	Regular	Carrer Nou, 16
VED-09	UB	29.0	Bona	Pl Miquel de Palol (Cantonada C/ Riu Guell)
VED-06	UB	28.9	Bona	Plaça Hospital, 6 (Davant Casa Cultura)
VED-15	UB	28.3	Bona	Plaça Independència
VED-20	I	27.9	Bona	Classe 5e
VED-14	UB	27.5	Bona	Plaça 1 d'Octubre (tocant Jaume I)
VED-13	UB	27.4	Bona	Plaça Josep Pla
VED-18	I	26.7	Bona	Classe 2A primaria
VED-08	UB	26.2	Bona	Parc Central
VED-16	I	25.8	Bona	Escola Vedruna Cantonada Escola 1ESO
VED-19	I	23.1	Bona	Sala Profes ESO
VED-17	I	17.6	Molt bona	Classe 4t B Primaria

6 Conclusiones y recomendaciones

El proyecto de ciencia ciudadana “Cleanair@School” coordinado por la Agencia Europea del Medio Ambiente y financiado por el Ministerio para la Transición Ecológica ha ayudado a mejorar el conocimiento de los alumnos sobre la contaminación del aire y sus efectos para la salud. Esto ha sido posible gracias a la realización de campañas de medida de NO₂ mediante captadores pasivos. Lo cual ha permitido dibujar la distribución espacial de las concentraciones de NO₂ alrededor de 9 centros educativos de Girona.

El proyecto gestionado por 4sfera Innova, se ha ejecutado con la ayuda del Ministerio para la Transición Ecológica, el Ayuntamiento de Girona y 9 centros educativos de la ciudad. Los captadores pasivos utilizados son un método indicativo y por lo tanto los datos obtenidos son indicativos y en ningún caso se pueden utilizar para cumplimiento normativo.

6.1 Calidad del aire

El muestreo de la calidad del aire se llevó a cabo en 195 puntos de medida. Los diferentes puntos de muestreo del estudio incluyen 50 puntos de fondo (parques y patios escolares) y 129 puntos de tráfico en vías internas y vías que atraviesan la ciudad. Además, se ha medido a 16 puntos en el interior de aulas de los centros educativos estudiados. Esta variedad de puntos ha ayudado a mejorar el conocimiento sobre la calidad del aire en la ciudad de Girona.

Los resultados obtenidos indican que las concentraciones de NO₂ en la ciudad de Girona oscilan entre 10.8 y 61 ug/m³, con una media de 29 ug/m³.

Concretamente, el fondo urbano de la ciudad varía entre 13.1 ug/m³ y 38.7 ug/m³, con una media de 24 ug/m³. Por lo tanto todos los puntos de fondo son inferiores al valor límite de 40 ug/m³. Estos niveles tienden a ser representativos de zonas más amplias donde está expuesta más población que no los puntos de tráfico. Los niveles de fondo están en concordancia con los niveles de fondo de otras ciudades cercanas a Girona.

Las concentraciones más altas de NO₂ se han registrado en los puntos de más tráfico, como era de esperar. En particular, las concentraciones en las zonas de tránsito oscilan

entre 14.6 ug/m^3 y 61 ug/m^3 , con una media de 32. Sólo 22 puntos de 129 presentan concentraciones superiores a 40 ug/m^3 . Los puntos con niveles más altos se deben a la elevada cantidad de vehículos motorizados que circulan y la poca dispersión de los contaminantes debido a la orografía urbana.

Sin embargo, el impacto en los niveles de calidad del aire en los interiores de las aulas es menor. *Los niveles de NO_2 en el interior* del aula de todas las escuelas estudiadas oscilan entre 10.8 ug/m^3 y 29.9 ug/m^3 , con una media de 20 ug/m^3 .

El proyecto de ciencia ciudadana colaborando con escuelas de la ciudad de Girona ha aportado información más detallada de la calidad del aire y de las diferentes contribuciones de contaminación. Además, ayuda a entender mejor las posibles problemáticas que afectan a la movilidad de la ciudad y la contaminación atmosférica alrededor de los centros educativos de la ciudad. La mejora de la calidad del aire en zonas urbanas es un tema complejo ya que estas concentran una gran cantidad de actividades que afectan a la movilidad.

6.2 Ciencia ciudadana en las escuelas

El proyecto de ciencia ciudadana en las escuelas ha incluido 9 centros educativos de la ciudad. En total más de **300** alumnos han participado en el seguimiento de la calidad del aire. Este proyecto está ayudando a recolectar datos de calidad del aire mejorando el conocimiento de la materia e involucrando la comunidad educativa (profesorado, padres y alumnos). Además, esta participación hace que la comunidad educativa mejore la calidad del aire en sus alrededores.

Referencias

- Carslaw, D y K Ropkins (2012). openair - an R package for air quality data analysis. *Environmental Modelling and Software* 27-28, 52-61.
- DEFRA (s.f.). *Department for the Environment, Food and Rural Affairs*. <http://www.nerc.ac.uk/>.
- EuropeanCommission (2017). *Attitudes of European citizens towards the environment*.
- EuropeanEnvironmentAgency (2018). Exceedance of air quality standards in urban areas (CSI 004). *EEA Report*, <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/exceedance-of-air-quality-limit-3/assessment-4>.
- GBD 2016 Risk Factors Collaborators, 2 (2017). Global, regional, and national comparative risk assessment of 84 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks, 1990–2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. *The Lancet* 390(10100), 1345-1422.
- GeneralitatDeCatalunya (2018). *La qualitat de l'aire a Catalunya – Anuari 2017*. (Visitado).
- HEI (2018). State of global air 2018, Special Report. *Health Effects Institute, Boston, MA*.
- Lim S. S., ea (2012). A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990-2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *The Lancet* 380(9859), 2224-2260.
- NERC (s.f.). *Natural Environment Research Council*. <http://www.nerc.ac.uk/>.
- Targa (2001). *Urban air quality monitoring in Girona by passive diffusion sampling*. Inf. téc. School of Biological, Molecular Sciences y School of Planning. Oxford Brookes University.
- WHO (2005). Effects of air pollution on children's health and development — a review of the evidence, *World Health Organization, Regional Office for Europe, Copenhagen*.
- WHO (2013). Review of evidence on health aspects of air pollution — REVIHAAP Project, Technical Report. *World Health Organization, Regional Office for Europe, Copenhagen*.
- WHO (2014). Burden of disease from ambient air pollution for 2012 — summary of results, World Health Organization. *World Health Organization*.

WHO (2016). Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease. *World Health Organization*.