

**PROYECTO ECOBIDE**

**Evaluación de la descontaminación de los NO<sub>x</sub> en Montebideo etorbidea**

**Informe técnico final**

Marzo de 2.012

## ÍNDICE

1. CONCEPTOS PREVIOS .....	1
2. ANTECEDENTES .....	4
3. OBJETIVOS .....	6
4. METODOLOGÍA .....	7
➤ Descripción de Montebideo etorbidea .....	7
➤ Campañas de control .....	8
5. DIAGRAMA DE GANTT REAL .....	11
6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	12
➤ Comparativa entre niveles de antes y después del asfaltado .....	12
➤ Comparativa de muestreos simultáneos .....	18
7. CONCLUSIONES .....	19

## ANEXOS

ANEXO I. EJECUCIÓN DE LA OBRA

ANEXO II. RESULTADOS DIARIOS VÁLIDOS

ANEXO III. CASOS PARTICULARES ESTUDIADOS

ANEXO IV. MUESTREO DEL NO<sub>2</sub>

ANEXO V. CONTROL SOBRE EL MATERIAL PARTICULADO

ANEXO VI. ENSAYO DE VERIFICACIÓN

ANEXO VII. ESTUDIO DE LAS VARIACIONES EN LOS NIVELES DE NO<sub>x</sub>

## 1. CONCEPTOS PREVIOS

La actual sensibilidad social hacia el medio ambiente hace que la calidad del aire sea un aspecto fundamental a la hora de valorar la calidad de vida y la salud de las personas. Es responsabilidad de las administraciones mantener una atmósfera con niveles de contaminación admisibles, para lo cual existe una legislación que determina las formas de controlarla y actuar en caso de identificarse situaciones sensibles. No obstante, la legislación actual no especifica las medidas y actuaciones pertinentes en cada caso, por lo que a partir de una serie de propuestas y guías, las mejoras deben desarrollarse e impulsarse a diferentes niveles (políticas, normativas, planes, etc.).

Las principales actuaciones dirigidas hacia la disminución de las emisiones de tráfico se orientan en dos direcciones. Por un lado la disminución de emisiones mediante desarrollos tecnológicos exigidos a los productores de vehículos mediante las normas Euro y en segundo lugar, las modificaciones en la movilidad urbana. No obstante, la aparición de materiales con un potencial de descontaminación como el Noxer abre un nuevo campo de actuación, la cual resulta de especial interés para aquellas zonas en las que las medidas tradicionales no pueden ser aplicadas, tal y como sucede en el caso que nos ocupa.

A pesar de tratarse de una actuación desarrollada en otras ciudades Europeas, nunca antes se había medido la eficacia de la misma con tanto rigor como en el caso planteado en Durango. Por ello, el proyecto se considera una experiencia piloto, de forma que los resultados aportados por el estudio permitirán realizar un aprendizaje que determinará la viabilidad que pueda tener en otras zonas de interés.

El tráfico supone la principal fuente de contaminación en los núcleos urbanos, pudiendo provocar situaciones sensibles en aquellos lugares donde se concentra la ciudadanía. Estudios recientes desvelan como la contaminación en cierto lugar es proporcional a la densidad de tráfico, de forma que las grandes urbes son las principales afectadas, si bien bajo situaciones particulares pueden producirse episodios de contaminación en núcleos de menor población.

Además de la mayor densidad de tráfico, un factor importante para entender el aumento de la contaminación es la dieselización del parque vehicular. El cambio tecnológico en los motores ha supuesto un ahorro económico a cambio de incrementar las emisiones contaminantes, especialmente de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y material particulado ultrafino (PM<sub>1</sub>).



**Figura 1. Retención de tráfico habitual en Landako.**

El intensivo y sistemático programa de medidas adoptadas en el proyecto se orienta, de forma preferencial, hacia los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), prestándose atención a las siguientes dos claves:

- Contaminación emitida por el tráfico.
- Transformación de óxidos de nitrógeno gaseosos en nitratos bajo condiciones meteorológicas variables.

### **Óxidos de nitrógeno**

Se aplica el término óxidos de nitrógeno ( $\text{N}_x\text{O}_y$ ) a varios compuestos químicos binarios gaseosos formados por la combinación de oxígeno y nitrógeno. De los ocho óxidos que puede formar el nitrógeno, sólo tres aparecen en la atmósfera, ya que el resto son inestables: monóxido de dinitrógeno ( $\text{N}_2\text{O}$ ), monóxido de nitrógeno ( $\text{NO}$ ) y dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ), los tres en estado gaseoso.



**Figura 2. Central térmica de ciclo combinado de Boroa.**

El  $\text{N}_2\text{O}$  es incoloro, no tóxico ni inflamable y procede fundamentalmente de fuentes naturales y actividades agrícolas; la principal es la desnitrificación microbiana del nitrógeno de origen proteico.

Por su parte, monóxido de nitrógeno y el dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) constituyen dos de los óxidos atmosféricos más importantes toxicológicamente, por lo que se emplean como indicadores de la calidad del aire. El monóxido de nitrógeno es un gas a temperatura ambiente de olor dulce penetrante, fácilmente oxidable a dióxido de nitrógeno, mientras que el dióxido de nitrógeno tiene un fuerte olor desagradable. El dióxido de nitrógeno es un líquido a temperatura ambiente, pero se transforma en un gas pardo-rojizo a temperaturas superiores a los 21 °C.

La principal fuente de  $\text{NO}_x$  en zona urbana es el tráfico, es decir, la suma de los escapes de vehículos motorizados (sobre todo diesel y de mezcla pobre), aunque también son liberados por la combustión del carbón, petróleo o gas natural y durante procesos tales como la soldadura por arco, galvanoplastia, grabado de metales y detonación de dinamita.

Una vez liberados al aire, los  $\text{NO}_x$  pueden transformarse a contaminantes secundarios como resultado de una serie de reacciones fotoquímicas. Se trata de reacciones complejas producidas en la atmósfera donde intervienen radicales  $\text{OH}^-$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{NO}_x$  y otros, provocando el smog fotoquímico o boina de contaminación típica de zonas con gran concentración de vehículos a motor.

## Nitratos

Los nitratos son sales del ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) en los que está presente el anión  $\text{NO}_3^-$  y son una parte esencial de los abonos utilizados en la agricultura y la jardinería. La sal de nitrato natural más abundante es el nitrato de calcio  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , el cual, junto con el nitrato de sodio,  $\text{NaNO}_3$ , subproducto en la síntesis del ácido nítrico, son la base para la producción industrial de otros nitratos como el nitrato de potasio ( $\text{KNO}_3$ ), utilizado en la pólvora negra, además de como fertilizante. Existen 2 vías naturales en la formación de nitratos:

- Mediante la descomposición bacteriana de compuestos nitrogenados como proteínas, urea, etc. se forma amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) o amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), los cuales en presencia de oxígeno son transformados en ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) por microorganismos de tipo nitrobacter. Finalmente, los ácidos son atacados por cualquier base del medio (generalmente carbonatos), formando el nitrato correspondiente (generalmente nitrato de calcio:  $\text{CaCO}_3 + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ).
- La segunda vía se produce en la atmósfera a través de la acidificación de los óxidos de nitrógeno en contacto con el agua de lluvia. Este  $\text{HNO}_3$  precipita con la lluvia y ataca los carbonatos u otros minerales básicos de los suelos, formando las sales correspondientes:  $\text{NO}_x + \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow \text{HNO}_3$

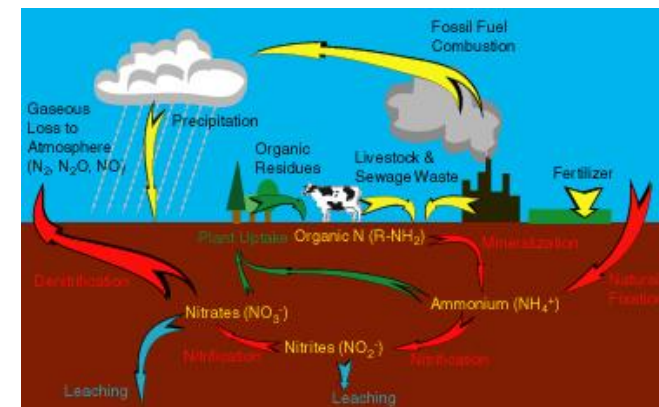


Figura 3. Ciclo del nitrógeno.

En presencia del asfalto Noxer, la formación de nitratos resulta una vía alternativa donde el  $\text{TiO}_2$  actúa como fotocatalizador de los óxidos de nitrógeno, de forma que los nitratos quedan adheridos a la superficie hasta su eliminación. La acidificación no se produce en la atmósfera, sino que los nitratos se acidifican al ponerse en contacto con el agua, bien de lluvia o la utilizada en la limpieza de la calle mediante el baldeo de agua, por lo que el destino final será el alcantarillado y finalmente el río.

Ha sido necesario combinar el trabajo de campo con el de gabinete, de forma que la respuesta a las demandas planteadas por el Ayuntamiento resulta plenamente satisfactoria. La interpretación de los resultados de los diferentes controles permite plantear conclusiones de ámbito general y local. En efecto, el informe presenta resultados y conclusiones que permiten visualizar la mejora en los niveles de calidad del aire a consecuencia la actuación de mejora llevada a cabo. Al estudio propiamente dicho, deben añadirse los planes de comunicación diseñados de forma específica. En efecto, se atienden las necesidades planteadas desde el Ayuntamiento.

Por último, indicar que a la validez, nivel de detalle y rigor de las aportaciones propias del diagnóstico, deben añadirse las oportunidades que se derivan de un estudio de esta naturaleza, ya que además de poder utilizarse como referencia local, permiten diseñar planes específicos de acción que tengan en todo momento en cuenta sus afecciones sobre la calidad de vida de las personas.

## 2. ANTECEDENTES

La sensible situación registrada en la calidad del aire de Durango durante los años 2005 y 2006, unido a la sensibilidad ciudadana existente, llevó al Ayuntamiento a planificar y desarrollar un plan de acción municipal con el objetivo de mejorar la situación a través de actuaciones sobre las principales fuentes de contaminación. A lo largo de los últimos años, el Plan de Acción de Durango ha sido ejecutado con éxito, si bien aún quedan aspectos por desarrollar y en los que mejorar.

Para entender la decisión de realizar el proyecto Ecobide como actuación de mejora en el núcleo urbano de Durango, debe atenderse a las conclusiones alcanzadas en los últimos estudios sobre la calidad del aire del municipio. Tanto en los estudios desarrollados por el Gobierno Vasco, como en el estudio avanzado realizado por Azterlan, el tráfico se identifica como una de las principales fuentes contaminantes del municipio junto con el sector industrial.

Asimismo, los registros históricos de la estación de San Roque presentan una tendencia de los indicadores de tráfico en aumento. La figura 1 presenta los niveles medios anuales de dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) en Durango, Amorebieta-Etxano y Bilbao, contaminante gaseoso emitido por el tráfico y con límites legales establecidos (RD 102/2011). El aumento observado hasta el año 2007 se relaciona con el crecimiento del parque vehicular y la dieselización de motores. En cambio, la disminución de los últimos años se justifica por la coyuntura económica generalizada y la menor actividad en la zona, si bien los niveles máximos alcanzados podrían superarse una vez normalizada la situación.

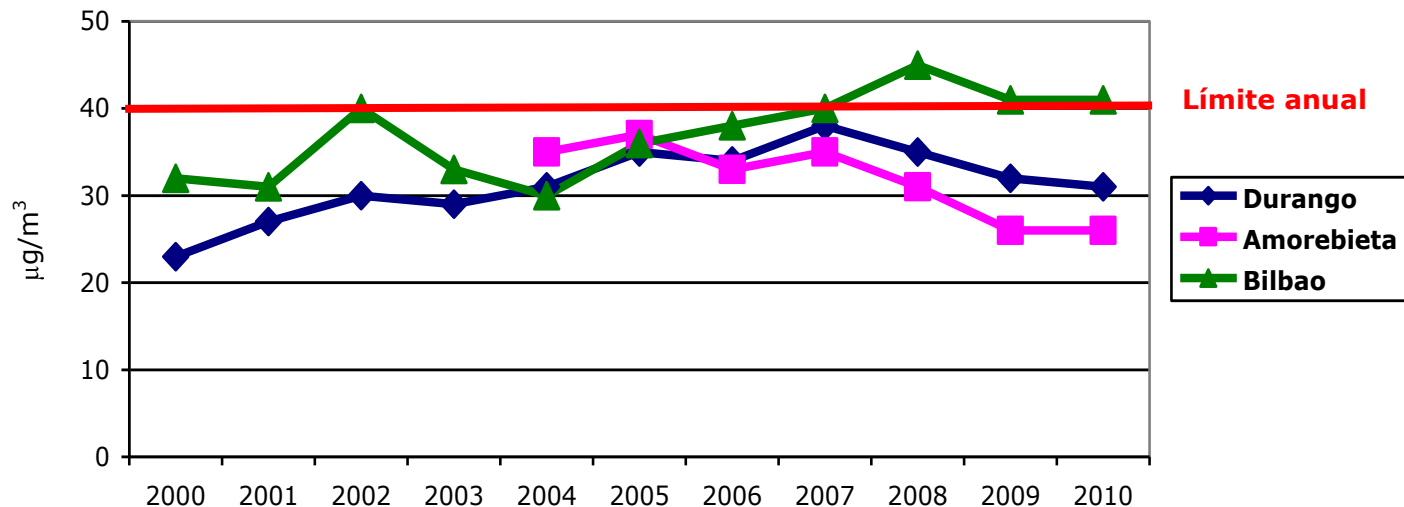


Figura 4. Niveles medios anuales de  $\text{NO}_2$ .



Considerando la aplicación de medidas exitosas para disminuir la incidencia provocada por el sector industrial en la atmósfera local, a través del presente proyecto, el Ayuntamiento fija el campo de actuación sobre la principal fuente contaminante actual en el núcleo urbano de Durango, el tráfico. Con el mismo objetivo de mejora, pero al margen de este proyecto, también se actúa sobre aspectos relacionados con la movilidad, para lo cual, se ha desarrollado un plan de movilidad sostenible orientado a disminuir su impacto ambiental y aumentar la calidad de vida de las personas.

Durante el estudio sobre las intensidades de tráfico realizado en 2009, Montebideo etorbidea presentó una Intensidad Media Diaria (IMD) de 5.882 vehículos, resultado que puso de manifiesto la situación desfavorable de la zona debido a las emisiones contaminantes y el ruido, lo cual provocó que desde la Oficina Técnica Municipal, Montebideo etorbidea se identificara como zona de calidad del aire sensible.

La alta intensidad de tráfico en una zona urbana de mucha actividad ciudadana, unido a la imposibilidad de aplicar medidas dirigidas hacia la movilidad, fueron los motivos por los que el Ayuntamiento de Durango decidió impulsar una actuación tecnológica de mejora de la calidad del aire. En este punto y con el asesoramiento de Azterlan, la aplicación de un asfalto ecológico, con capacidad para descontaminar la atmósfera de los óxidos de nitrógeno, se identificó como la mejor opción debido a las condiciones que presentaba el viejo pavimento.

### **Asfalto Noxer**

El Noxer es un producto bituminoso con óxido de titanio (TiO<sub>2</sub>), agente fotocatalítico que favorece la transformación de los óxidos gaseosos de nitrógeno en nitratos, de forma que minimiza la permanencia de estos contaminantes en la atmósfera. Estudios previos de viabilidad determinan su mayor eficacia en función de la proximidad a la fuente emisora, por lo que suele aplicarse en el asfalto de carreteras con el objetivo de estabilizar las emisiones de los tubos de escape. Los nitratos depositados en la carretera son lavados bien por la lluvia o pueden ser eliminados mediante el baldeo de agua.

Fotólisis del agua:  $H_2O + luz \rightarrow H^+ + OH^-$

En la atmósfera la presencia de agua y luz hacen que:  $H_2O + O_2 \rightarrow H^+ + O_2^- + OH^-$

Y el TiO<sub>2</sub> facilita las siguientes reacciones, obteniéndose como producto final los nitratos:

**$NO_2 + OH^- \rightarrow H^+ + NO_3^-$**

**$NO + O_2^- \rightarrow NO_3^-$**

En las experiencias previas al de Durango donde se ha desarrollado esta actuación (Londres, Paris y Madrid, entre otros), los controles realizados a pie de calle se han limitado a mediciones una vez aplicado el asfalto ecológico, lo cual no ha permitido realizar ningún tipo de análisis comparativo para determinar la validez de la actuación. Aunque los resultados obtenidos en laboratorio garantizan una descontaminación de los óxidos de nitrógeno de hasta el 90%, los factores ambientales como la meteorología o la situación urbanística en cada caso condicionan su eficacia, por lo que resulta indispensable realizar controles de la calidad del aire para determinar su efecto de mejora real.



**Figura 5. Aplicación del Noxer en Madrid, Paris y Dinan.**



### 3. OBJETIVOS

Si bien el contenido técnico y alcance de la propuesta se circunscriben al municipio de Durango, lo cierto es que se trata de una iniciativa modelo, pendiente de una evaluación en profundidad y cuyos resultados pueden extrapolarse a cualquier localidad. Partiendo de que se trata de un proyecto técnico, se ha considerado necesario no dejar de lado los aspectos sociales y por ello, se impulsará la divulgación del estudio entre la ciudadanía.

El principal objetivo del proyecto es mejorar la calidad del aire urbano actuando sobre contaminantes emitidos por el tráfico, fuente de primer orden en el municipio y con amplio margen de mejora. A través del proyecto se quiere apoyar a la administración local en el desarrollo de actuaciones en materia de contaminación atmosférica y abrir así una nueva línea de actuación, la limpieza de contaminantes atmosféricos en origen.

Se trata de una iniciativa pionera y los controles realizados permiten profundizar en el conocimiento de una actuación novedosa, de forma que se evalúan la eficacia del Noxer y la mejora en los niveles de calidad del aire a través de los siguientes objetivos particulares:

- Definir el estado de partida en lo que a concentración de  $\text{NO}_x$  se refiere.
- Estudiar la reducción de las concentraciones de los  $\text{NO}_x$ .
- Evaluar la eficacia del Noxer en función de los niveles ambientales de  $\text{NO}_x$ .
- Controlar la reducción de los niveles de  $\text{NO}_x$  a diferentes alturas.
- Determinar la influencia de los aspectos meteorológicos.
- Correlacionar la efectividad del Noxer con el grado de radiación solar.
- Analizar los fenómenos de resuspensión de partículas.



Figura 6. Montebideo etorbidea.

## 4. METODOLOGÍA

En todo momento la operativa aplicada en las medidas en campo ha tenido en cuenta las particularidades del entorno. El alcance de las obras hace que el asfaltado de la calle se haya realizado por fases, de forma que la concreción en número de puntos de control e intensidad de campañas se definen en base a las características de las mismas.

### 4.1. Montebideo etorbidea

Con una longitud de 460m, Montebideo etorbidea soporta una importante actividad ciudadana y es una de las principales arterias del centro urbano del Durango. Entre otros, a lo largo de su trayecto se encuentran el conservatorio, una escuela y abundantes comercios, de forma que la calle se encuentra dividida por una carretera unidireccional con circulación en dirección hacia el Oeste.

Tal y como se observa en la Figura 7, la orientación que presenta la calle, de Oeste a Este, no es la mejor desde el punto de vista de entrada de radiación solar, situación que desfavorece el potencial de acción del Noxer, si bien se trata de una variable a considerar en el estudio junto con la variación en los niveles de contaminación.



Figura 7. Detalle de Montebideo etorbidea.

## 4.2. Campañas de control

En base a consideraciones puramente técnicas, en la puesta en marcha del estudio se ha considerado imprescindible tener en cuenta las condiciones en la configuración urbanística y la situación de la obra, ya que su ejecución se ha llevado a cabo por fases y la circulación del tráfico ha variado.

Se identifican 2 tipos de controles con metodologías diferenciadas para el alcance de los objetivos. Por un lado se han realizado mediciones en un mismo punto antes y después de la aplicación del Noxer. Con el objetivo de minimizar errores debido a factores ambientales como las precipitaciones y la dispersión vertical, el segundo tipo de controles ha consistido en muestrear  $\text{NO}_2$  simultáneamente en 2 puntos de la calle, de forma que solamente una de las zonas tenía aplicado el producto.

### Equipamiento

Se han puesto a disposición del estudio los equipamientos y las metodologías analíticas consideradas estado del arte, orientando las mediciones hacia los óxidos de nitrógeno, pero sin dejar de lado el principal contaminante de la zona, el material particulado. Los niveles de  $\text{NO}_x$  se controlan mediante 2 tipos de analizadores:

- **Captadores pasivos:** se trata de tubos llenos de un medio que hace la función de filtro quimioadsorbente. En este caso, se trata de un medio de trietanolamina (TEA), de manera que los  $\text{NO}_2$  son estabilizados en forma de nitritos. Las muestras se analizan en el laboratorio realizando una extracción del nitrito en medio acuoso mediante agitación, para después ser analizadas por cromatografía iónica. La concentración obtenida corresponde a la media del tiempo de muestreo.
- **Airpointer:** equipo de medida en tiempo real que permite conocer las variaciones en los niveles de concentración de  $\text{NO}$  y  $\text{NO}_2$ . A su vez, se obtienen los registros de monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) y compuestos orgánicos volátiles (COV), indicadores de tráfico útiles en la interpretación de resultados.

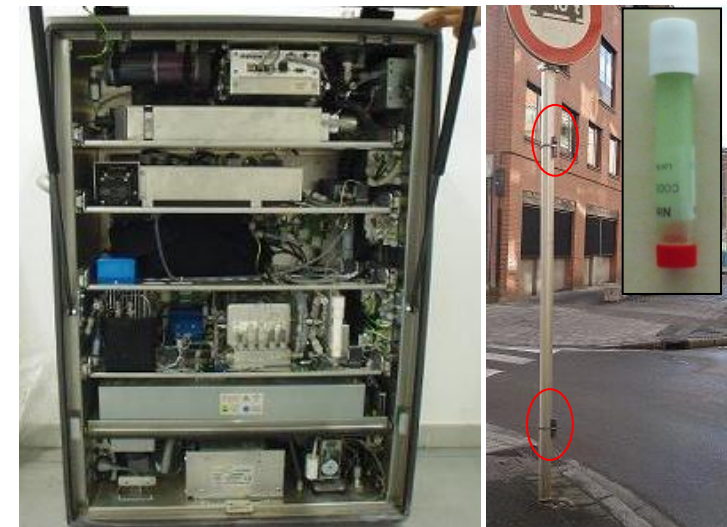


Figura 8. Interior del Airpointer y captadores pasivos.



Con el objetivo de relacionar los niveles de polución y el tráfico, se ha utilizado un aforador de vehículos instalado junto al medidor de gases. Del mismo modo, la medición en continuo de los niveles de material particulado refuerza el estudio y permite valorar la influencia de esta fuente.

- **Metrocount:** conteo del tráfico en tiempo real de forma que es posible conocer la velocidad y el tipo de vehículo (coche, camión, motocicleta, etc.).
- **Grimm<sub>365</sub>:** registro de los niveles de material particulado PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>1</sub> en tiempo real.

El conjunto de los equipos ha constituido la **unidad principal de control**, el cual se ha dispuesto en el interior de una jaula por temas de seguridad, mientras que el resto de puntos de control utilizados han sido equipados únicamente con captadores pasivos. Esta unidad principal de control se ha instalado al inicio de la zona de control, lugar estratégico para la cuantificación del tráfico.



Figura 9. Unidad principal de control.

### Comparativa entre niveles de NO<sub>x</sub> obtenidos antes y después del asfaltado

En la Figura 10 se presentan los puntos de control seleccionados, de forma que la unidad de control principal se ha instalado en el punto 1 y los datos aportados por el punto 2 han sido empleados para verificar resultados. Por su parte, los resultados aportados por el punto 3, instalado en la calle Pablo Pedro Astarloa, han sido utilizados para minimizar errores interpretativos a consecuencia de variables externas (lluvia, IMD, etc.).



Figura 10. Situación durante la campaña 1, previa a la actuación.

La comparativa de resultados obtenidos antes y después de la actuación permite alcanzar los objetivos de partida, si bien la situación durante los controles posteriores al asfaltado no han sido los esperados, ya que cambios de calendario en la ejecución de la obra no han permitido la misma configuración para la circulación del tráfico.

Cabe mencionar que este tipo de estudios resulta una nueva vía de trabajo a desarrollar. La falta de referencias sobre estudios orientados hacia la determinación de la eficacia del Noxer en ambiente, otorga al estudio un carácter innovador.

## **Comparativa de muestreos simultáneos**

Control alternativo surgido a consecuencia de una parada prolongada en la ejecución de la obra. Durante este período la avenida ha presentado ambos extremos con asfalto Noxer, si bien la zona intermedia no se ha modificada. Esta situación ha permitido desarrollar una comparativa simultánea entre la zona intermedia y la parte baja, garantizándose la misma intensidad de tráfico al no existir posibilidades de entradas y salidas de vehículos. Del mismo modo, la simultaneidad de las medidas garantiza las mismas condiciones meteorológicas, por lo que disminuye la posibilidad de obtener resultados no válidos a consecuencia de variables externas.



**Figura 11. Situación de los puntos de control.**

El corto trazado de la zona limita el número de puntos de control a dos. El punto 1 se ha instalado en la zona sin Noxer y cuenta con la unidad de control principal, mientras que el punto 2 ha sido equipado con captadores pasivos en la zona tratada. Los principales inconvenientes identificados para la metodología planteada son la cercanía entre puntos y el menor confinamiento de la zona sin Noxer, si bien se trata de variables que no han sido contemplados en otros estudios y a los que se intentará dar una respuesta.

Tal y como se muestra en la figura 8, los puntos de control disponen de 2 captadores pasivos, a 40cm y a 2m del suelo. La dispersión vertical existente produce la variación en las concentraciones de contaminantes respecto a la altura, de forma que los resultados aportados por los captadores colocados a menor altura facilitarían la determinación de la eficacia del Noxer, mientras que las segundas servirán para cuantificar la mejora en los niveles de calidad del aire, para lo cual se disponen a la altura a la que respiramos.

## **Planificación**

Como planteamiento inicial se determinaron 4 campañas de control para la comparativa de resultados obtenidos antes y después de la actuación. Considerando un período mínimo de muestreo de 2 semanas para los captadores pasivos, la campaña previa al asfaltado se ha realizado durante las semanas 47 y 48 de 2010, mientras que las campañas posteriores se han llevado a cabo en el período comprendido entre las semanas del 12 al 19, las semanas del 24 al 25 y las semanas 50, 51, 52 de 2011 y semana 1 de 2012. Al igual que en la campaña previa, durante las campañas posteriores a la actuación también se han obtenido muestras mediante captadores pasivos, de forma que los períodos de muestreo han sido quincenales ( $3 \text{ puntos} \times 2 \text{ muestras} = 6 \text{ muestras}$ ).

La campaña alternativa de control simultáneo se ha realizado durante 1 mes, obteniéndose 4 muestras de  $\text{NO}_2$  por punto de control ( $2 \text{ puntos} \times 2 \text{ muestras} = 4 \text{ muestras}$ ) en el período comprendido entre las semanas 8 y 11 de 2011.



**Figura 12. Desmontaje de la unidad principal.**

## 5. DIAGRAMA DE GANTT REAL

Tras los ajustes temporales que se han realizado a lo largo del estudio, se detallan las tareas y se presentan los tiempos reales empleados en cada una de ellas.

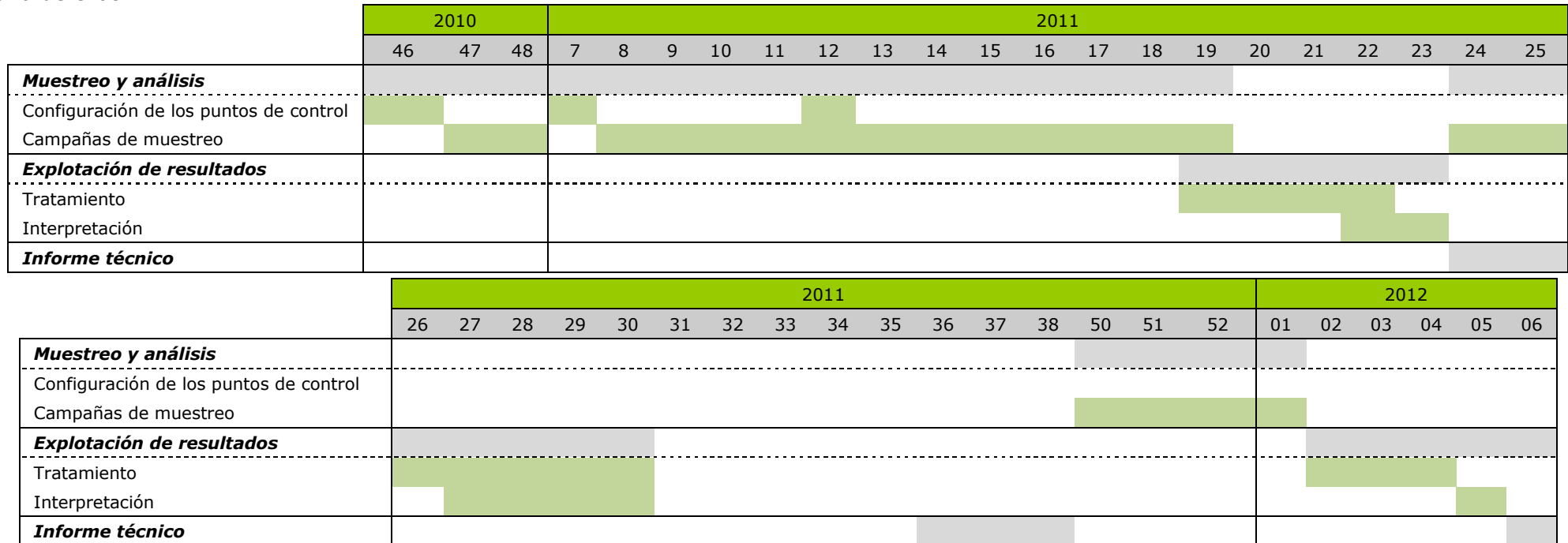


Tabla I. Alcance de las tareas realizadas.

La Tabla II recoge el conjunto global de muestreos y medidas realizadas y validadas. Los resultados detallados se presentan en los Anexos y en el siguiente punto se presenta una discusión de los mismos.

TAREAS ESPECÍFICAS	ALCANCE
Logística y preparación de los puntos de control	5 puntos de control
Medida en tiempo real de intensidades de tráfico	19 semanas de control por estación
Medida en tiempo real de PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> y PM <sub>1</sub>	19 semanas de control por estación
Medida en tiempo real de NO y NO <sub>2</sub>	19 semanas de control por estación
Muestreo de NO <sub>2</sub> mediante captadores pasivos	36 muestras

Tabla II. Tareas realizadas durante las campañas de control.

## 6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados aportados por los controles realizados permiten presentar la siguiente discusión sobre el análisis comparativo de los mismos. Es necesario destacar la cantidad y variedad de datos tratados, por ello la totalidad de los mismos se presenta en los Anexos adjuntos al informe. Siguiendo la estructura descrita en el apartado "Metodología", la discusión de resultados se presenta en dos partes:

### 6.1. Comparativa entre niveles de antes y después del asfaltado

A partir de los registros obtenidos por la unidad principal de control instalada en el punto 1 de Montebideo etorbidea, se realiza la interpretación de los resultados más relevantes y la comparativa con los registros de los otros puntos de control.

#### Medidas en tiempo real

La variabilidad de factores externos como precipitación, nivel de radiación y densidad de tráfico dificultan la interpretación y cuantificación del potencial de descontaminación real del Noxer. Con el fin de alcanzar los objetivos de partida, se ha decidido simplificar esta variabilidad, de forma que para la discusión de resultados se han utilizado datos obtenidos bajo condiciones sin precipitaciones, si bien se han tomado en consideración aquellos días con registros inferiores a 5 l/m<sup>2</sup> debido a la escasez de días sin lluvia durante la campaña 1.

La tabla III recoge los registros diarios de los principales factores influyentes en los niveles de contaminación y los indicadores gaseosos de tráfico motivo de estudio para el mismo período de control. No se presentan resultados del material particulado, ya que tal y como se muestra en el anexo V, las variaciones registradas dependen de factores externos a los mencionados, posiblemente otras fuentes de emisión relacionadas con la industria o las múltiples obras que hay en la zona.

Los cambios en la planificación para la ejecución de la obra no han permitido realizar un mayor período de control previo a la actuación, si bien la variedad de registros permite alcanzar los objetivos de partida. Los resultados de la tabla III corresponden a medias diarias, a excepción de la lluvia que se presenta como acumulada, la intensidad media diaria del tráfico (IMD) no detalla el tipo de vehículo y los días festivos se presentan en rojo.

	Fecha	Lluvia l/m <sup>2</sup>	Radiación W/m <sup>2</sup>	IMD	NO µg/m <sup>3</sup>	NO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup>
Antes de la actuación	23/11/2010	3,4	37	4819	78	37
	24/11/2010	1,3	58	4846	70	36
	26/11/2010	3,2	58	5035	72	38
	27/11/2010	2,5	49	4589	33	38
	28/11/2010	1,0	88	2883	31	34
	29/11/2010	0,0	87	5439	66	51
	30/11/2010	0,0	42	4991	53	45
	02/12/2010	1,3	50	5255	67	56
	<b>Promedio</b>	<b>1,6</b>	<b>59</b>	<b>4732</b>	<b>59</b>	<b>42</b>
Después de la actuación (Campaña 2)	25/03/2011	0,0	193	5676	24	37
	26/03/2011	0,0	161	5274	25	40
	01/04/2011	0,0	312	5749	43	44
	02/04/2011	0,0	182	4955	17	33
	03/04/2011	4,8	42	3179	11	26
	04/04/2011	0,0	128	n.d.	23	31
	25/04/2011	4,3	58	2743	7	17
	26/04/2011	0,0	80	4882	16	35
	28/04/2011	0,0	215	4851	17	37
	02/05/2011	2,4	278	5577	33	36
	03/05/2011	4,3	63	5556	31	52
	04/05/2011	0,0	257	5614	23	32
	05/05/2011	0,5	253	5535	26	44
	06/05/2011	0,1	149	5939	7	20
	07/05/2011	1,4	128	5238	8	17
	08/05/2011	0,0	294	3496	10	17
	09/05/2011	0,0	310	5781	20	30
	10/05/2011	0,0	311	5535	24	32
	11/05/2011	0,1	259	5483	25	35
	12/05/2011	0,0	91	5386	22	39
13/05/2011	0,6	280	6069	21	34	
14/05/2011	2,7	76	5234	17	28	
15/05/2011	0,5	138	3236	12	21	
<b>Promedio</b>	<b>0,9</b>	<b>185</b>	<b>5045</b>	<b>20</b>	<b>32</b>	

Tabla III-a. Detalle de resultados utilizados en la discusión.



A continuación se presenta la interpretación realizada sobre los datos de la tabla III para el alcance de los objetivos de partida. En primer lugar se ha tomado como referencia la reducción media registrada durante los días sin lluvia y por campaña, para continuar con el estudio de situaciones particulares. En este último caso se han considerado los días específicos que cumplen con las condiciones idóneas tanto de meteorología como de tráfico, de forma que las reducciones de contaminación para dichas condiciones se puedan extrapolar a situaciones de carácter general.

	Fecha	Lluvia l/m <sup>2</sup>	Radiación W/m <sup>2</sup>	IMD	NO μg/m <sup>3</sup>	NO <sub>2</sub> μg/m <sup>3</sup>
Después de la actuación (Campaña 3)	14/06/2011	0,0	340	5445	22	25
	15/06/2011	0,0	179	5385	20	26
	16/06/2011	1,0	113	5930	23	33
	17/06/2011	0,0	245	5878	22	26
	18/06/2011	0,1	238	4611	11	15
	19/06/2011	0,0	357	3462	7	13
	20/06/2011	0,0	348	5408	23	29
	21/06/2011	0,2	285	5278	89	20
	22/06/2011	0,5	60	5492	20	29
	23/06/2011	0,0	152	5346	20	24
	24/06/2011	0,0	345	5533	17	17
	25/06/2011	0,0	356	4161	8	16
	26/06/2011	0,0	334	3389	9	25
	27/06/2011	1,3	277	5187	11	32
	<b>Promedio</b>	<b>0,2</b>	<b>259</b>	<b>5036</b>	<b>16</b>	<b>24</b>

Tabla III-b. Detalle de resultados utilizados en la discusión.

	Fecha	Lluvia l/m <sup>2</sup>	Radiación W/m <sup>2</sup>	IMD	NO μg/m <sup>3</sup>	NO <sub>2</sub> μg/m <sup>3</sup>
Después de la actuación (Campaña 4)	13/12/2011	0,0	44	5648	23	15
	14/12/2011	1,2	42	5723	24	12
	15/12/2011	0,3	71	5797	21	13
	19/12/2011	2,1	35	8871	30	7
	20/12/2011	1,2	22	9511	28	9
	21/12/2011	0,8	18	7703	26	12
	22/12/2011	0,0	25	6490	33	11
	23/12/2011	0,1	68	8188	25	9
	24/12/2011	0,4	51	6459	23	8
	25/12/2011	0,0	93	3274	11	4
	26/12/2011	0,0	93	5629	18	4
	27/12/2011	0,0	94	5481	23	6
	28/12/2011	2,3	55	5994	30	6
	30/12/2011	0,2	31	4784	26	8
	31/12/2011	0,0	35	3458	21	10
	01/01/2012	0,0	76	2128	10	11
	02/01/2012	6,9	58	3198	26	10
	03/01/2012	0,0	96	3475	22	8
	04/01/2012	1,2	28	3346	29	10
	05/01/2012	1,4	71	3281	21	9
	06/01/2012	0,4	24	1559	15	11
	07/01/2012	0,0	47	1957	21	11
	08/01/2012	0,0	38	1220	17	11
	09/01/2012	0,0	29	2142	18	9
<b>Promedio</b>	<b>0,9</b>	<b>52</b>	<b>4805</b>	<b>22</b>	<b>9</b>	

Tabla III-c. Detalle de resultados utilizados en la discusión.

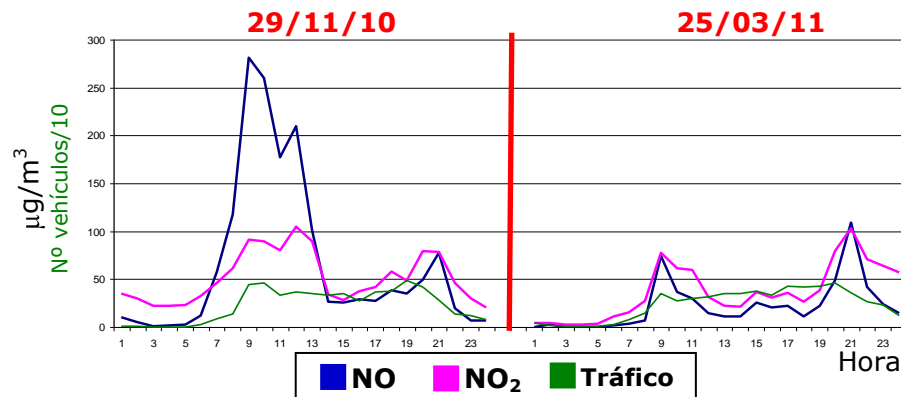
Para el cálculo del porcentaje de descontaminación de los NO<sub>x</sub> se toman como referencia los resultados obtenidos en la campaña previa a la actuación y se aplica la siguiente fórmula 1:

$$\frac{[\text{Pre}] - [\text{Post}]}{[\text{Pre}]} \times 100$$

**Fórmula I. Porcentaje descontaminado.**

Reducciones en los niveles de contaminación para la campaña 2 (Semanas 12-19 de 2011)

Los valores medios para este periodo de control presentan una descontaminación del 66% para el NO y del 23% para el NO<sub>2</sub>. La intensidad de tráfico presenta una ligera diferencia entre los registros "antes" (4732) y "después" (5045) de la actuación, y la radiación media diaria para el segundo período es de 185 W/m<sup>2</sup>.



**Figura 13. Variación de los niveles de NO<sub>x</sub> antes y después de la actuación.**

A modo de ejemplo, la figura 13 presenta las variaciones en las intensidades del tráfico y en los niveles de NO<sub>x</sub> de un día anterior y otro posterior a la actuación, de forma que los días seleccionados se consideraran comparables por las similares condiciones ambientales y de tráfico.

Entre las diferencias observadas una vez aplicado el Noxer, destaca la disminución en los niveles de NO bajo situaciones críticas. El porcentaje de descontaminación para este caso concreto es del 64% para el NO y del 28% para el NO<sub>2</sub>, resultado que se asemeja a la reducción media.

Asimismo, se han estudiado las variaciones observadas bajo diferentes condiciones de radiación y tráfico siguiendo la metodología comparativa descrita. La tabla IV presenta los porcentajes de descontaminación de casos particulares seleccionados entre los días de la tabla III-a y la totalidad de los casos estudiados se recoge en el anexo III.

Tal y como era de esperar, la tasa de descontaminación de los óxidos de nitrógeno aumenta con la mayor radiación, de forma que se observa un incremento en la descontaminación del NO<sub>2</sub> a medida que aumentan los índices de radiación.

Por otro lado, se tienen en cuenta los días festivos, períodos con descensos significativos en las intensidades de tráfico. En estos casos, el aumento en la descontaminación no se puede atribuir al efecto del Noxer, sino a una mayor dispersión debido a una menor emisión y por lo tanto, concentración, de contaminantes.

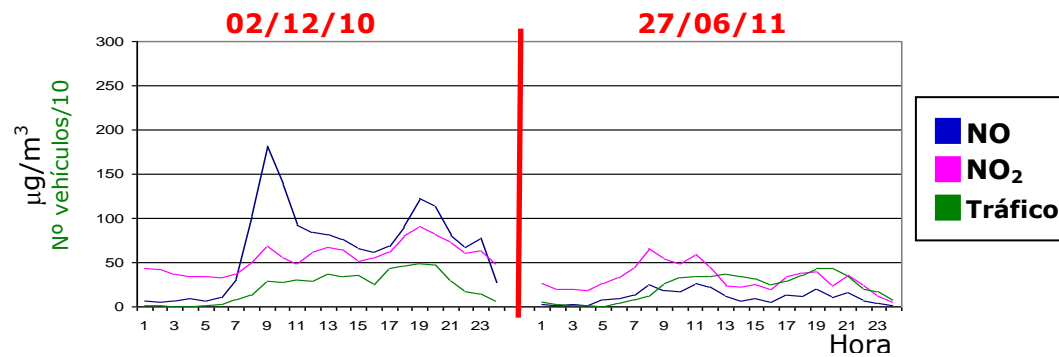
	Promedio 185 W/m <sup>2</sup>	Nublado <100 W/m <sup>2</sup>	Nubes y claros 100-250 W/m <sup>2</sup>	Despejado >250 W/m <sup>2</sup>	Festivo IMD=2800
<b>Antes</b>	-	30/11/10	29/11/10	29/11/10	28/11/10
<b>Después</b>	-	26/04/11	11/05/11	10/05/11	25/04/11
<b>NO</b>	66%	70%	62%	64%	77%
<b>NO<sub>2</sub></b>	23%	22%	32%	37%	50%
<b>NO<sub>x</sub></b>	44%	46%	47%	51%	64%

**Tabla IV. Porcentajes de descontaminación**

La metodología de trabajo no permite cuantificar el efecto de la dispersión, si bien es conocido su incremento debido a un aumento de temperatura o velocidad del viento, así como por una reducción en la concentración de contaminantes.

Reducciones en los niveles de contaminación para la campaña 3 (Semanas 24 y 25 de 2011)

Los valores medios para este periodo de control presentan una descontaminación del 72% para el NO y del 44% para el NO<sub>2</sub>. La intensidad de tráfico presenta una ligera diferencia entre los registros "antes" (4732) y "después" (5036) de la actuación, y la radiación media diaria para el segundo período es de 259 W/m<sup>2</sup>. Al igual que en la campaña anterior y a modo de ejemplo, el caso particular presentado en la figura 14 permite observar el cambio de comportamiento de los NO<sub>x</sub> una vez aplicado el Noxer.



El porcentaje de descontaminación para este caso concreto es del 83% para el NO y del 43% para el NO<sub>2</sub>. En general, los niveles de descontaminación son mayores que en la campaña 2, resultado esperado al tratarse del periodo de control con los mayores índices de radiación, lo cual demuestra la influencia positiva de este factor sobre la purificación del aire urbano.

**Figura 14. Variación de los niveles de NO<sub>x</sub> antes y después de la actuación.**

En la tabla V se presentan ejemplos de los porcentajes de descontaminación observados bajo diferentes condiciones de radiación siguiendo la metodología comparativa descrita con anterioridad. Tal y como era de esperar, la radiación resulta un factor determinante para la eficacia del Noxer, si bien las variaciones encontradas respecto a la campaña 2, bajo la misma situación de radiación, ponen de manifiesto la influencia de otros factores ambientales.

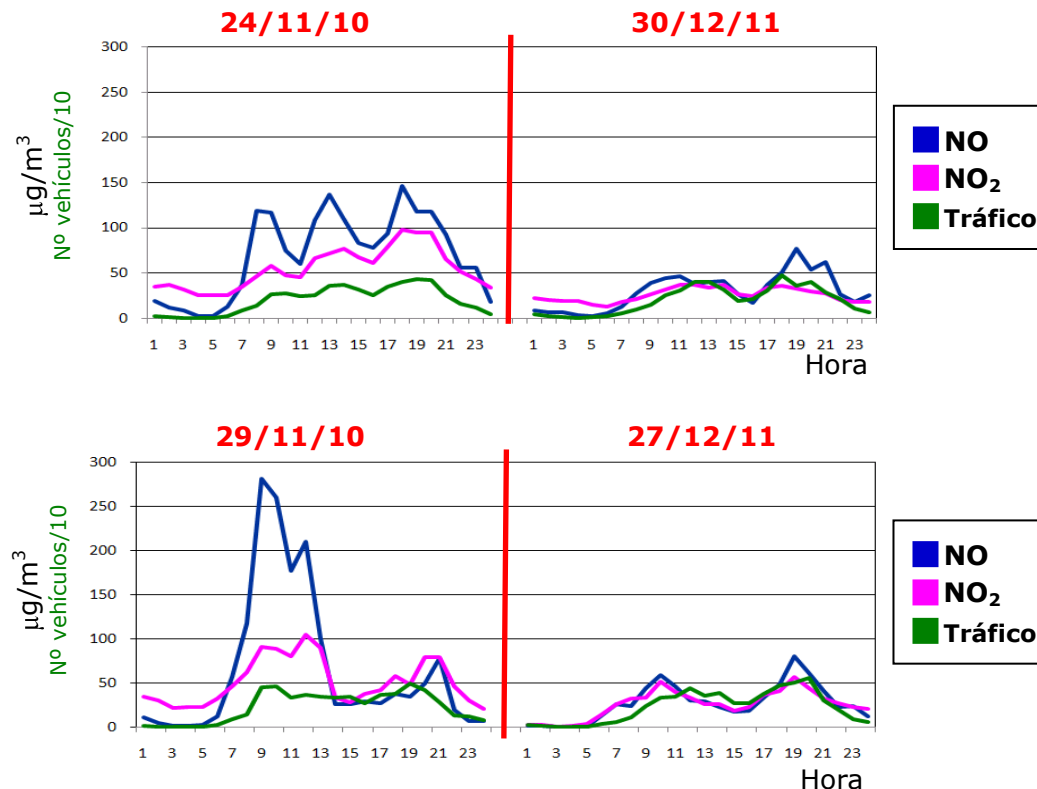
	Promedio 259 W/m <sup>2</sup>	Nublado <100 W/m <sup>2</sup>	Nubes y claros 100-250 W/m <sup>2</sup>	Despejado >250 W/m <sup>2</sup>
<b>Antes</b>	-	-	29/11/10	29/11/10
<b>Después</b>	-	-	15/06/11	14/06/11
<b>NO</b>	72%	-	70%	67%
<b>NO<sub>2</sub></b>	44%	-	50%	51%
<b>NO<sub>x</sub></b>	58%	-	60%	59%

**Tabla V. Porcentajes de descontaminación.**

La metodología aplicada no permite estudiar factores como la dispersión, el nivel de iones en la atmósfera, el transporte de NO<sub>2</sub> desde otras zonas cercanas, etc., cuya influencia se minimiza durante la última campaña de control al realizarse bajo las mismas condiciones meteorológicas que en la campaña previa a la aplicación del Noxer.

*Reducciones en los niveles de contaminación para la campaña 4 (Semanas 50, 51, 52 de 2011 y 1 de 2012)*

Los valores medios para este periodo de control presentan una descontaminación del 50% para el NO y del 46% para el NO<sub>2</sub>. La intensidad de tráfico es similar "antes" (4732) y "después" (4804) de la actuación, y la radiación media diaria para el segundo período es de 52 W/m<sup>2</sup>. Los casos particulares presentados en la figura 15 permiten observar el cambio de comportamiento de los NO<sub>x</sub> una vez aplicado el Noxer.



**Figura 15. Variación de los niveles de NO<sub>x</sub> antes y después de la actuación.**

Con el objetivo de estudiar las variaciones en los niveles de descontaminación del NO<sub>2</sub>, se han interpretado los registros obtenidos en la estación de San Roque, la cual está integrada en la Red de Control de la Calidad del Aire de Euskadi y es referencia para la comarca de Durangaldea. Al contrario de lo que sucede con el NO debido a su alta inestabilidad, el NO<sub>2</sub> puede ser transportado por las masas de aire e influir en zonas alejadas del punto de emisión. Considerando los mismos periodos de control, la estación de San Roque presenta una disminución significativa en los niveles de NO<sub>2</sub>, por tanto, es posible que parte de la reducción obtenida en Montebideo se deba a una disminución generalizada de la actividad y movilidad vehicular en la Comarca.

En el primer caso presentado a modo de ejemplo, los porcentajes de descontaminación son del 57% para el NO y del 28% para el NO<sub>2</sub>. Valores alineados con los resultados obtenidos en campañas anteriores, aunque se trate del periodo con menores índices de radiación. No obstante, éste y otros casos estudiados presentan unos niveles de descontaminación mayores a los esperados para el NO<sub>2</sub>. Aunque no haya pruebas concluyentes, este hecho parece tener su origen en algún factor ambiental externo.

Los porcentajes de descontaminación para el segundo caso presentado son del 42% para el NO y del 54% para el NO<sub>2</sub>. Con una IMD de 4780 vehículos ambos días y una radiación de 31 W/m<sup>2</sup> el 27 de diciembre de 2011, la reducción en los niveles de NO<sub>2</sub> es significativamente mayor al esperado, por lo que no se atribuye únicamente al efecto del Noxer.

Durante esta campaña de invierno, se obtienen los niveles de descontaminación mínimos debido a los menores índices de radiación. Del mismo modo, se espera que la desviación en los resultados sea mínima, ya que los niveles de referencia, se obtienen bajo estas mismas condiciones o, al menos, muy similares. Dada la metodología de estudio, los resultados obtenidos durante esta campaña adquieren un valor añadido y permiten realizar una valoración positiva de la actuación de mejora llevada a cabo.

## **Muestreo del NO<sub>2</sub>**

El detalle de los resultados brutos y las diferencias de concentración en altura se presentan en el anexo IV. Asimismo, se recogen las reducciones de contaminación obtenidas, si bien los resultados no son comparables por los cambios producidos en la disposición de la calle para el tráfico. Este hecho ha alterado los resultados en el punto 3, el cual debía ser la referencia para minimizar los errores de cálculo causados por diferencias en las condiciones ambientales.

Con los datos válidos obtenidos, únicamente cabe mencionar la diferencia encontrada en la concentración de NO<sub>2</sub> a 40cm y a 2m de altura, resultando ser de un 10% mayor en la zona baja, factor que se mantiene invariable a lo largo del año. Este hecho pone de manifiesto la existencia de una dispersión vertical, el cual variará en función de la temperatura, siendo mayor durante los meses de verano y mínima durante el invierno.

Esta dispersión hace que las reducciones calculadas en el punto anterior sean la suma de al menos 2 factores: por un lado el efecto del Noxer y la dispersión vertical, lo cual explica, en parte, las mayores reducciones obtenidas durante la campaña 3. A este respecto, la cuantificación de la dispersión vertical queda fuera del alcance del presente estudio.

## **Estudio de las variaciones en los niveles de NO<sub>x</sub>**

Con el objetivo de ampliar conocimientos y entender el comportamiento presentado por los óxidos de nitrógeno durante las campañas de control, se han estudiado las reacciones asociadas a su formación y transformación. Las reacciones producidas en la atmósfera se determinan por múltiples factores ambientales difíciles de contemplar en su totalidad, por lo que la siguiente interpretación se centra en la radiación (hv) y el ozono (O<sub>3</sub>), principales agentes asociados a los NO<sub>x</sub> junto con el nitrógeno (N<sub>2</sub>), oxígeno (O<sub>2</sub>), agua (H<sub>2</sub>O), iones derivados y la temperatura.

La figura 16 presenta las principales reacciones en las que participan los óxidos de nitrógeno de la atmósfera:

<b>Reacciones favorecidas por el Noxer:</b>	<b>Reacciones fotolíticas:</b>	<b>Reacciones endotérmicas (calor →):</b>	<b>Reacción favorecida por el O<sub>3</sub>:</b>
NO + O <sub>2</sub> <sup>-</sup> → NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> + hv → NO + O <sup>2-</sup>	N <sub>2</sub> + O <sub>2</sub> ↔ 2 NO	NO + O <sub>3</sub> → NO <sub>2</sub> + O <sub>2</sub>
NO <sub>2</sub> + OH <sup>-</sup> → NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + H <sup>+</sup>	NO <sub>2</sub> + O <sub>2</sub> + hv → NO + O <sub>3</sub>	2 NO + O <sub>2</sub> ↔ 2 NO <sub>2</sub>	
	H <sub>2</sub> O + O <sub>2</sub> + hv → H <sup>+</sup> + O <sub>2</sub> <sup>-</sup> + OH <sup>-</sup>		

**Figura 16. Reacciones asociadas a los NO<sub>x</sub>.**

A continuación se describen las reacciones más importantes para entender las variaciones registradas antes y después de la aplicación del Noxer, así como en presencia o ausencia de radiación y ozono.

#### Comportamiento de los NO<sub>x</sub> en presencia de radiación solar

En ausencia del Noxer la radiación solar favorece la dispersión vertical y las reacciones fotolíticas, situación bajo la cual disminuye la concentración de NO<sub>2</sub> pero aumentan las de NO y O<sub>3</sub> mediante la siguiente reacción;  $\text{NO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{NO} + \text{O}_3$ . Por otro lado, cabe mencionar el equilibrio al que se llega en los niveles de NO y NO<sub>2</sub> durante períodos de relativa calma en cuanto a emisiones. Bajo esta situación de equilibrio, los niveles de NO<sub>2</sub> resultan ligeramente favorecidos por el dominio de la reacción  $2 \text{NO} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{NO}_2$  frente a la reacción fotolítica.

Una vez aplicado el Noxer, además de los efectos anteriores, las dos reacciones catalizadas por el dióxido de titanio producen una disminución general de los NO<sub>x</sub> y se identifica un cambio significativo en el comportamiento del NO. La transformación directa del NO en nitrato ( $\text{NO} + \text{O}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$ ), contaminante primario de las emisiones de tráfico, evita que se produzcan picos durante las situaciones de alta intensidad de tráfico, de forma que se alcanza antes el equilibrio NO ↔ NO<sub>2</sub>.

#### Comportamiento de los NO<sub>x</sub> en ausencia de radiación solar

Bajo esta situación y durante los momentos de alta intensidad de tráfico, los niveles de NO<sub>x</sub> pueden presentar 2 comportamientos en función de un tercer contaminante, el ozono (O<sub>3</sub>):

- **En ausencia de ozono** se producen picos de NO que superan significativamente los niveles de NO<sub>2</sub> por tratarse del contaminante primario emitido por los vehículos. Posteriormente, un descenso en las emisiones y la oxidación natural del NO provocan que se alcance el equilibrio entre ambos contaminantes.
- **En presencia de ozono** se produce la reacción  $\text{NO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2$ , de forma que los niveles de NO<sub>2</sub> presentan incrementos directamente proporcionales a la disminución de ozono. Esta transformación finaliza cuando se alcanza el equilibrio mencionado.

## 6.2. Comparativa de muestreos simultáneos

A pesar de ser la metodología más apropiada para este tipo de estudios, los resultados brutos y niveles de descontaminación obtenidos en los 2 puntos de control no han sido los esperados, por lo que la totalidad de resultados obtenidos se recoge en el anexo IV. La interpretación realizada no aporta conclusiones significativas respecto al potencial de descontaminación del Noxer, ya que las condiciones en el confinamiento de la calle varían y no permiten que los registros sean comparables. Mientras que la zona con Noxer cuenta con edificios a ambos lados de la calle, la zona sin Noxer presenta un solar en la parte norte, lo cual permite la entrada de corrientes de aire que favorecen la dispersión de los contaminantes.

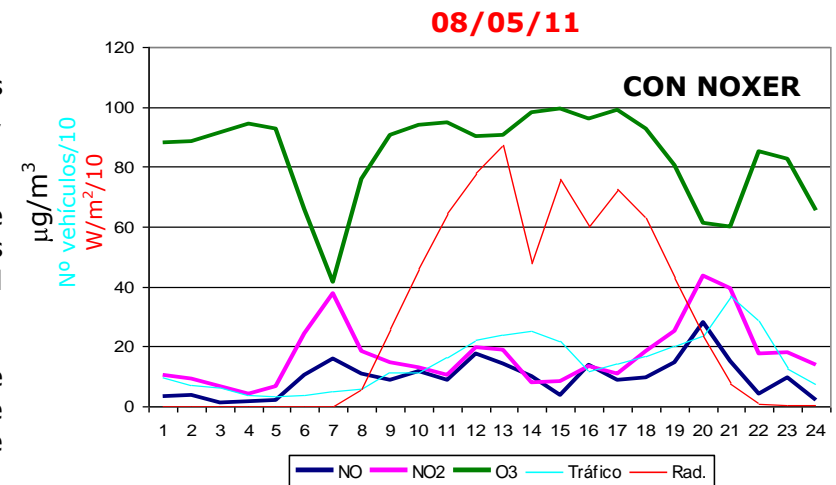


Figura 17. Ejemplo de las variaciones estudiadas.



## 7. CONCLUSIONES

Directamente relacionadas con los resultados y objetivos del estudio, las conclusiones alcanzadas parten de un período de control de 19 semanas. La metodología de trabajo utilizada no trata de ser asimilable a lo que se denomina normativamente "fondo urbano" ni pretenden determinar la exposición media de la población, sino conocer los efectos del Noxer sobre la calidad del aire de Montebideo etorbidea.

- Se cuantifica en un 50% la reducción media en las concentraciones de  $\text{NO}_x$  debido al efecto purificador del asfalto Noxer, de forma que los resultados obtenidos a lo largo de un año justifican la actuación de mejora llevada a cabo.
- Uno de los principales beneficios del asfalto Noxer es la minimización de las situaciones críticas provocadas por el NO, contaminante primario emitido directamente desde los tubos de escape y principal causa de los actuales episodios de contaminación en zona urbana.
- Los niveles de descontaminación aumentan con la radiación, de manera que el Noxer presenta un mayor potencial de acción en verano, mientras que en invierno es mínimo. No obstante, los resultados obtenidos durante la campaña invernal demuestran un efecto igualmente positivo para la calidad del aire de la zona durante este periodo.
- La reducción de los óxidos de nitrógeno conlleva la reducción de la formación de ozono troposférico. El hecho de disminuir uno de los principales precursores de ozono, dificulta la existencia de episodios críticos de contaminación durante el verano.
- Desde el punto de vista normativo (RD 102/2011), el nivel medio del  $\text{NO}_2$  durante el período de control previo a la actuación ha superado ligeramente el valor límite anual ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), situación que no se ha repetido una vez aplicado el Noxer. Asimismo, no se han registrado superaciones horarias a lo largo del estudio, si bien, las máximas horarias registradas después de aplicar el asfalto presentan valores significativamente inferiores, especialmente de NO.
- A lo largo del estudio y bajo las mismas condiciones ambientales, no se ha observado ningún caso donde las concentraciones de los  $\text{NO}_x$  hayan superado los niveles obtenidos durante el periodo previo a la aplicación del asfalto. No obstante, se observan diferentes comportamientos para el NO y el  $\text{NO}_2$  como consecuencia del efecto purificador del Noxer, los cuales dependen de las características fisicoquímicas propias de cada contaminante, así como de las condiciones ambientales (radiación, temperatura, etc.).



**Calidad del aire en el municipio de Durango**

**Proyecto ECOBIDE**

**ANEXO I. Ejecución de la obra**

El proyecto PERCO se integra en los trabajos planificados para el refuerzo del atractivo del centro urbano de Durango. Con el objetivo de ejecutar la reurbanización integral de Montebideo etorbidea, el proyecto se desglosa en 3 fases:

- **Fase I.** Correspondiente al tramo comprendido entre la calle Zumalakarregi y Uribarri.
- **Fase II.** Zona comprendida entre las calles Uribarri y Astarloa
- **Fase III.** Zona comprendida entre las calles Astarloa y Olleria.



Figura 1. Detalle de las fases en las que se divide la obra.

Durante los meses de enero y febrero de 2011, Probisa ejecutó el asfaltado de las fases I y III. Esto significa que durante el estudio Montebideo etorbidea se encuentra asfaltada y con Noxer en sus 2 extremos, existiendo una zona intermedia de unos 100 m (Fase II) sin tocar.

La ejecución de la obra se ha llevado a cabo bajo la metodología habitual de este tipo de trabajos, si bien la aplicación del Noxer ha supuesto una tarea añadida. A continuación se detallan las tareas realizadas durante la ejecución de la obra en las fases I y III:

## 1. FRESADO

Antes de cualquier nuevo asfaltado o acondicionamiento, es necesario realizar el fresado para que el nivel final del pavimento no varíe. Mediante maquinaria pesada se corta y tritura el asfalto antiguo, el cual será reutilizado como arido para nuevos asfaltos. Las labores de fresado se realizan entre las semanas 2 y 6 de 2011.



## 2. ASFALTADO

Con el objetivo de prolongar al máximo los efectos del Noxer, se utiliza un asfalto especial caracterizado por una mayor porosidad. Posteriormente el Noxer cubrirá dichos poros, de forma que se minimiza el desgaste sufrido por el paso de los vehículos. Las labores de asfaltado comienzan el 14 de enero y se prolongan durante una semana.

## 3. ACONDICIONAMIENTO DEL ASFALTO

Esta tercera etapa de la obra se realiza el 2 de febrero y consiste en el acondicionamiento del pavimento para la posterior aplicación del Noxer. Con el objetivo de garantizar la correcta adherencia del Noxer, mediante chorros de agua y aire, se limpia toda la superficie asfaltada, eliminándose las posibles impurezas de los poros.

## 4. APLICACIÓN DEL NOXER

Por último, al día siguiente de realizar el acondicionamiento y limpieza del asfaltado, se aplica el Noxer. Es importante que esta tarea se realice con la mayor brevedad posible para que la aplicación se realice con el pavimento limpio y pueda garantizarse una correcta adherencia. Físicamente el Noxer es un líquido bituminoso y espeso, fácil de extender, pero requiere de un tiempo para el secado completo (2 meses), aunque la calle pudo abrirse al tráfico a las pocas horas de su aplicación. Una vez preparada la lechada de Noxer, se vierte al pavimento y los operarios se encargan de extenderlo a toda su superficie.



**Figura 3. Labores manuales de acabado en el asfaltado.**



**Figura 4. Limpieza con agua a presión.**



**Figura 5. Aplicación del Noxer.**



**Figura 6. Secado del Noxer.**

**Calidad del aire en el municipio de Durango**

**Proyecto ECOBIDE**

**ANEXO II. Resultados diarios válidos**

Fecha	Variable independiente				Contaminante ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )						
	I/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	°C	IMD	NO	NO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>1</sub>	O <sub>3</sub>	
Campana 1	20/11/10	7,8	65	12	4952	25	36	10	6	4	22
	21/11/10	33,0	20	10	3187	26	41	9	6	5	42
	22/11/10	13,1	59	9	4999	68	68	30	20	10	16
	23/11/10	3,4	37	9	4819	78	56	25	17	13	11
	24/11/10	1,3	58	8	4846	70	55	35	23	18	8
	25/11/10	15,9	35	6	5163	70	57	25	18	14	14
	26/11/10	3,2	58	5	5035	72	58	20	13	10	23
	27/11/10	2,5	49	4	4589	33	38	16	12	10	16
	28/11/10	1,0	88	3	2883	31	34	12	9	7	20
	29/11/10	0,0	87	5	5439	66	51	26	11	8	25
	30/11/10	0,0	42	7	4991	53	45	19	10	8	33
	01/12/10	11,0	21	3	5036	78	59	19	15	13	10
02/12/10	1,3	50	3	5255	67	56	23	19	15	9	
<b>Aplicación del asfalto Noxer</b>											
Campana 2	25/03/11	0,0	193	17	5676	24	37	26	12	8	72
	26/03/11	0,0	161	18	5274	25	40	35	15	8	44
	28/03/11	8,7	120	13	5311	37	51	23	12	9	10
	29/03/11	10,0	171	13	5706	36	49	26	16	11	37
	30/03/11	4,8	81*	13	5366	43	52	20	13	9	n.d.
	31/03/11	0,0	n.d.	18	5524	33	35	30	16	11	26
	01/04/11	0,0	312	22	5749	43	44	35	14	9	41
	02/04/11	0,0	182	18	4955	17	33	27	13	8	71
	03/04/11	4,8	42	11	3179	11	26	9	7	5	76
	24/04/11	11,8	46	15	2579	7	18	24	18	14	n.d.
	25/04/11	4,3	58	15	2743	7	17	22	16	11	91
	26/04/11	0,0	80	15	4882	16	35	44	30	23	91
	27/04/11	0,0	25*	16	4512	16	35	58	42	34	95
	28/04/11	0,0	215	16	4851	17	37	51	38	31	87
	02/05/11	2,4	278	17	5577	33	36	27	18	14	50
	03/05/11	4,3	63	15	5556	31	52	30	19	16	54
	04/05/11	0,0	257	16	5614	23	32	27	17	13	61
	05/05/11	0,5	253	18	5535	27	44	29	17	13	53
	06/05/11	0,1	149	22	5939	7	20	28	15	11	95
	07/05/11	1,4	128	19	5238	8	17	11	6	4	99
08/05/11	0,0	294	20	3496	10	17	10	5	2	84	
09/05/11	0,0	310	19	5781	20	30	19	10	6	50	
10/05/11	0,0	311	19	5535	24	32	23	13	8	54	
11/05/11	0,1	259	19	5483	25	35	29	18	12	61	
12/05/11	0,0	91	17	5386	22	39	25	14	8	53	
13/05/11	0,6	280	20	6069	21	34	29	17	11	95	
14/05/11	2,7	76	14	5234	17	28	17	10	6	99	
15/05/11	0,5	138	13	3236	13	21	12	7	4	84	

Notas:

- n.d.: no hay dato.
- \* : promedio diario incompleto.
- En rojo se presentan los días festivos.

Fecha	Variable independiente				Contaminante ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )						
	I/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	°C	IMD	NO	NO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>1</sub>	O <sub>3</sub>	
Campaña 3	14/06/11	0,0	340	22	5445	22	25	16	9	6	40
	15/06/11	0,0	179	21	5385	20	26	14	8	5	38
	16/06/11	1,0	113	18	5930	23	33	16	9	6	37
	17/06/11	0,0	245	19	5878	22	26	19	10	6	44
	18/06/11	0,1	238	17	4611	11	15	13	8	4	71
	19/06/11	0,0	357	20	3462	7	13	10	6	4	71
	20/06/11	0,0	348	22	5408	23	29	20	11	7	29
	21/06/11	0,2	285	22	5278	18	20	21	13	9	20
	22/06/11	0,5	60	17	5492	20	29	14	9	6	35
	23/06/11	0,0	152	17	5346	20	24	24	16	11	36
	24/06/11	0,0	345	18	5533	17	17	41	28	19	50
	25/06/11	0,0	356	23	4161	8	16	10	6	5	75
	26/06/11	0,0	334	30	3389	9	25	16	8	6	67
27/06/11	1,3	277	28	5187	11	32	32	15	11	71	
Campaña 4	13/12/11	0,0	44	59	5648	28	21	11	6	3	41
	14/12/11	1,2	42	12	5723	31	24	16	9	6	29
	15/12/11	0,3	71	13	5797	23	21	15	6	3	36
	16/12/11	20,9	20	13	6311	14	15	13	6	3	47
	17/12/11	48,7	34	8	5586	19	22	8	6	3	38
	18/12/11	26,3	53	6	4563	13	18	5	4	3	35
	19/12/11	2,1	35	7	8871	49	30	24	19	16	9
	20/12/11	1,2	22	9	9511	39	28	22	17	13	13
	21/12/11	0,8	18	13	7703	24	26	6	5	3	23
	22/12/11	0	25	11	6490	38	32	13	10	7	10
	23/12/11	0,1	68	9	8188	39	25	29	17	12	n.d.
	24/12/11	0,4	51	8	6459	27	22	15	11	7	n.d.
	25/12/11	0,0	93	4	3274	12	11	17	11	7	n.d.
	26/12/11	0,0	93	4	5629	30	18	20	12	9	n.d.
	27/12/11	0,0	94	6	5481	38	23	26	13	10	9
	28/12/11	2,3	55	6	5994	61	30	34	21	16	6
	29/12/11	6,3	48	8	5115	30	28	11	9	6	19
	30/12/11	0,2	31	8	4784	30	26	16	12	9	7
	31/12/11	0,0	35	10	3458	30	20	16	12	9	6
	01/01/12	0,0	76	11	2128	13	9	12	8	6	17
02/01/12	6,9	58	10	3198	27	26	10	7	5	18	
03/01/12	0,0	96	8	3475	30	22	29	15	10	n.d.	
04/01/12	1,2	28	10	3346	33	29	17	12	9	n.d.	
05/01/12	1,4	71	9	3281	28	21	30	20	13	14	
06/01/12	0,4	24	11	1559	14	15	10	7	4	27	
07/01/12	0,0	47	11	1957	25	21	22	14	8	9	
08/01/12	0,0	38	11	1220	14	17	10	7	5	16	
09/01/12	0,0	29	9	2142	14	18	16	8	5	23	

Notas:

- n.d.: no hay dato.
- \* : promedio diario incompleto.
- En rojo se presentan los días festivos.

**Calidad del aire en el municipio de Durango**

**Proyecto ECOBIDE**

**ANEXO III. Casos particulares estudiados**

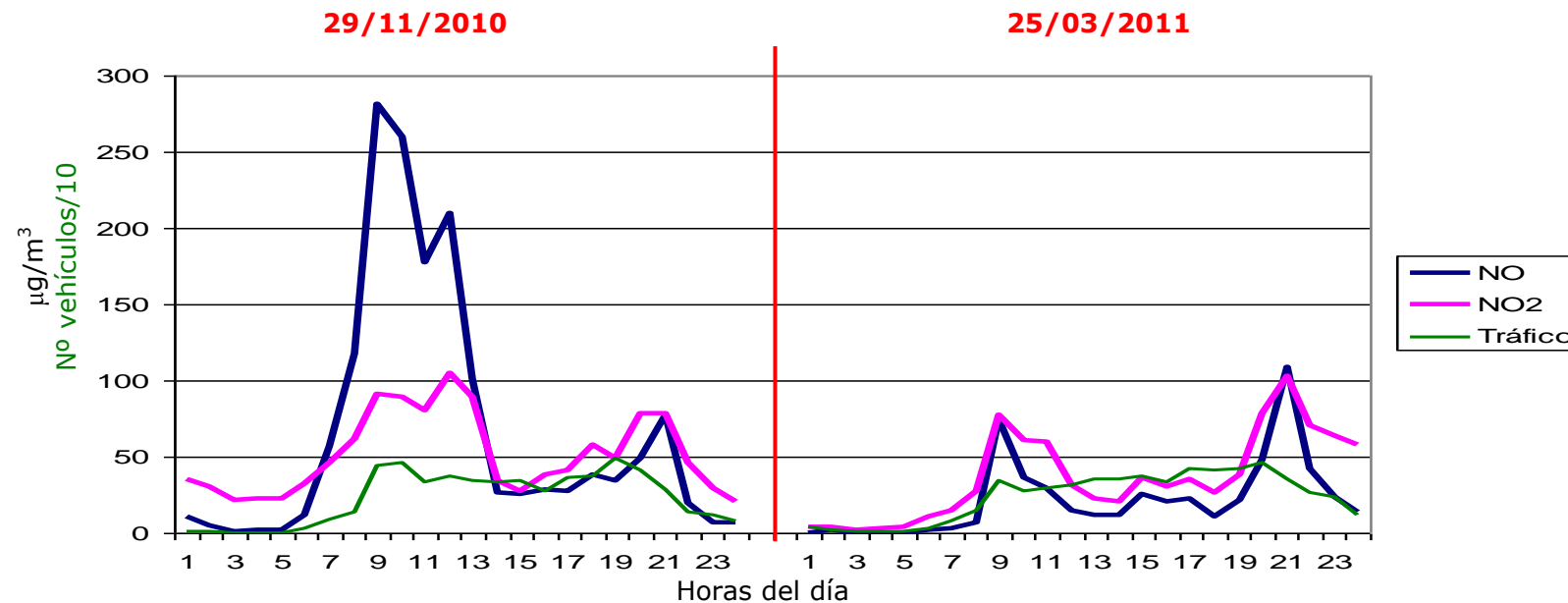


A continuación se recogen todos los casos particulares (día-día) estudiados a partir de los resultados obtenidos en los distintos períodos de control (C1\_PRE, C2\_POST, C3\_POST, C4\_POST). Para ello, se han tomado como referencia los resultados medios diarios presentados en el Anexo II.

### **CASO 1**

Con el objetivo de validar los resultados medios de descontaminación obtenidos durante la campaña 2, se han comparado con lo sucedido un día particular en el que se ha registrado una radiación parecida. En este caso, la radiación media registrada para el período posterior a la actuación ha sido de 185 W/m<sup>2</sup>. Por su parte, la descontaminación media se ha cuantificado en un 66% para el NO y en un 23% para el NO<sub>2</sub>.

Determinado el día con la radiación de interés, el 25/03/2011 la radiación ha sido de 193 W/m<sup>2</sup>, se ha seleccionado un día del período anterior a la actuación con una IMD similar a la primera. Para este caso se ha seleccionado el 29/11/2010, con una IMD de 5439, es decir, 237 vehículos menos que en el período posterior. La descontaminación se cuantifica en un 64% para el NO y en un 28% para el NO<sub>2</sub>.



**Figura 1. Variación en los niveles de NO y NO<sub>2</sub> sin Noxer y con Noxer durante un día de nubes y claros.**

## CASO 2

Con el mismo objetivo citado anteriormente, el caso 2 presenta un mayor acercamiento a los niveles medios obtenidos. Determinado el día con la radiación de interés, el 02/04/2011 la radiación ha sido de  $182 \text{ W/m}^2$ , se ha seleccionado un día del período anterior a la actuación con una IMD similar a la primera. Para este caso se ha seleccionado el 30/11/2010, con una IMD de 4991, es decir, con 4 vehículos menos que en el período posterior. La descontaminación se cuantifica en un 67% para el NO y en un 26% para el NO<sub>2</sub>.

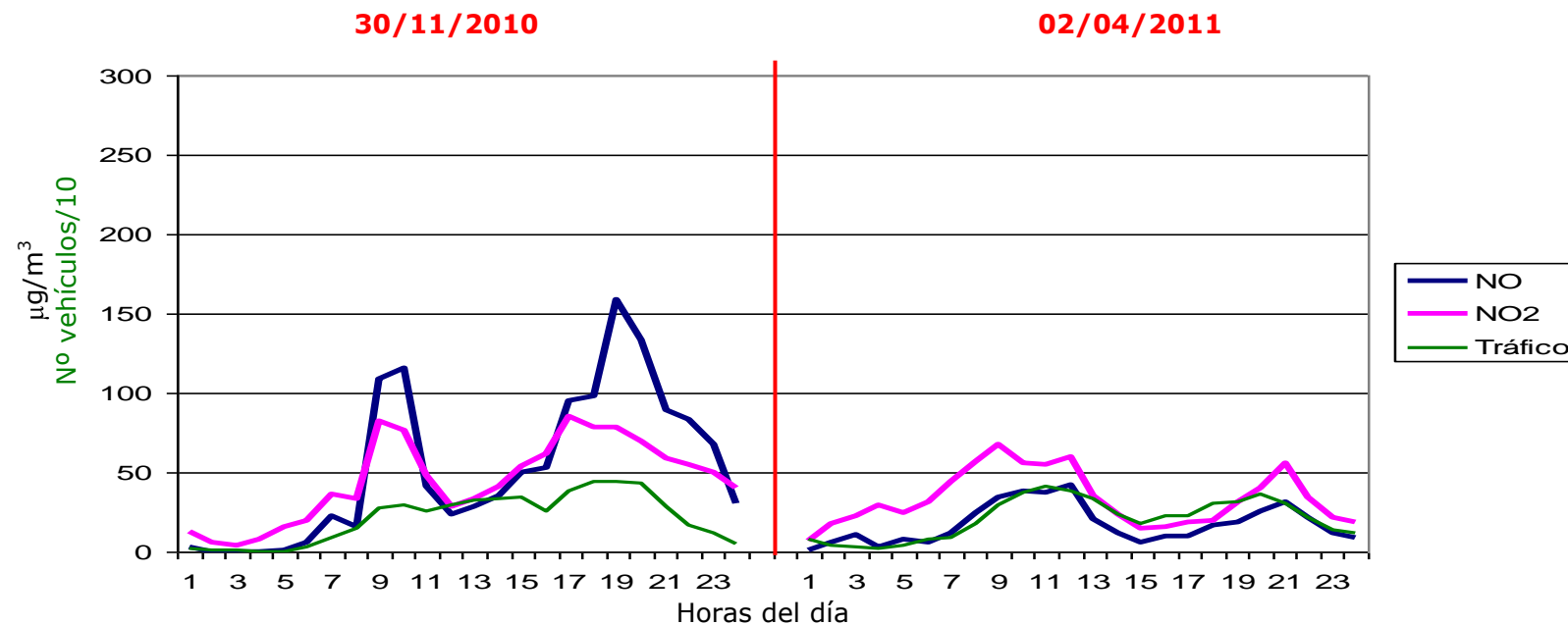
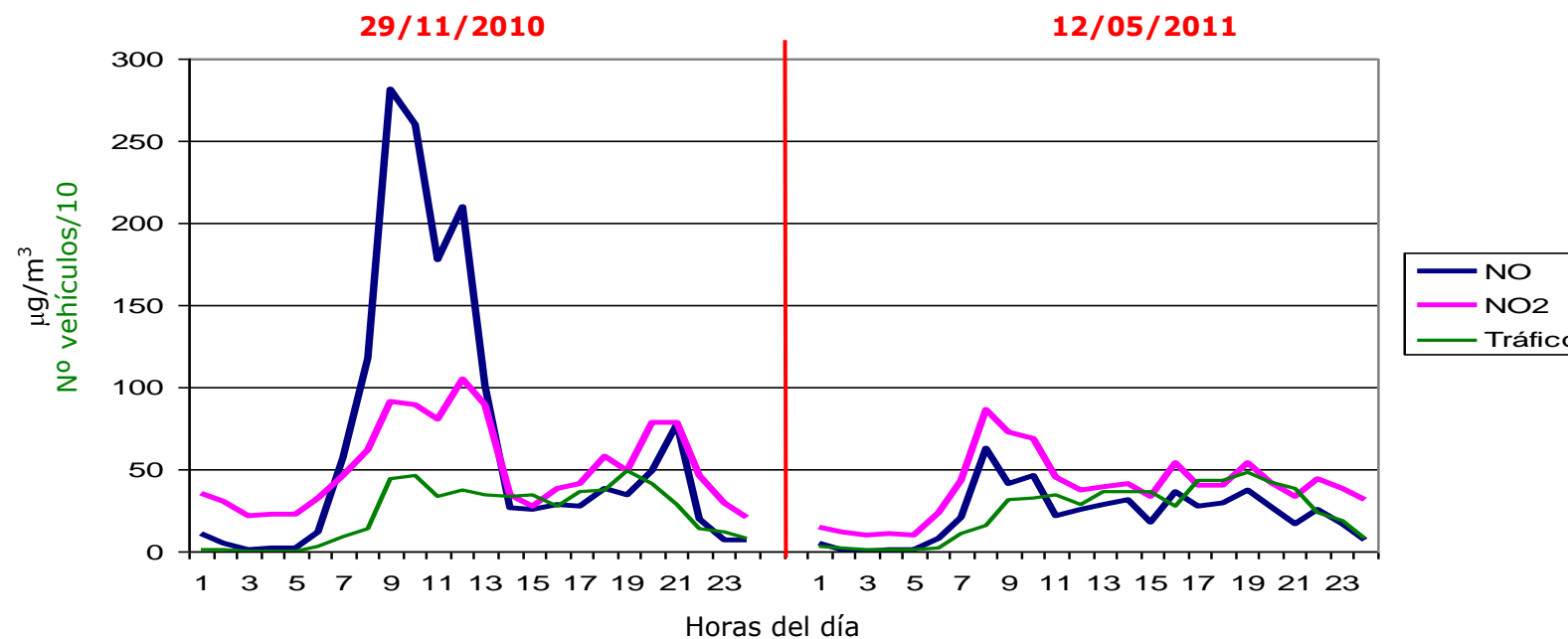


Figura 2. Variación en los niveles de NO y NO<sub>2</sub> sin Noxer y con Noxer durante un día de nubes y claros.

La radiación media de  $182 \text{ W/m}^2$  se considera habitual de días con nubes y claros ( $100\text{-}250 \text{ W/m}^2$ ), por lo que se ha querido conocer lo sucedido bajo condiciones diferentes. Los siguientes casos particulares permiten realizar un acercamiento a situaciones tanto de días nublados ( $<100 \text{ W/m}^2$ ) como soleados ( $>250 \text{ W/m}^2$ ) y conocer índices de descontaminación que favorezcan una interpretación aproximada a la realidad.

### **CASO 3**

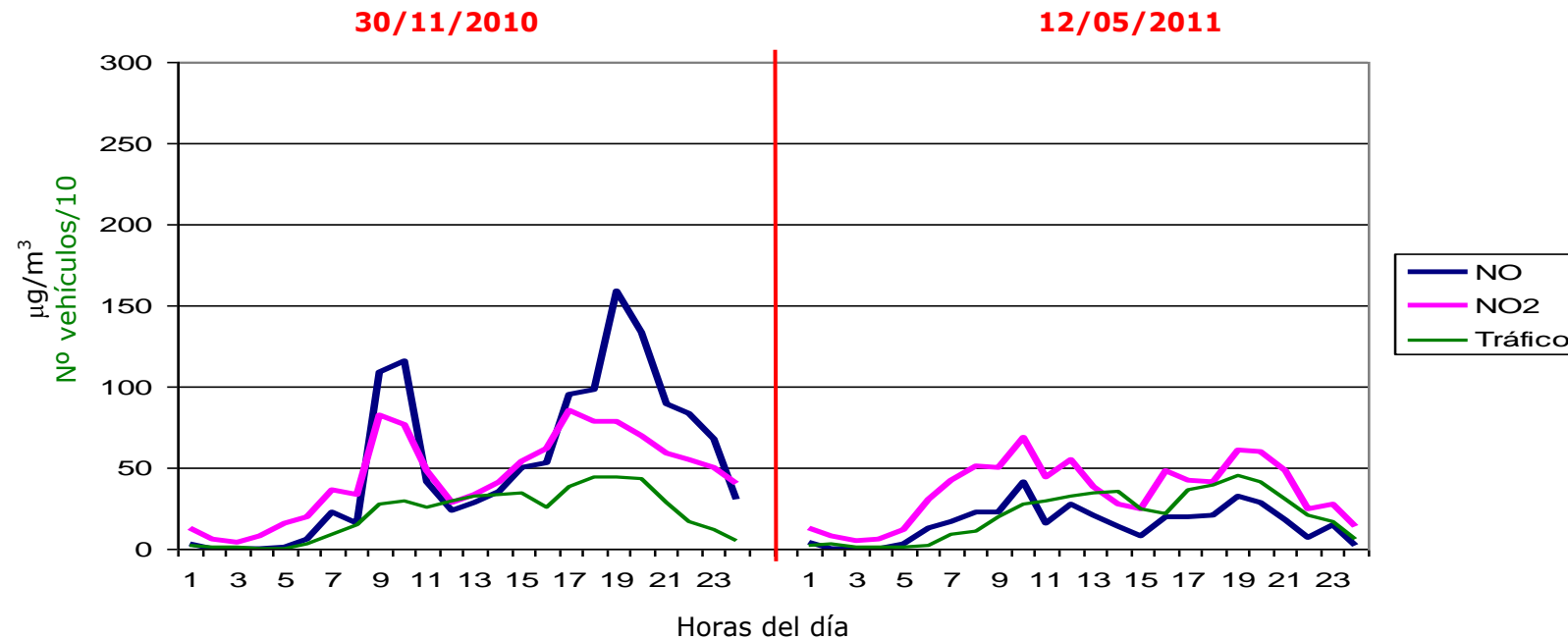
En este caso se quiere conocer la diferencia respecto a un día nublado, para lo cual se han seleccionado los resultados de los días 29/11/10 y 12/05/11. El día seleccionado para el período posterior a la aplicación del Noxer se registra una radiación de  $91 \text{ W/m}^2$  y una IMD de 5386 vehículos, 53 menos que el día seleccionado para el período previo a la actuación. Los índices de descontaminación registrados son del 66% para el NO y del 25% para el  $\text{NO}_2$ .



**Figura 3. Variación en los niveles de NO y  $\text{NO}_2$  sin Noxer y con Noxer durante un día nublado.**

#### **CASO 4**

Los datos registrados permiten estudiar un segundo caso similar al anterior donde se analiza la descontaminación producida durante un día nublado. En este caso, los resultados previos a la actuación del 30/11/2010 se han comparado con los del día 26/04/11. Este día se registra una radiación de 80 W/m<sup>2</sup> y una IMD de 4882 vehículos, 99 vehículos menos que durante el período previo seleccionado. Los índices de descontaminación obtenidos son del 70% para el NO y del 22% para el NO<sub>2</sub>.



**Figura 4. Variación en los niveles de NO y NO<sub>2</sub> sin Noxer y con Noxer durante un día nublado.**

### CASO 5

En este caso se quiere conocer la diferencia respecto a un día soleado, para lo cual se han seleccionado los resultados de los días 29/11/10 y 10/05/11. El día seleccionado para el período posterior a la aplicación del Noxer se registra una radiación de  $311 \text{ W/m}^2$  y una IMD de 5535 vehículos, 96 vehículos más que el día seleccionado para el período previo a la actuación. Los índices de descontaminación registrados son del 64% para el NO y del 37% para el  $\text{NO}_2$ .

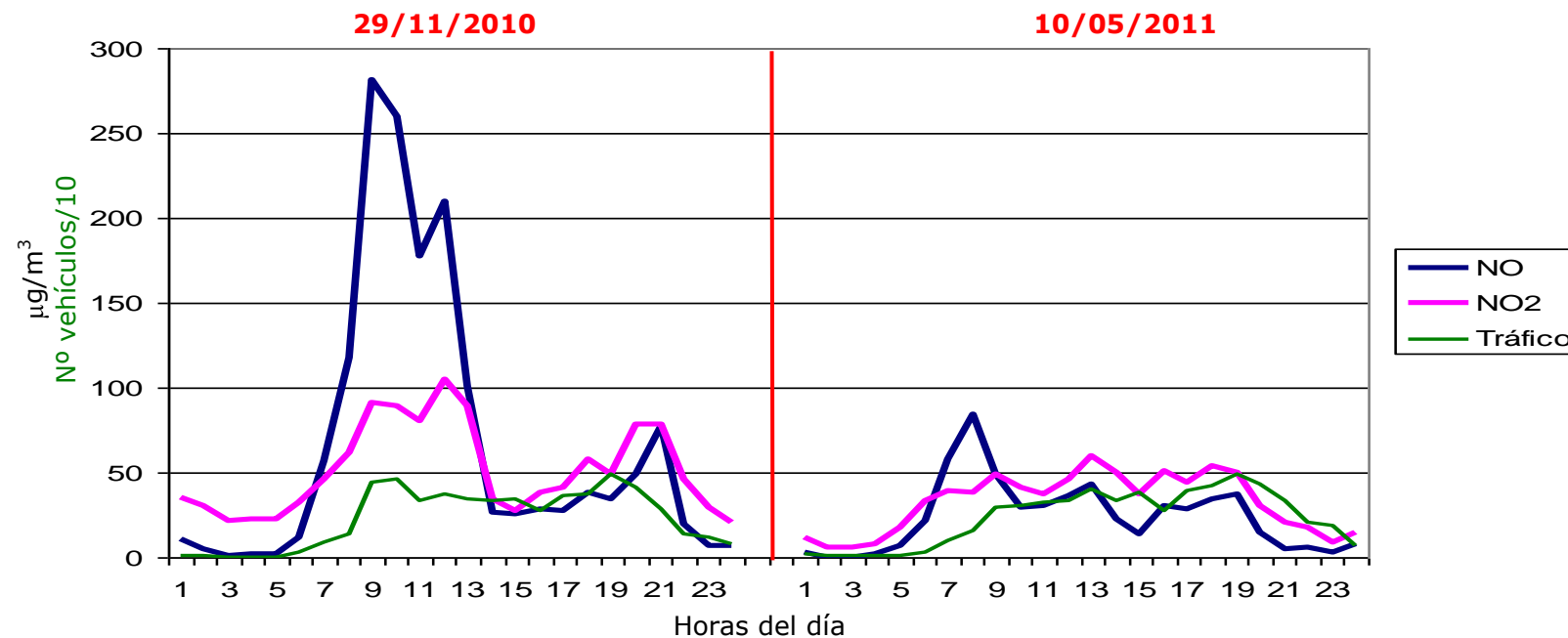


Figura 5. Variación en los niveles de NO y  $\text{NO}_2$  sin Noxer y con Noxer durante un día soleado.

## CASO 6

Los datos registrados permiten estudiar un segundo caso similar al anterior donde se analiza la descontaminación producida durante un día despejado. En este caso, los resultados previos a la actuación del 29/11/2010 se han comparado con los del día 11/05/11. Este día se registra una radiación de  $259 \text{ W/m}^2$  y una IMD de 5483 vehículos, 44 vehículos más que durante el período previo seleccionado. Los índices de descontaminación obtenidos son del 62% para el NO y del 32% para el  $\text{NO}_2$ .

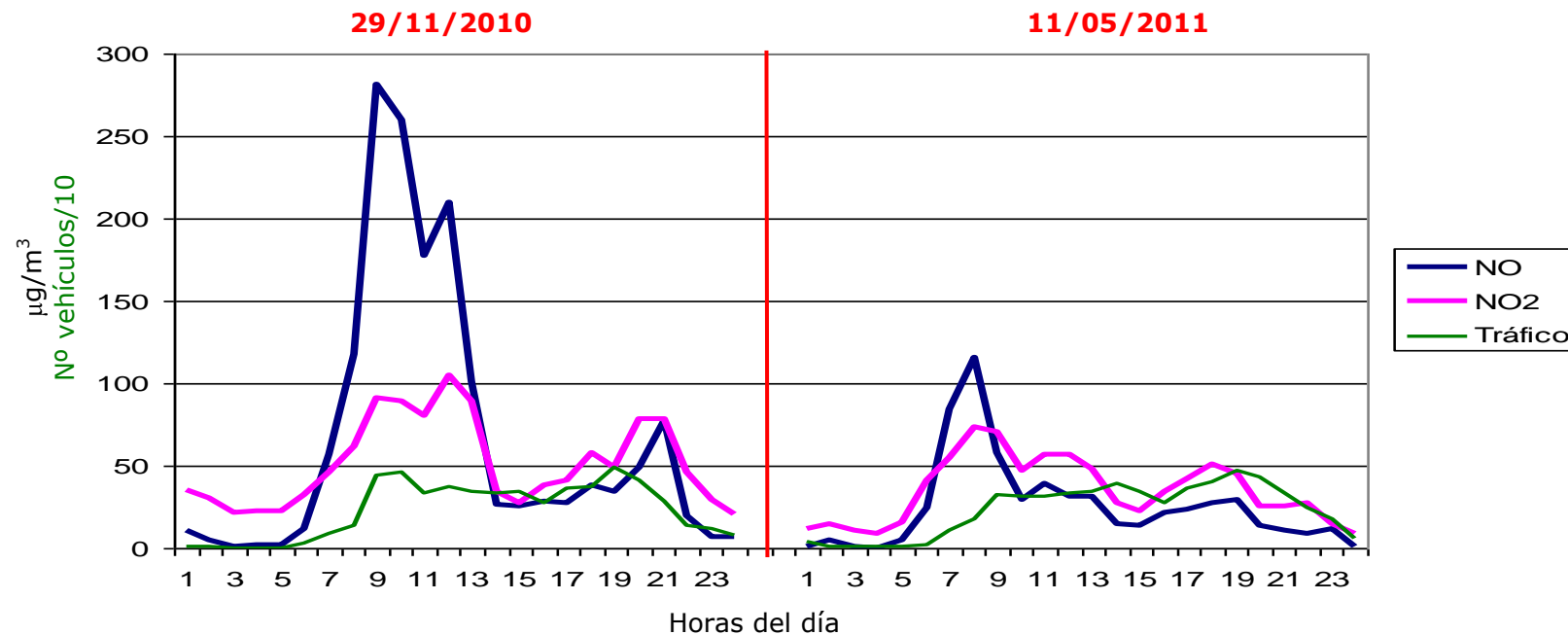
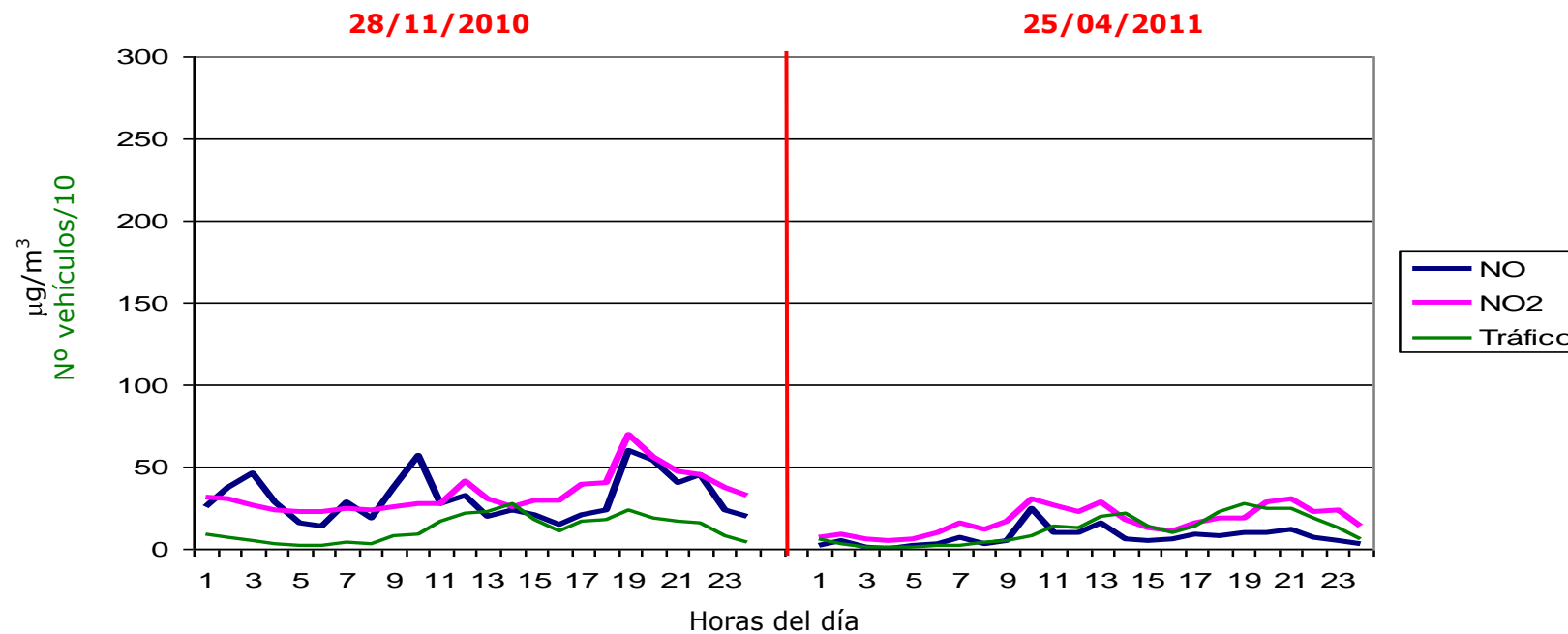


Figura 6. Variación en los niveles de NO y  $\text{NO}_2$  sin Noxer y con Noxer durante un día soleado.

Los 2 casos siguientes se orientan al estudio de las reducciones de contaminación durante los días festivos. Estos días la densidad de tráfico disminuye considerablemente y con ella las concentraciones de contaminantes.

### **CASO 7**

En este caso se quiere conocer lo sucedido durante los días con las menores concentraciones de NO<sub>x</sub>, es decir, días con menor densidad de tráfico, con el objetivo de identificar variaciones en el potencial de descontaminación del Noxer. En líneas generales y para este período concreto de controles, la media del IMD en días laborables es de 5401 y el de los fines de semana de 4101, siendo el de los domingos de 3107. En este caso, los días seleccionados son el 28/11/10 y el 25/04/11. Este segundo día se ha registrado una radiación de 58 W/m<sup>2</sup> y 2743 vehículos, 140 vehículos menos que durante el período previo seleccionado. Los índices de descontaminación obtenidos son del 77% para el NO y del 50% para el NO<sub>2</sub>.

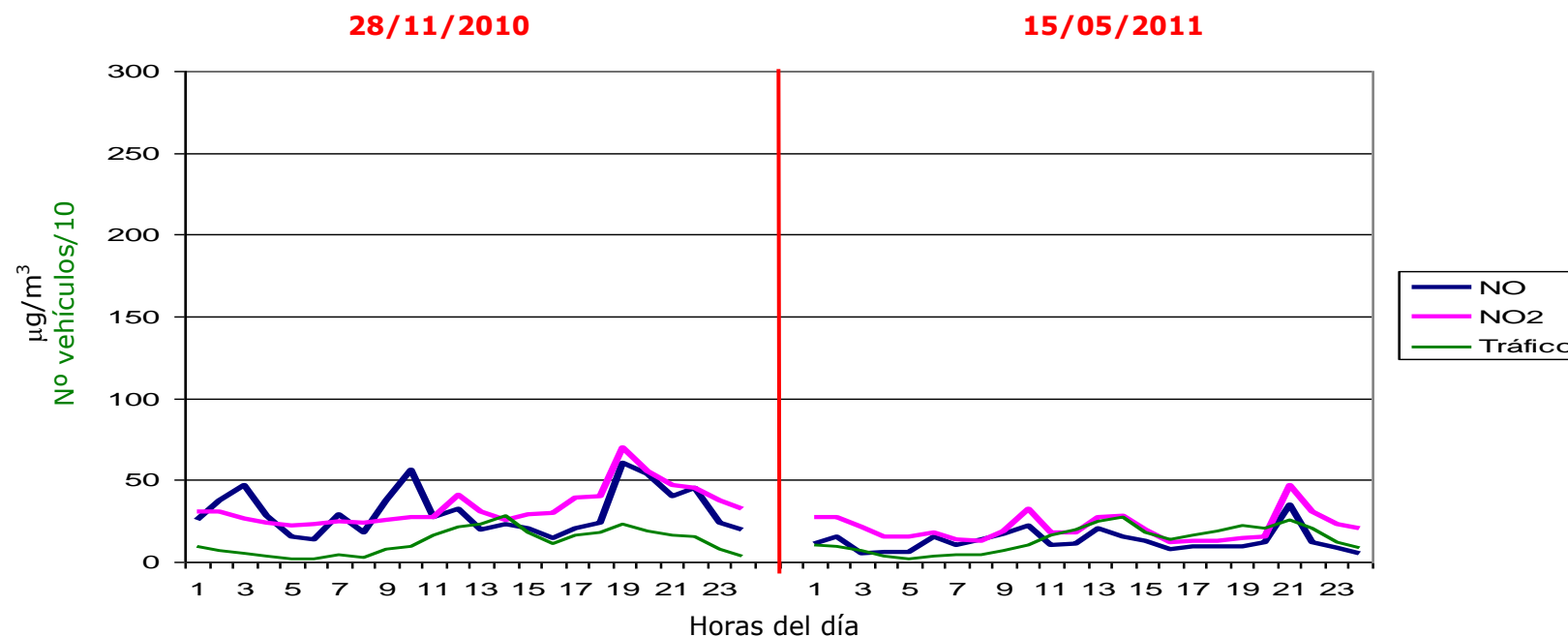


**Figura 7. Variación en los niveles de NO y NO<sub>2</sub> sin Noxer y con Noxer durante un día festivo y nublado.**



### **CASO 8**

Los datos registrados permiten estudiar un segundo caso similar al anterior donde se analiza la descontaminación producida durante un día festivo. En este caso, los resultados previos a la actuación del 28/11/2010 se han comparado con los del día 15/05/11. A diferencia del caso 6, se ha seleccionado un día de nubes y claros con una radiación de  $138 \text{ W/m}^2$ . La IMD es de 3236 vehículos, 353 vehículos más que durante el período previo seleccionado. Los índices de descontaminación obtenidos son del 59% para el NO y del 61% para el NO<sub>2</sub>.

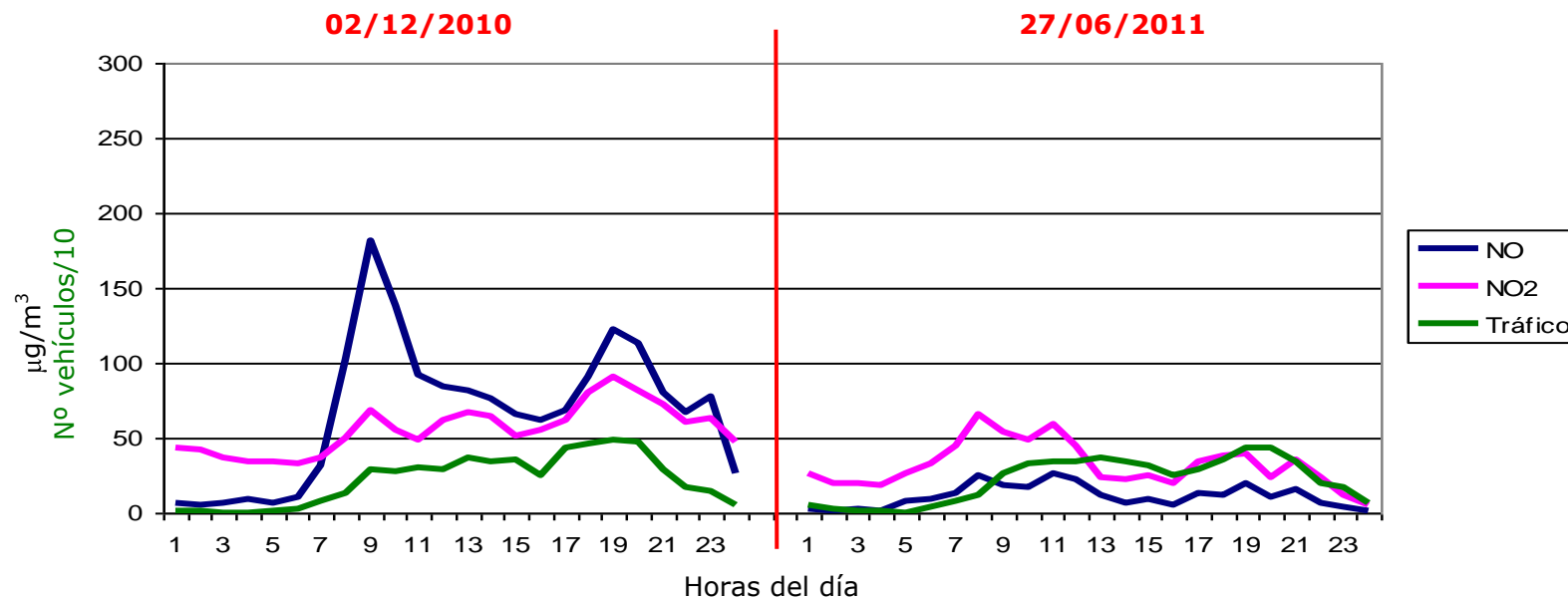


**Figura 8. Variación en los niveles de NO y NO<sub>2</sub> sin Noxer y con Noxer durante un día festivo y con nubes y claros.**

### **CASO 9**

Con el objetivo de validar los resultados medios de descontaminación obtenidos durante la campaña 3, se han comparado con lo sucedido un día particular en el que se ha registrado una radiación parecida. En este caso, la radiación media registrada para el período posterior a la actuación ha sido de 259 W/m<sup>2</sup>. Por su parte, la descontaminación media se ha cuantificado en un 72% para el NO y en un 44% para el NO<sub>2</sub>.

Determinado el día con la radiación de interés, el 27/06/2011 la radiación ha sido de 277 W/m<sup>2</sup>, se ha seleccionado un día del período anterior a la actuación con una IMD similar a la primera. Para este caso se ha seleccionado el 02/12/2010, con una IMD de 5255, es decir, con 68 vehículos menos que en el período posterior. La descontaminación se cuantifica en un 83% para el NO y en un 43% para el NO<sub>2</sub>.

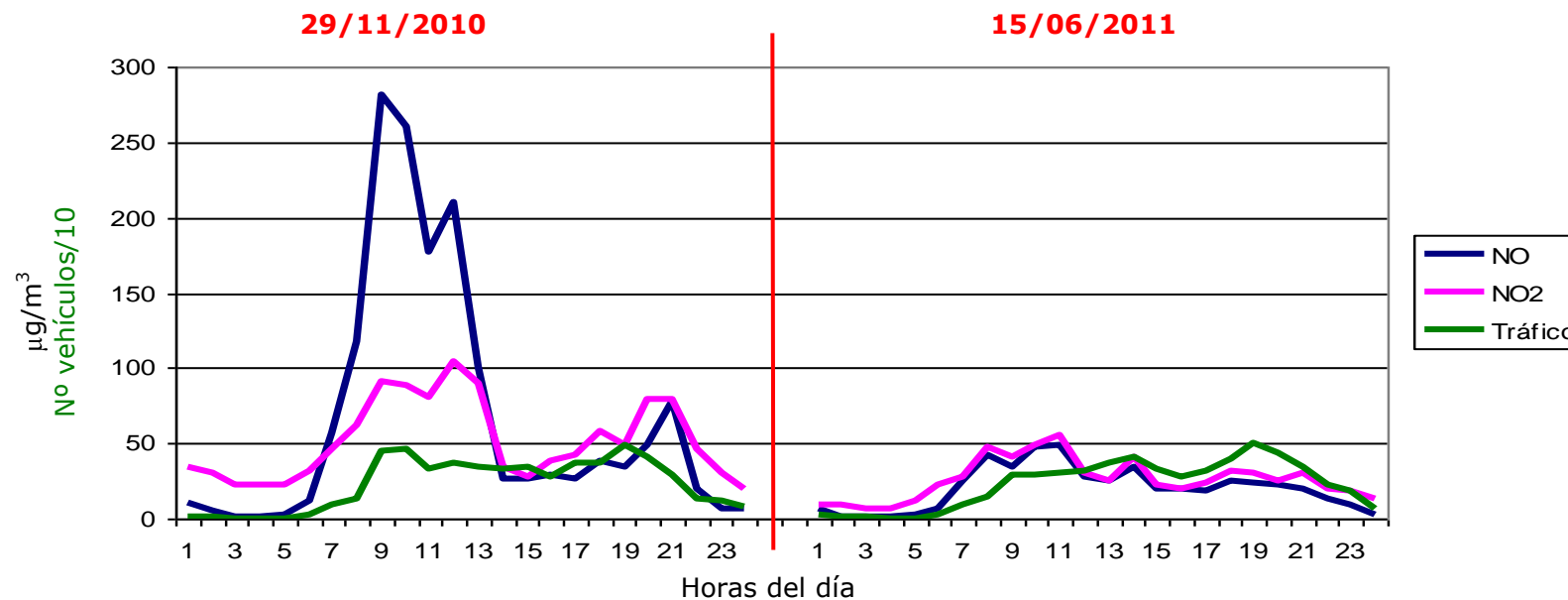


**Figura 9. Variación en los niveles de NO y NO<sub>2</sub> sin Noxer y con Noxer durante un día soleado.**

## **CASO 10**

Con el objetivo de revalidar los resultados medios de descontaminación obtenidos durante la campaña 2, se han comparado con lo sucedido un día particular en el que se ha registrado una radiación parecida de la campaña 3. Tal y como se presenta en el caso 1, la radiación media registrada para el período posterior a la actuación es de  $185 \text{ W/m}^2$ . Por su parte, la descontaminación media se ha cuantificado en un 66% para el NO y en un 23% para el NO<sub>2</sub>.

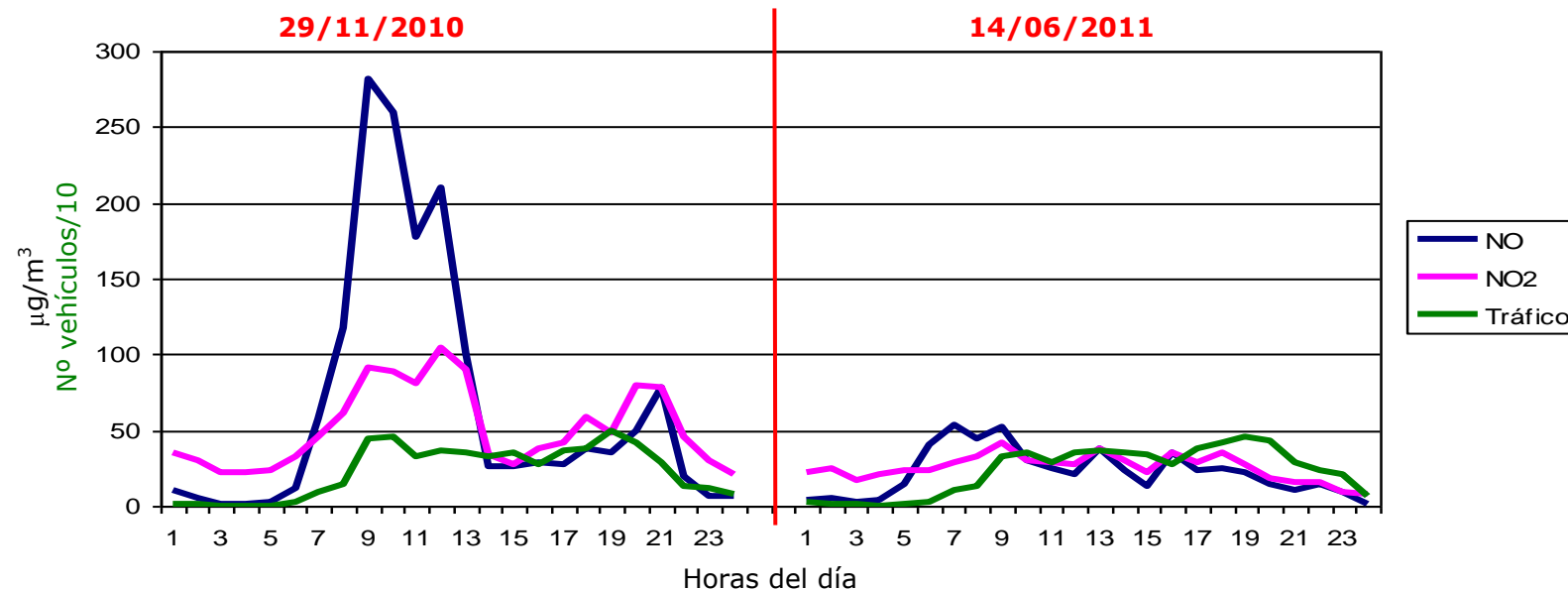
Determinado el día con la radiación de interés, el 15/06/2011 la radiación ha sido de  $179 \text{ W/m}^2$ , se ha seleccionado un día del período anterior a la actuación con una IMD similar a la primera. Para este caso se ha seleccionado el 29/11/2010, con una IMD de 5439, es decir, con 54 vehículos más que en el período posterior. La descontaminación se cuantifica en un 70% para el NO y en un 50% para el NO<sub>2</sub>.



**Figura 10. Variación en los niveles de NO y NO<sub>2</sub> sin Noxer y con Noxer durante un día de nubes y claros.**

### **CASO 11**

En este caso se quiere conocer la diferencia respecto a un día soleado, pero con una radiación mayor que para el día seleccionado en el caso 9, para lo cual se han seleccionado los resultados de los días 29/11/10 y 14/06/11. El día seleccionado para el período posterior a la aplicación del Noxer se registra una radiación de 340 W/m<sup>2</sup> y una IMD de 5445 vehículos, 6 vehículos más que el día seleccionado para el período previo a la actuación. Los índices de descontaminación registrados son del 67% para el NO y del 51% para el NO<sub>2</sub>.



**Figura 11. Variación en los niveles de NO y NO<sub>2</sub> sin Noxer y con Noxer durante un día soleado.**

## CASO 12

Los datos registrados permiten estudiar un segundo caso similar al anterior donde se analiza la descontaminación producida durante un día despejado. En este caso, los resultados previos a la actuación del 29/11/2010 se han comparado con los del día 20/06/11. Este día se registra una radiación de  $348 \text{ W/m}^2$  y una IMD de 5408 vehículos, 31 vehículos menos que durante el período previo seleccionado. Los índices de descontaminación obtenidos son del 65% para el NO y del 43% para el  $\text{NO}_2$ .

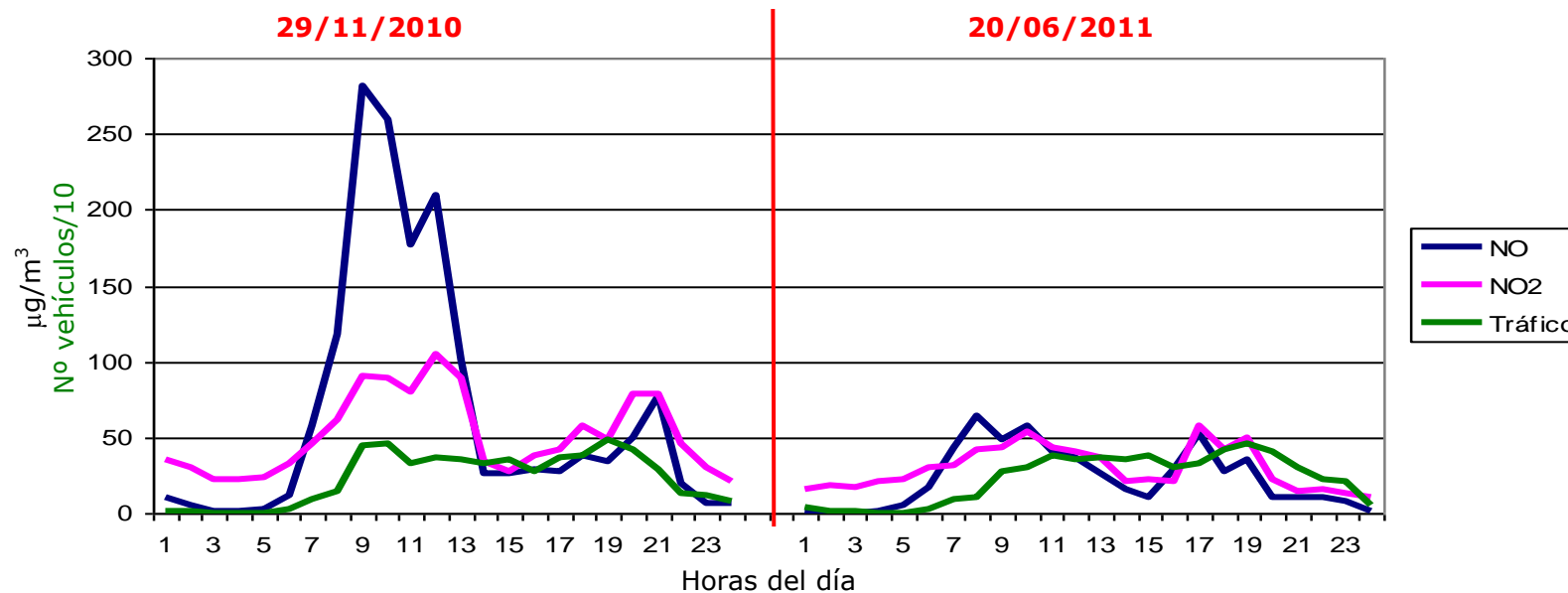


Figura 12. Variación en los niveles de NO y  $\text{NO}_2$  sin Noxer y con Noxer durante un día soleado.

### CASO 13

Los datos registrados permiten estudiar un tercer caso similar a los dos anteriores pero con una IMD ligeramente inferior. En este caso, los resultados previos a la actuación del 02/12/2010 se han comparado con los del día 21/06/11. Este día se registra una radiación de 285 W/m<sup>2</sup> y una IMD de 5278 vehículos, 23 vehículos más que durante el período previo seleccionado. Los índices de descontaminación obtenidos son del 73% para el NO y del 64% para el NO<sub>2</sub>, niveles máximos para el período de controles.

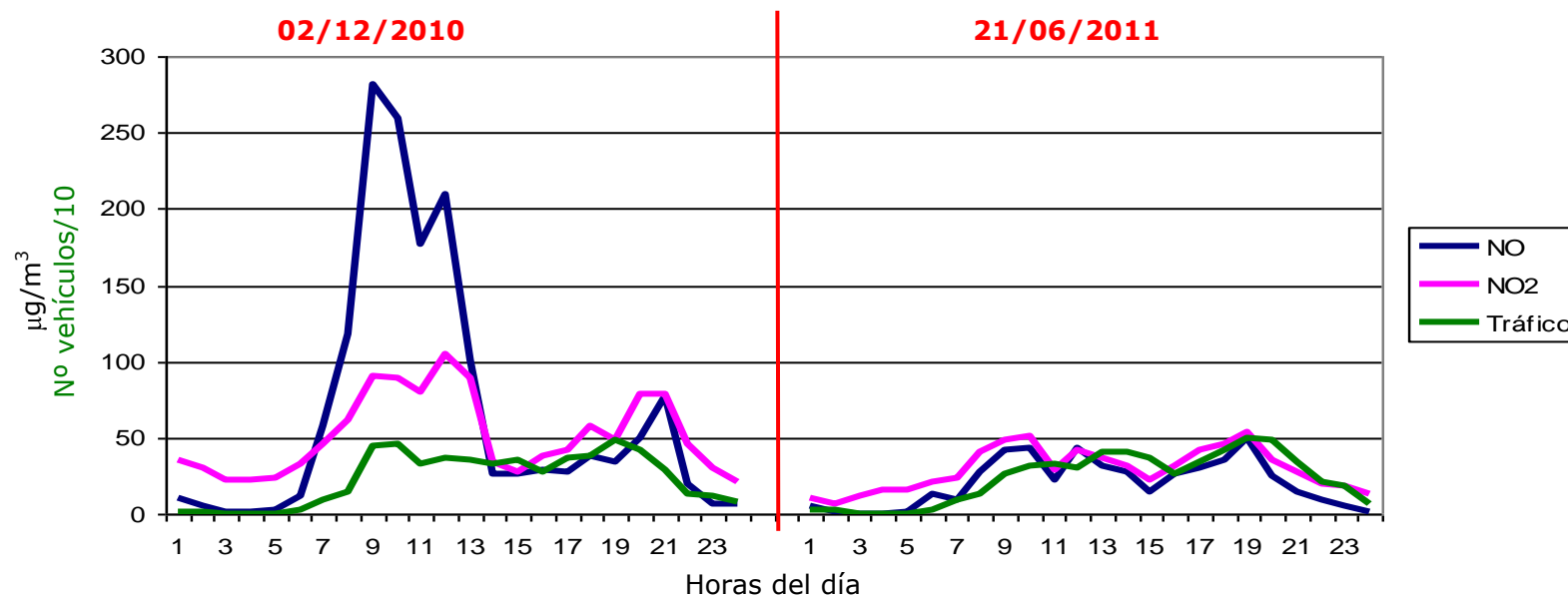
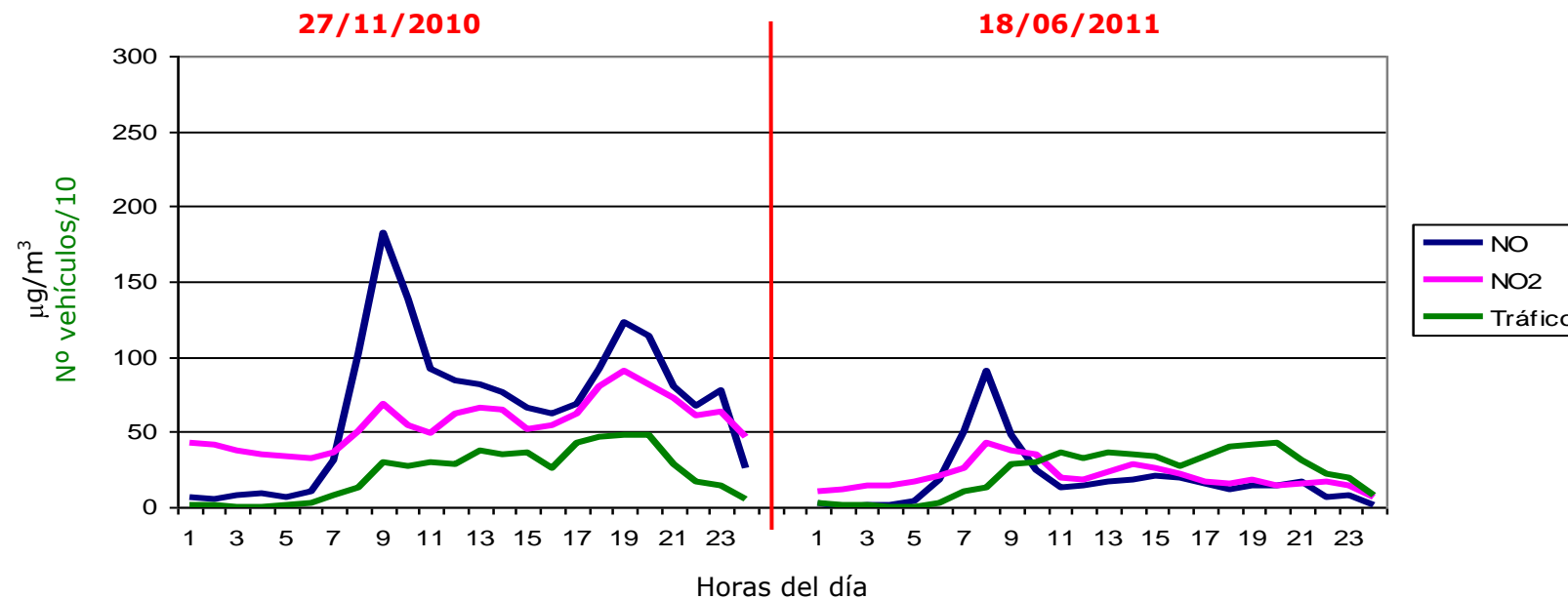


Figura 13. Variación en los niveles de NO y NO<sub>2</sub> sin Noxer y con Noxer durante un día soleado.



### **CASO 14**

Los datos registrados permiten estudiar un caso similar al caso 10, donde se analiza la descontaminación durante un día de nubes y claros. En este caso, los resultados previos a la actuación del 27/11/2010 se han comparado con los del día 18/06/11. Este día se registra una radiación de 285 W/m<sup>2</sup> y una IMD de 4611 vehículos, 22 vehículos más que durante el período previo seleccionado. Los índices de descontaminación obtenidos son del 66% para el NO y del 59% para el NO<sub>2</sub>.



**Figura 14. Variación en los niveles de NO y NO<sub>2</sub> sin Noxer y con Noxer durante un día de nubes y claros.**

### CASO 15

En este caso se quiere conocer la diferencia respecto a un día nublado, para lo cual se han seleccionado los resultados de los días 29/11/10 y 22/06/11. El día seleccionado para el período posterior a la aplicación del Noxer se registra una radiación de 60 W/m<sup>2</sup> y una IMD de 5492 vehículos, 53 más que el día seleccionado para el período previo a la actuación. Los índices de descontaminación registrados son del 70% para el NO y del 44% para el NO<sub>2</sub>.

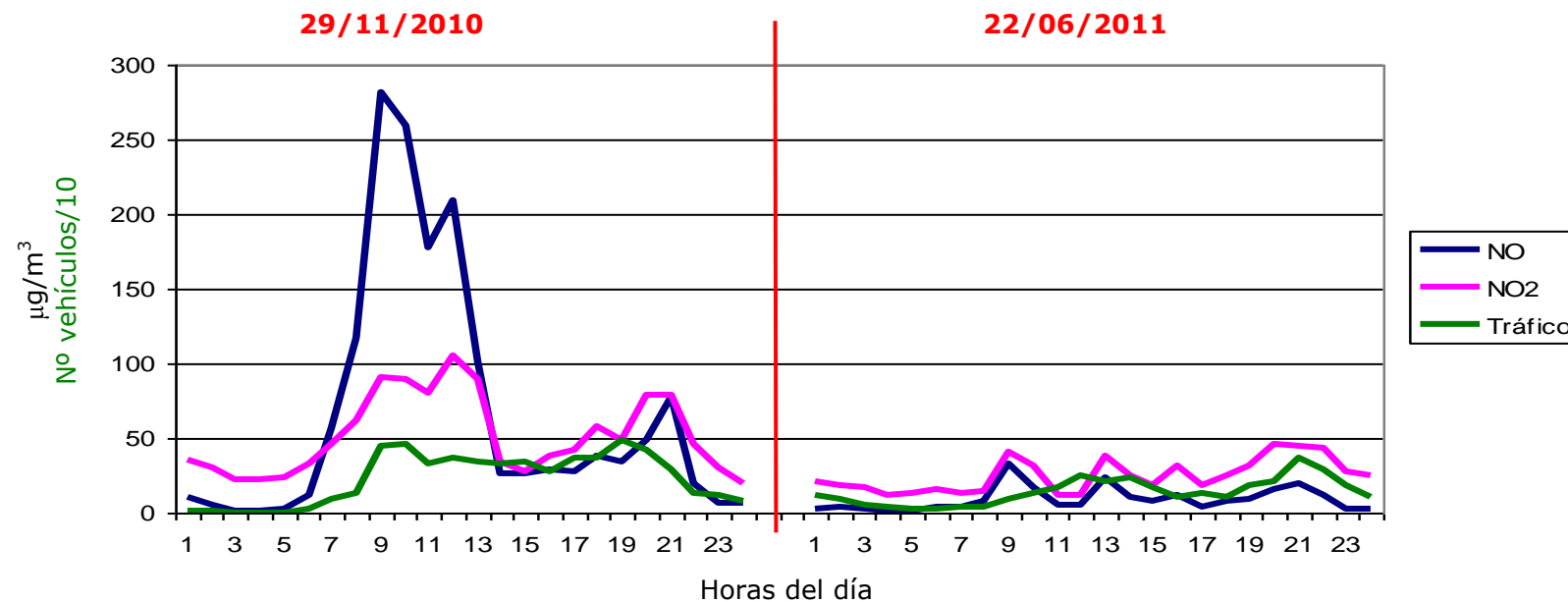


Figura 15. Variación en los niveles de NO y NO<sub>2</sub> sin Noxer y con Noxer durante un día nublado.

## CASO 16

Con el objetivo de validar los resultados medios de descontaminación obtenidos durante la campaña 4, se han comparado con lo sucedido un día particular en el que se ha registrado una radiación e intensidad de tráfico parecidas. En este caso, los valores medios registrados para el período posterior a la actuación han sido de 185 W/m<sup>2</sup> de radiación y 4804 vehículos. Por su parte, la descontaminación media se ha cuantificado en un 50% para el NO y en un 46% para el NO<sub>2</sub>.

Determinado el día con la radiación e intensidad de tráfico de interés, el 30/12/2011 la radiación ha sido de 31 W/m<sup>2</sup>, se ha seleccionado un día del período anterior a la actuación con una IMD similar a la primera. Para este caso se ha seleccionado el 24/11/2010, con una IMD de 4846, es decir, con 62 vehículos menos que en el período posterior. La descontaminación se cuantifica en un 57% para el NO y en un 28% para el NO<sub>2</sub>.

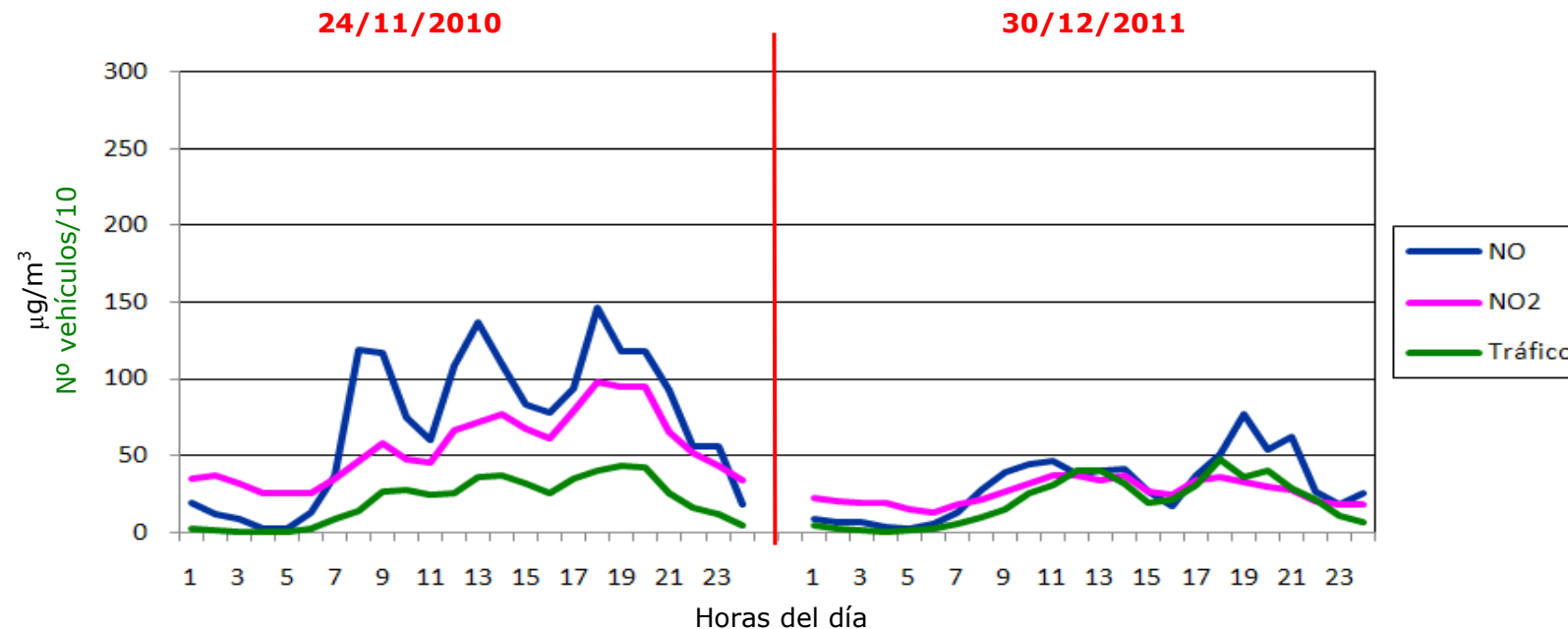


Figura 16. Variación en los niveles de NO y NO<sub>2</sub> sin Noxer y con Noxer durante un día nublado de invierno.

### CASO 17

Con el mismo objetivo citado anteriormente, el caso 2 de la campaña 4 presenta un mayor acercamiento a los niveles medios obtenidos. Determinado el día con la radiación de interés, el 27/12/2011 la radiación ha sido de  $94 \text{ W/m}^2$ , se ha seleccionado un día del período anterior a la actuación con una IMD similar a la primera. Para este caso se ha seleccionado el 29/11/2010, con una IMD de 5439, es decir, con 42 vehículos menos que en el período posterior. La descontaminación se cuantifica en un 42% para el NO y en un 54% para el NO<sub>2</sub>.

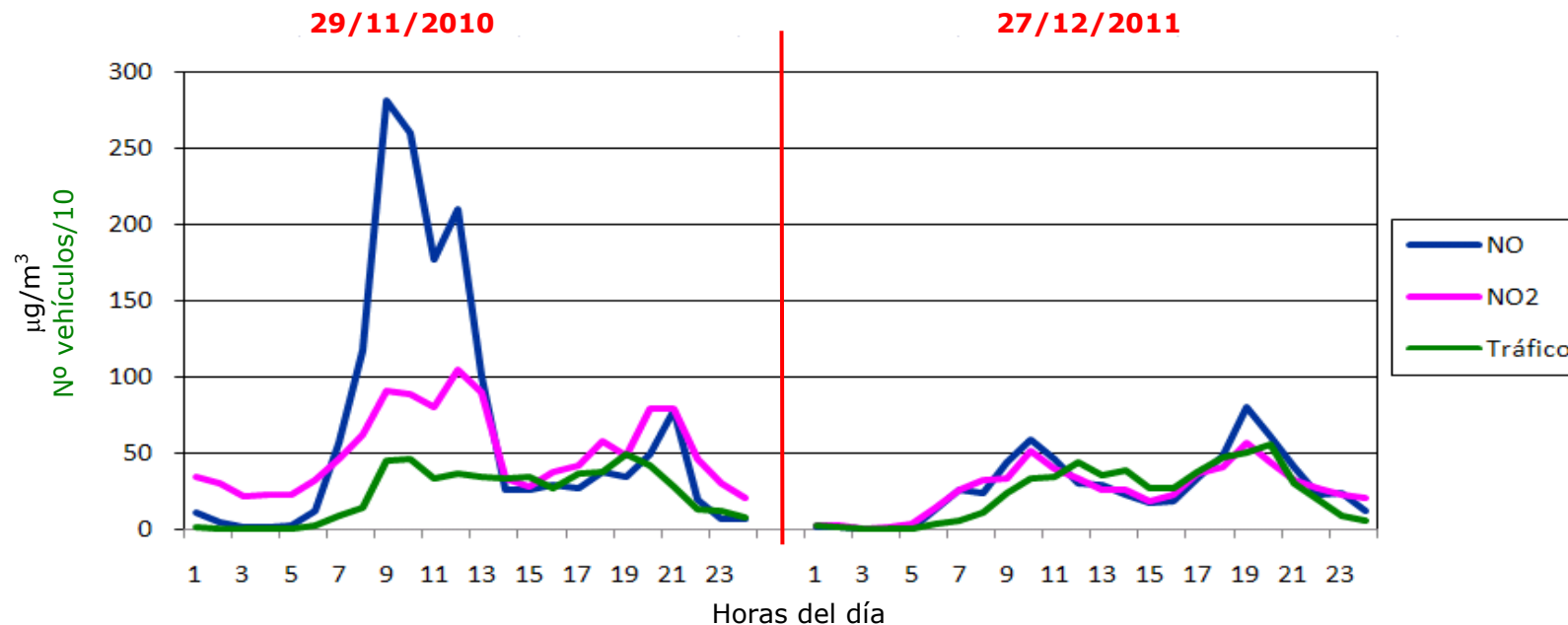
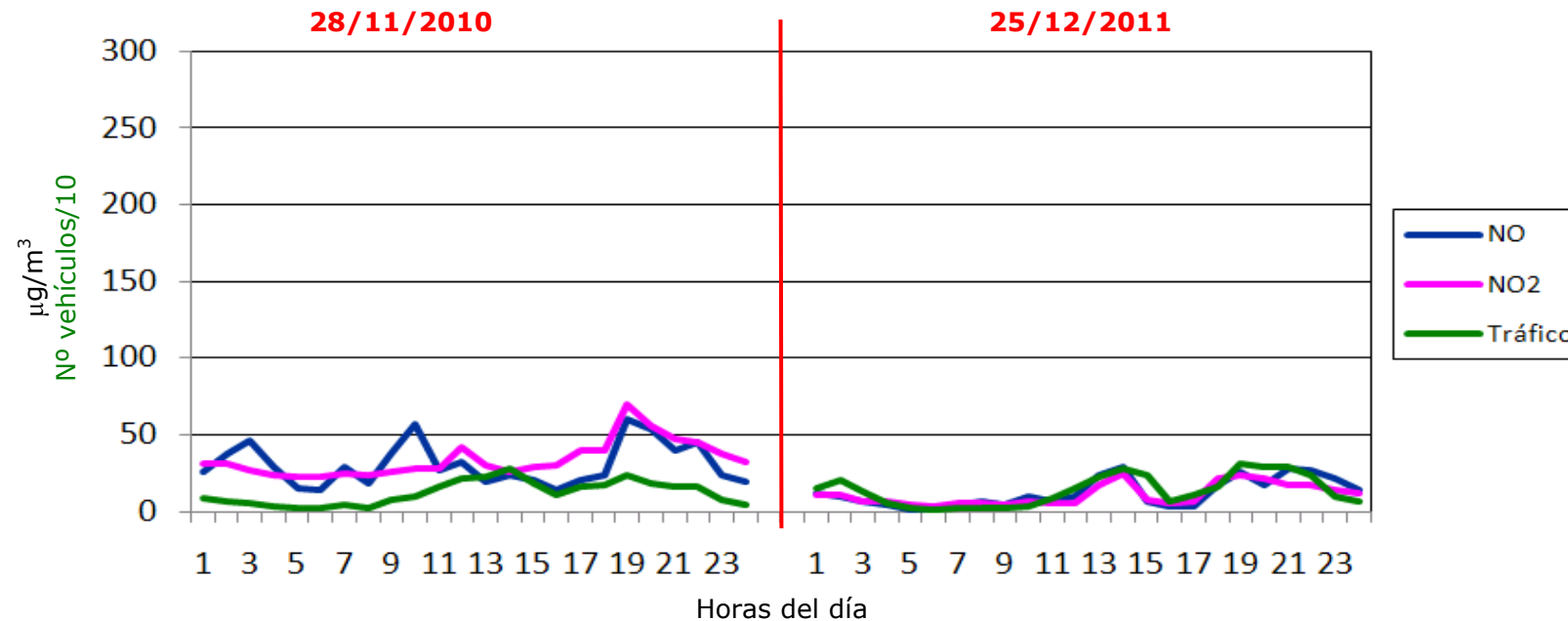


Figura 17. Variación en los niveles de NO y NO<sub>2</sub> sin Noxer y con Noxer durante un día nublado de invierno.

### **CASO 18**

Todos los resultados obtenidos durante la campaña 4 se han obtenido bajo condiciones de bajo índice de radiación, es decir, días nublados de invierno. Tal y como sucede en el caso anterior y en otros posteriores, el siguiente caso presenta una purificación en el nivel de NO<sub>2</sub> mayor al esperado.

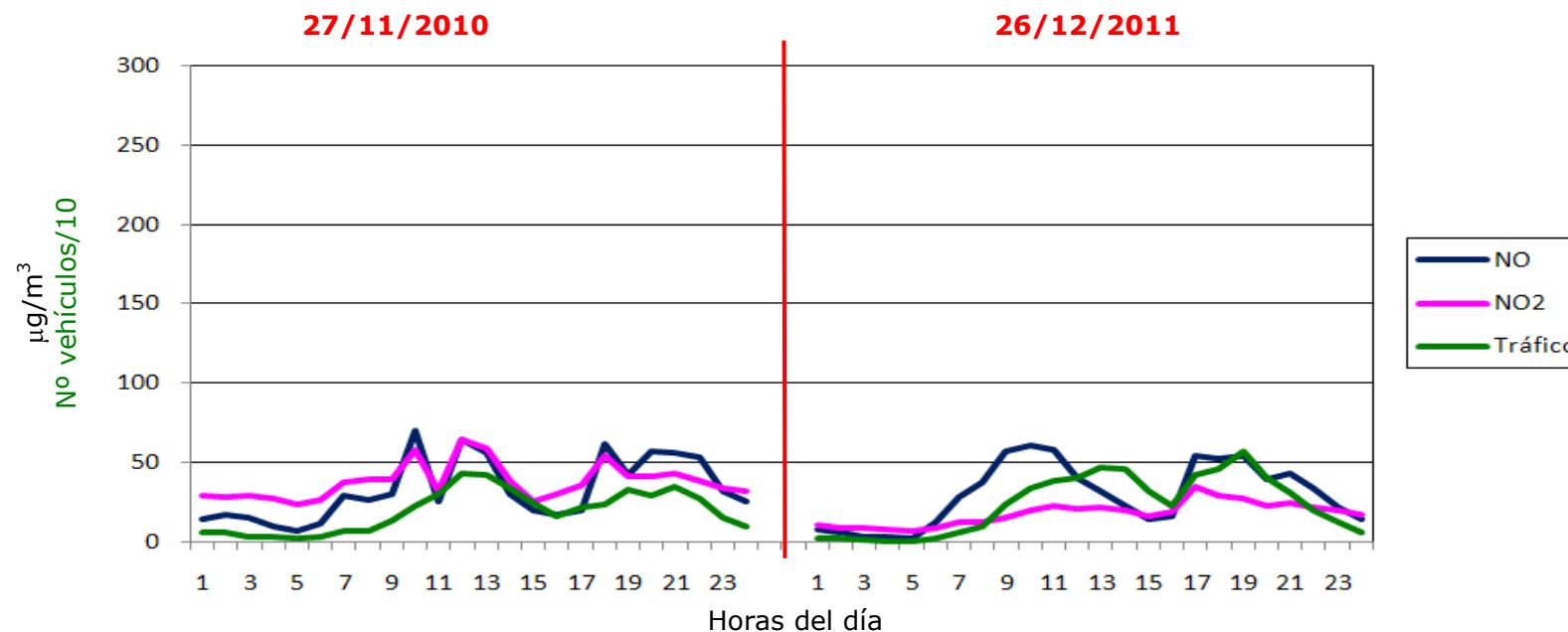
Los días seleccionados para este caso son el 29/11/10 y el 14/06/11. El día del período posterior a la aplicación del Noxer se registra una radiación de 93 W/m<sup>2</sup> y una IMD de 3274 vehículos, 391 vehículos más que el día seleccionado para el período previo a la actuación. Los índices de descontaminación registrados son del 46% para el NO y del 64% para el NO<sub>2</sub>.



**Figura 18. Variación en los niveles de NO y NO<sub>2</sub> sin Noxer y con Noxer durante un día nublado de invierno.**

### **CASO 19**

Los días seleccionados para este caso son el 27/11/10 y el 26/12/11. El día del período posterior a la aplicación del Noxer se registra una radiación de 93 W/m<sup>2</sup> y una IMD de 5629 vehículos, 1040 vehículos más que el día seleccionado para el período previo a la actuación. Los índices de descontaminación registrados son del 10% para el NO y del 53% para el NO<sub>2</sub>.



**Figura 19. Variación en los niveles de NO y NO<sub>2</sub> sin Noxer y con Noxer durante un día nublado de invierno.**



## CASO 20

Los días seleccionados para este caso son el 30/11/10 y el 19/12/11. El día del período posterior a la aplicación del Noxer se registra una radiación de  $35 \text{ W/m}^2$  y una IMD de 8871 vehículos, 3880 vehículos más que el día seleccionado para el período previo a la actuación. Los índices de descontaminación registrados son del 7% para el NO y del 33% para el  $\text{NO}_2$ . Al igual que en el caso anterior, el bajo porcentaje de descontaminación del NO se debe a la diferencia en la intensidad de tráfico entre ambos días y, tal y como se ha observado en casos anteriores, la purificación en el nivel de  $\text{NO}_2$  es mayor al esperado. Por otro lado, los 2 máximos observados durante el 19/12/2011 se deben a la ausencia de radiación durante esos instantes, al contrario de lo que sucede durante las horas centrales del día con una intensidad de tráfico similar.

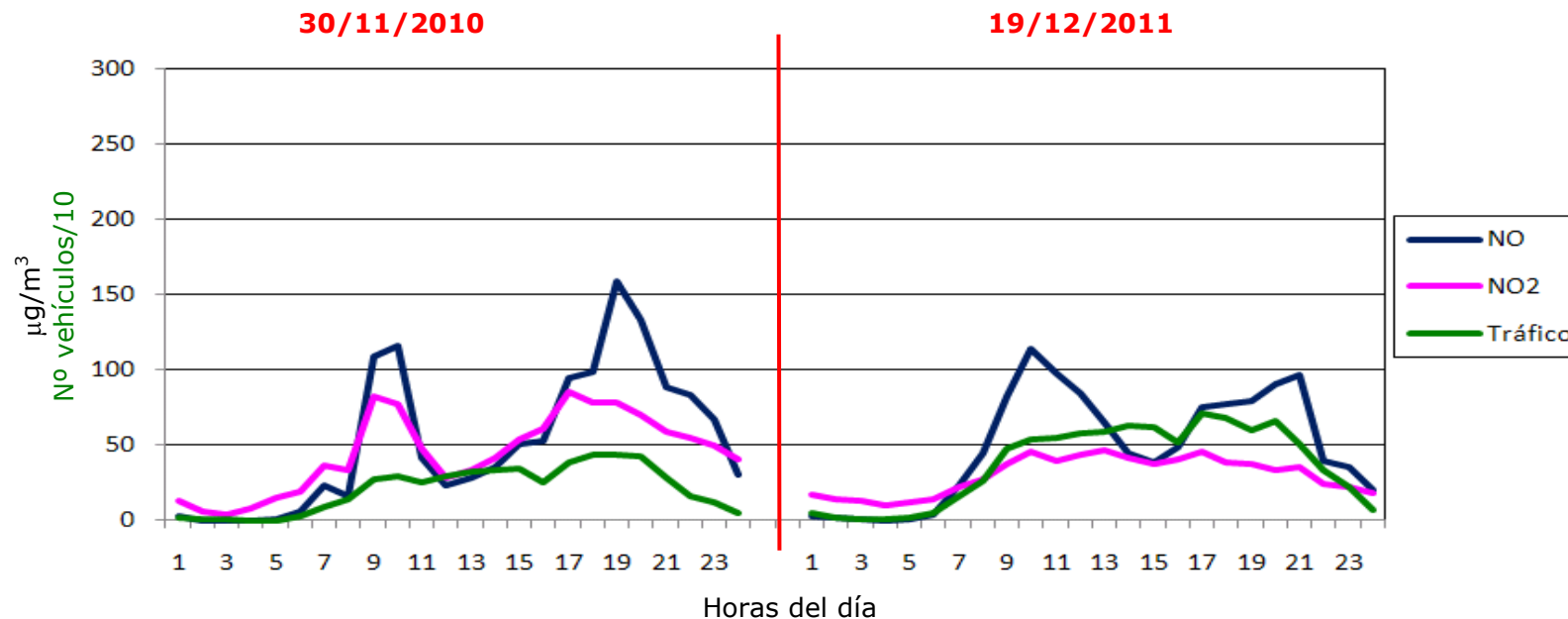
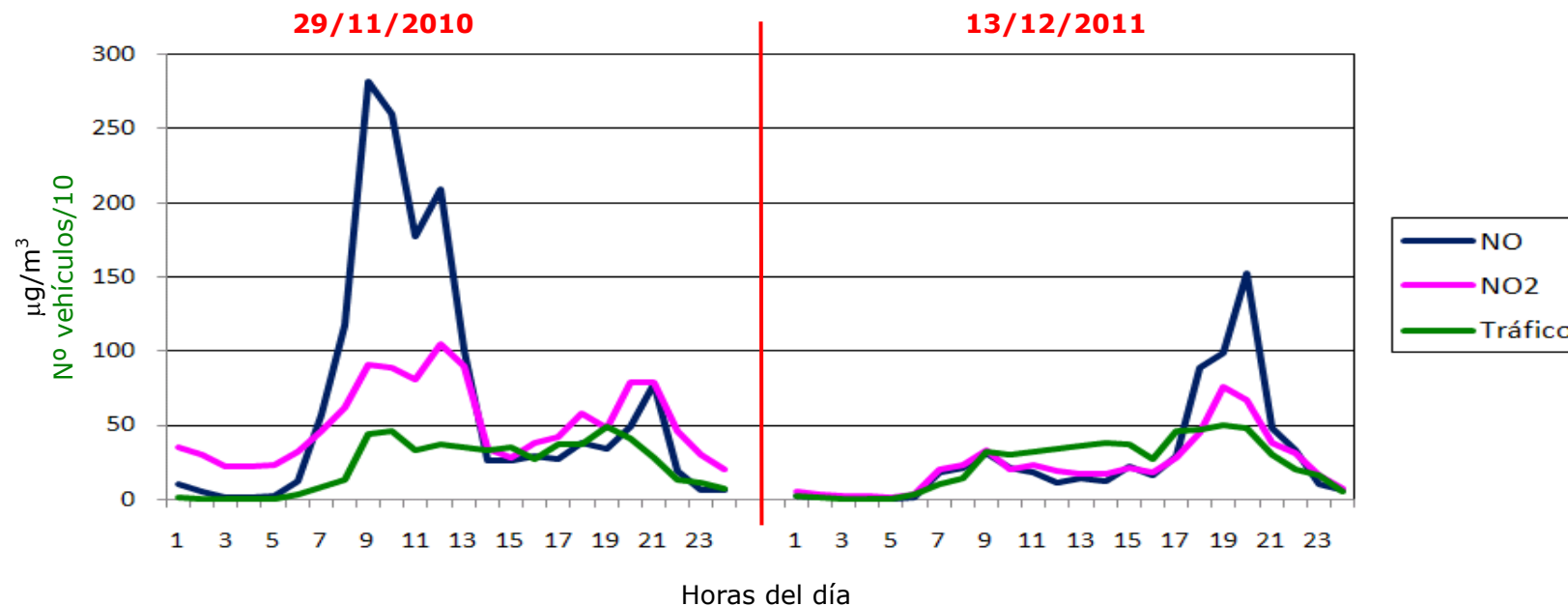


Figura 20. Variación en los niveles de NO y  $\text{NO}_2$  sin Noxer y con Noxer durante un día nublado de invierno.

### **CASO 21**

Los días seleccionados para este caso son el 29/11/10 y el 13/12/11. El día del período posterior a la aplicación del Noxer se registra una radiación de  $44 \text{ W/m}^2$  y una IMD de 5648 vehículos, 2090 vehículos más que el día seleccionado para el período previo a la actuación. Los índices de descontaminación registrados son del 58% para el NO y del 56% para el  $\text{NO}_2$ .



**Figura 21. Variación en los niveles de NO y NO<sub>2</sub> sin Noxer y con Noxer durante un día nublado de invierno.**

**Calidad del aire en el municipio de Durango**

**Proyecto ECOBIDE**

**ANEXO IV. Muestreo del NO<sub>2</sub>**

A continuación se presentan los resultados obtenidos en los muestreos de NO<sub>2</sub> realizados mediante captadores pasivos. Cabe recordar que dicha metodología requiere de períodos de muestreo de 2 semanas, por lo que no es posible conocer las variaciones de concentración sucedidas durante el período de control, se trata de resultados promediados. Esta metodología se ha utilizado tanto para la comparativa de resultados obtenidos antes y después de la actuación de mejora, como para realizar la comparativa simultanea de dos zonas cercanas, una con Noxer y la otra sin Noxer.

### Puntos de control



Figura 1. Detalle de la situación de los puntos de control en Montebideo etorbidea.

### Resultados

		Comparativa antes y después del asfaltado				
		Antes	Después			
		Campaña 1 23/11/10	Campaña 2 29/03/11	Campaña 3 12/04/11	Campaña 4 14/06/11	Campaña 5 13/12/11
Punto 1	0,4m	67,3	68,6	49,3	56,7	73,3
	2m	65,5	61,3	42,4	47,7	66,9
Punto 2	0,4m	59,9	48,5	32,4	32,4	45,5
	2m	51,0	43,5	31,8	27,9	44,8
Punto 3*	0,4m	53,2	42,0	28,4	37,1	54,6
	2m	46,9	38,0	25,5	33,0	45,9

		Control simultáneo	
		Punto 4 Sin Noxer	Punto 5 Con Noxer
Campaña 1 21/02/11	0,4m	47,3	52,1
	2m	41,7	50,1
Campaña 2 07/03/11	0,4m	35,9	44,4
	2m	36,7	39,6
Campaña 3 14/06/11	0,4m	32,5	42,4
	2m	28,7	33,2
Campaña 4 13/12/11	0,4m	43,8	52,4
	2m	44,0	46,9

- En el punto 3 no se aplica Noxer. Estos resultados no pueden emplearse en todos los cálculos por encontrarse condicionados a un mayor tráfico durante la campaña 1.
- NOTA: Las fechas presentadas indican el día de inicio de las campañas de muestreo.

Tabla I. Resultados del muestreo de NO<sub>2</sub>.

En la siguiente Tabla II se presentan las diferencias de concentración encontradas entre las dos alturas a las que se ha muestreado, de lo que se concluye que, en líneas generales, el nivel de NO<sub>2</sub> es un 10% inferior a 2m de altura que en superficie, lo cual demuestra la existencia de una dispersión vertical.

Los resultados se presentan de forma porcentual y para su cálculo se han tomado como referencia los resultados obtenidos a 0,4m. De este modo el valor presentado se refiere al "porcentaje de NO<sub>2</sub> menor encontrado a 2m respecto a la concentración en superficie".

	Comparativa antes y después del asfaltado				
	Campaña 1	Campaña 2	Campaña 3	Campaña 4	Campaña 5
Punto 1	2,7%	10,6%	14,0%	15,9%	8,7%
Punto 2	14,9%	10,3%	1,9%	13,9%	1,5%
Punto 3	11,8%	9,5%	10,2%	11,1%	15,9
Temperatura	5,6°C	17,2°C	15,3°C	19,7°C	9,9
IMD	4369	5220	4345	5232	6763

**Tabla II. Diferencias de concentración de NO<sub>2</sub> en altura.**

	Control simultáneo	
	Sin Noxer	Con Noxer
C1	11,8%	3,8%
C2	-2,2%	10,8%
C3	11,7%	21,7%
C4	-0,5%	10,5%

Finalmente, se presentan las diferencias porcentuales obtenidas entre los resultados de antes y después de la actuación, y la zona sin Noxer y con Noxer. En este caso, para el cálculo de porcentajes se toman como referencia los resultados obtenidos antes de la actuación o sin Noxer, ya que se espera que sean superiores a los obtenidos con Noxer.

		Comparativa antes y después del asfaltado			
		Para C2	Para C3	Para C4	Para C5
Punto 1	0,4m	-1,9%	26,8%	15,8%	-8,9%
	2m	6,4%	35,3%	27,2%	-2,1%
Punto 2	0,4m	19,0%	45,9%	45,9%	24,0%
	2m	14,7%	60,4%	45,3%	12,2%

**Tabla III. Porcentajes de descontaminación para los niveles de NO<sub>2</sub>.**

	Control simultáneo	
	0,4m	2m
C1	-10,1%	-20,1%
C2	-23,7%	-7,9%
C3	-30,5%	-19,2%
C4	-19,6%	-6,6%

La comparativa realizada con datos obtenidos antes y después de la actuación pone de manifiesto la existencia de una reducción en los niveles de contaminación del NO<sub>2</sub> en el punto 2. No obstante, se obtienen resultados contradictorios en el punto 1, con reducciones negativas, si bien parecen deberse a las mayores intensidades de tráfico registradas durante las campañas posteriores a la actuación. En líneas generales, estos resultados vienen a confirmar la interpretación realizada mediante registros obtenidos en tiempo real.

En cuanto al control simultáneo, no se observa reducción alguna, lo cual parece deberse al menor confinamiento y mayor exposición a los vientos en la zona sin Noxer. Este factor favorecería la descontaminación, superando el efecto del Noxer.

**Calidad del aire en el municipio de Durango**

**Proyecto ECOBIDE**

**ANEXO V. Control sobre el material particulado**



Uno de los objetivos de partida del presente estudio ha sido determinar los cambios producidos en los niveles del material particulado a consecuencia de la aplicación del Noxer. El análisis de resultados consiste en la comparación entre los resultados obtenidos en Montebideo y la estación de San Roque.

	Fecha	Montebideo						San Roque	
		l/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	Nº vehículos	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>1</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>
ANTES_C1	23/11/2010	3,4	37	4819	25	17	13	24	15
	24/11/2010	1,3	58	4846	35	23	18	29	18
	26/11/2010	3,2	58	5035	20	13	10	17	12
	27/11/2010	2,5	49	4589	16	12	10	13	9
	28/11/2010	1	88	2883	12	9	7	14	8
	29/11/2010	0	87	5439	26	11	8	18	10
	30/11/2010	0	42	4991	19	10	8	18	10
	02/12/2010	1,3	50	5255	23	19	15	23	15
	<b>Promedio</b>	-	<b>59</b>	<b>4732</b>	<b>22</b>	<b>14</b>	<b>11</b>	<b>20</b>	<b>12</b>
	DESPUÉS_C2	25/03/2011	0	193	5676	26	12	8	26
26/03/2011		0	161	5274	35	15	8	31	12
30/03/2011		4,8	81*	5366	20	13	9	31	12
01/04/2011		0	312	5749	35	14	9	37	13
02/04/2011		0	182	4955	27	13	8	25	11
03/04/2011		4,8	42	3179	9	7	5	9	5
26/04/2011		0	80	4882	44	30	23	57	17
28/04/2011		0	215	4851	51	38	31	18	11
02/05/2011		2,4	278	5577	27	18	14	37	14
03/05/2011		4,3	63	5556	30	19	16	40	16
04/05/2011		0	257	5614	27	17	13	42	17
05/05/2011		0,5	253	5535	29	17	13	42	18
06/05/2011		0,1	149	5939	28	15	10	39	20
07/05/2011		1,4	128	5238	11	6	4	18	9
08/05/2011		0	294	3496	10	5	2	13	4
09/05/2011		0	310	5781	19	10	6	33	n.d.
10/05/2011		0	311	5535	23	13	8	33	n.d.
11/05/2011		0,1	259	5483	29	18	12	60	21
13/05/2011		0,6	280	6069	29	17	11	48	20
14/05/2011	2,7	76	5234	17	10	6	19	7	
15/05/2011	0,5	138	3236	12	7	4	15	8	
<b>Promedio</b>	-	<b>192</b>	<b>5044</b>	<b>25</b>	<b>15</b>	<b>11</b>	<b>32</b>	<b>13</b>	

Considerando las características del producto, así como el conocimiento que Eurovia ha adquirido en experiencias similares, se esperaba un aumento de los niveles PM<sub>10</sub> provocados por el desgaste del pavimento, el cual puede llegar a ser importante durante el período siguiente a la aplicación del Noxer.

Los resultados obtenidos presentan una mayor concentración del PM<sub>10</sub> en Montebideo durante el período previo a la aplicación del Noxer, lo cual es de esperar teniendo en cuenta que se trata de un punto a baja altura y pegado a una carretera donde la resuspensión de partículas es importante. Sin embargo, durante el período posterior al asfaltado, los niveles son superiores en la estación de San Roque, lo cual pone de manifiesto la existencia de fuentes contaminantes externos que no permite continuar con el análisis.

	Fecha	Montebideo						San Roque	
		I/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	Nº vehículos	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>1</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>
DESPUÉS_C3	14/06/11	0,0	340	5445	16	9	6	32	11
	15/06/11	0,0	179	5385	14	8	5	29	9
	16/06/11	1,0	113	5930	16	9	6	22	9
	17/06/11	0,0	245	5878	19	10	6	28	9
	18/06/11	0,1	238	4611	13	8	4	15	5
	19/06/11	0,0	357	3462	10	6	4	15	7
	20/06/11	0,0	348	5408	20	11	7	30	11
	21/06/11	0,2	285	5278	21	13	9	33	13
	22/06/11	0,5	60	5492	14	9	6	23	8
	23/06/11	0,0	152	5346	24	16	11	35	16
	24/06/11	0,0	345	5533	41	28	19	35	19
	25/06/11	0,0	356	4161	10	6	5	19	9
	26/06/11	0,0	334	3389	16	8	6	30	14
	27/06/11	1,3	277	5187	32	15	11	31	9
	<b>Promedio</b>	-	<b>259</b>	<b>5036</b>	<b>19</b>	<b>11</b>	<b>8</b>	<b>27</b>	<b>11</b>
DESPUÉS_C4	13/12/2011	0	44	5648	11	6	3	8	4
	14/12/2011	1,2	42	5723	16	9	6	21	8
	15/12/2011	0,3	71	5797	15	6	3	9	4
	19/12/2011	2,1	35	6311	24	19	16	27	14
	20/12/2011	1,2	22	5586	22	17	13	21	13
	21/12/2011	0,8	18	4563	6	5	3	11	5
	22/12/2011	0	25	8871	13	10	7	22	10
	23/12/2011	0,1	68	9511	29	17	12	27	12
	24/12/2011	0,4	51	7703	15	11	7	15	8
	25/12/2011	0	93	6490	17	11	7	12	7
	26/12/2011	0	93	8188	20	12	9	24	11
	27/12/2011	0	94	6459	26	13	10	28	14
	28/12/2011	2,3	55	3274	34	21	16	31	19
	29/12/2011	6,3	48	5629	11	9	6	18	7
	30/12/2011	0,2	31	5481	16	12	9	16	10
	31/12/2011	0	35	5994	16	12	9	14	12
	01/01/2012	0	76	5115	12	8	6	12	9
	02/01/2012	6,9	58	4784	10	7	5	20	8
	03/01/2012	0	96	3458	29	15	10	22	12
	04/01/2012	1,2	28	2128	17	12	9	21	10
	05/01/2012	1,4	71	3198	30	20	13	26	13
06/01/2012	0,4	24	3475	10	7	4	15	7	
07/01/2012	0	47	3346	22	14	8	15	9	
08/01/2012	0	38	3281	10	7	5	8	6	
09/01/2012	0	29	1559	16	8	5	19	8	
<b>Promedio</b>	-	<b>52</b>	<b>4817</b>	<b>18</b>	<b>12</b>	<b>8</b>	<b>18</b>	<b>10</b>	

**Calidad del aire en el municipio de Durango**

**Proyecto ECOBIDE**

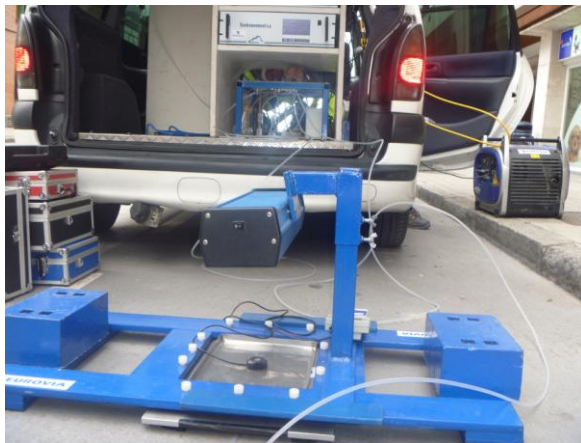
**ANEXO VI. Ensayo de verificación**

Transcurrido el período de asentamiento del asfalto, el 30 de junio de 2011 Eurovia realizó los pertinentes ensayos de verificación del potencial de descontaminación del Noxer. El hecho de tener que realizar los ensayos sobre el Noxer requirió de la colaboración de la oficina técnica municipal, la cual se encargó de reservar plazas de aparcamiento en 3 zonas de Montebideo etorbidea. Las pruebas fueron ejecutadas por personal y equipamiento técnico de Eurovia.

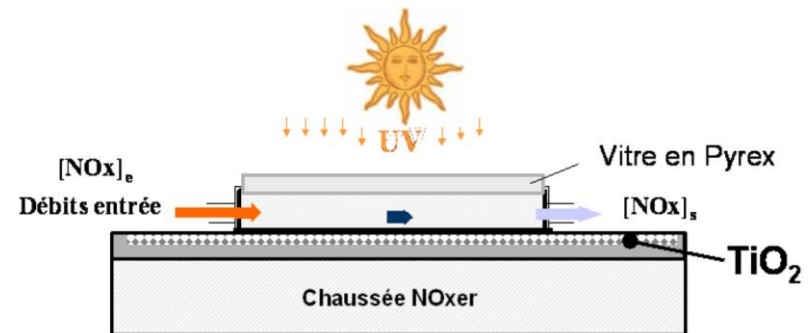
### **Principio del ensayo**

Los ensayos se han realizado mediante un dispositivo de control en línea, desarrollado por Eurovia y destinado a cuantificar la eficacia de materiales descontaminantes. El procedimiento utilizado está normalizado y se basa en las normas de ensayo ISO 22 197-1 y XP B44-011, de forma que el dispositivo permite mostrar simple y eficazmente la aptitud intrínseca de los revestimientos para eliminar los óxidos de nitrógeno.

El ensayo consiste en hacer pasar una concentración conocida de  $\text{NO}_x$  por una cámara de aire aislada del exterior y en contacto con la superficie del asfalto Noxer, de forma que la concentración de contaminante se cuantifica a la salida. La diferencia de concentración entre la entrada y la salida de la cámara permite cuantificar la eficacia en el potencial de descontaminación. Asimismo, mediante una lámpara ultravioleta (UV) y un medidor de radiación se controla la radiación en dicha cámara, lo cual permite determinar las diferencias en la eficacia del Noxer en función de la radiación. Los valores de radiación ultravioleta utilizados en el ensayo (365 nm) corresponden a valores medios registrados en la superficie terrestre durante días nublados ( $0,5 \text{ mW/cm}^2$ ), con nubes y claros ( $1,5 \text{ mW/cm}^2$ ), y despejados ( $2,2 \text{ mW/cm}^2$ ).



**Figura 1: Equipamiento de ensayo.**



**Figura 2. Detalle del procedimiento de ensayo.**

El analizador utilizado para el ensayo sigue el protocolo de medida descrito en la norma ISO 7996 (análisis por quimioluminiscencia) y el conjunto del sistema de ensayo se integra en un vehículo, de forma que resulta muy cómodo de transportar.

Los resultados obtenidos se expresan en miligramos de óxidos de nitrógeno eliminados por metro cuadrado de superficie y por hora ( $\text{mg}/\text{m}^2/\text{h}$ ). El valor final se cálculo mediante la siguiente formula, de forma que representa la eficacia intrínseca de la calzada Noxer:

$$\text{Eliminación de NO}_x = \text{Eliminación NO} + \text{Eliminación NO}_2 = \frac{D_e \cdot 60 \cdot 10}{1000 \cdot S} \cdot \left[ \frac{MM_{NO}}{V_m} ([NO]_e - [NO]_s) + \frac{MM_{NO_2}}{V_m} ([NO_2]_e - [NO_2]_s) \right]$$

Donde:

- S: Superficie descontaminante ( $\text{cm}^2$ )
- $MM_x$ : masa molar de X ( $\text{g}/\text{mol}$ )
- $[X]_e$ : concentración de X a la entrada en ppb
- $D_e$ : Caudal de gas ( $\text{l}/\text{min}$ )
- $V_m$ : volumen molar ( $\text{l}/\text{mol}$ )
- $[X]_s$ : concentración de X a la salida en ppb.

## Resultados

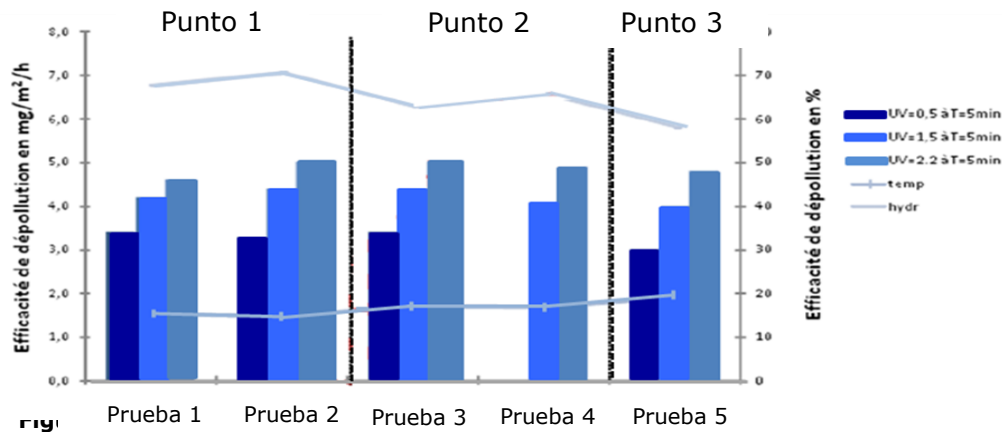
En la siguiente figura se muestran los puntos de control seleccionados en Montebideo etorbidea y las principales condiciones bajo las que se realizaron los ensayos. Cabe mencionar que los puntos de ensayo fueron previamente limpiados con un cepillo por la acumulación de polvo y otras impurezas propias de zonas de aparcamiento.



- Condiciones meteorológicas: nubes y claros con alguna bruma a primera hora de la mañana.
- Caudal de entrada:  $3 \text{ l}/\text{m} = 0,18 \text{ m}^3/\text{h}$
- Superficie descontaminante:  $20 \times 10 \text{ cm} = 0,02 \text{ m}^2$
- Composición del gas: aire con 993 ppb de  $\text{NO}_x$

Figura 3. Zonas de control seleccionadas y principales condiciones de ensayo.

Las condiciones meteorológicas del día de ensayo no fueron las más apropiadas, ya que se recomienda realizarlo con el asfalto completamente seco. No obstante, los resultados obtenidos verifican el potencial de descontaminación del Noxer, por lo que no será necesario repetirlo.



	Punto 1		Punto 2		Punto 3					
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5					
	%	ppb	%	ppb	%	ppb				
[NO <sub>x</sub> ] a la entrada	971,9	971,8	903,1	888,6	975,9					
UV = 0,5	28,9	700,3	28,1	698,8	28,9	641,8	25,3	729,0		
UV = 1,5	36,4	618,5	37,3	609,6	40,8	535,0	38,3	547,9	33,7	647,1
UV = 2,2	39,0	592,4	42,5	559,1	46,6	482,4	45,9	480,3	40,7	579,0

**Tabla I. Resultados porcentuales del ensayo.**

Los resultados obtenidos son satisfactorios con valores que oscilan entre 2,9 y 4,8 mg/m<sup>2</sup>/h, porcentualmente unas reducciones entre el 25 y el 47 %. Considerando las conclusiones alcanzadas en el estudio, las menores tasas de purificación registradas durante estos ensayos se relacionan con la ausencia del efecto de factores ambientales externos como los fenómenos dispersivos.

## **Conclusiones**

El ensayo de verificación realizado el 30 de junio de 2011 garantiza la efectividad del Noxer para la descontaminación de los óxidos de nitrógeno en Montebideo etorbidea. Los resultados de purificación superiores a los 4 mg/m<sup>2</sup>/h con una radiación de 1,5 mW/cm<sup>2</sup> se consideran válidos. Asimismo, el control bajo diferentes condiciones de radiación ultravioleta demuestra un mayor potencial de descontaminación a medida que aumenta la radiación.

## **Calidad del aire en el municipio de Durango**

### **Proyecto ECOBIDE**

#### **ANEXO VII. Estudio de las variaciones en los niveles de NO<sub>x</sub>**



Con el objetivo de ampliar conocimientos y entender el comportamiento presentado por los óxidos de nitrógeno durante las campañas de control, se han estudiado las reacciones asociadas a su formación y transformación. Las reacciones producidas en la atmósfera se determinan por múltiples factores ambientales difíciles de contemplar en su totalidad, por lo que la siguiente interpretación se centra en la radiación y el ozono (O<sub>3</sub>), principales agentes asociados a los NO<sub>x</sub> junto con el nitrógeno (N<sub>2</sub>), oxígeno (O<sub>2</sub>), agua (H<sub>2</sub>O), iones derivados y la temperatura.

La figura 1 presenta las principales reacciones en las que participan los óxidos de nitrógeno de la atmósfera:

Reacciones favorecidas por el Noxer:	Reacciones fotolíticas:	Reacciones endotérmicas (calor →):	Reacción favorecida por el ozono:
$\text{NO} + \text{O}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$	$\text{NO}_2 \rightarrow \text{NO} + \text{O}^{2-}$	$\text{N}_2 + \text{O}_2 \leftrightarrow 2 \text{NO}$	$\text{NO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2$
$\text{NO}_2 + \text{OH}^- \rightarrow \text{NO}_3^- + \text{H}^+$	$\text{NO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{NO} + \text{O}_3$	$2 \text{NO} + \text{O}_2 \leftrightarrow 2 \text{NO}_2$	
	$\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow \text{H}^+ + \text{O}_2^- + \text{OH}^-$		

Figura 1. Reacciones asociadas a los NO<sub>x</sub>.

Para la siguiente interpretación se han seleccionado resultados obtenidos en tiempo real. La variación en los niveles de contaminantes y parámetros ambientales como la radiación o número de vehículos resultan determinantes para conocer las reacciones producidas, lo cual permite evaluar la influencia del Noxer sobre los niveles de contaminación.

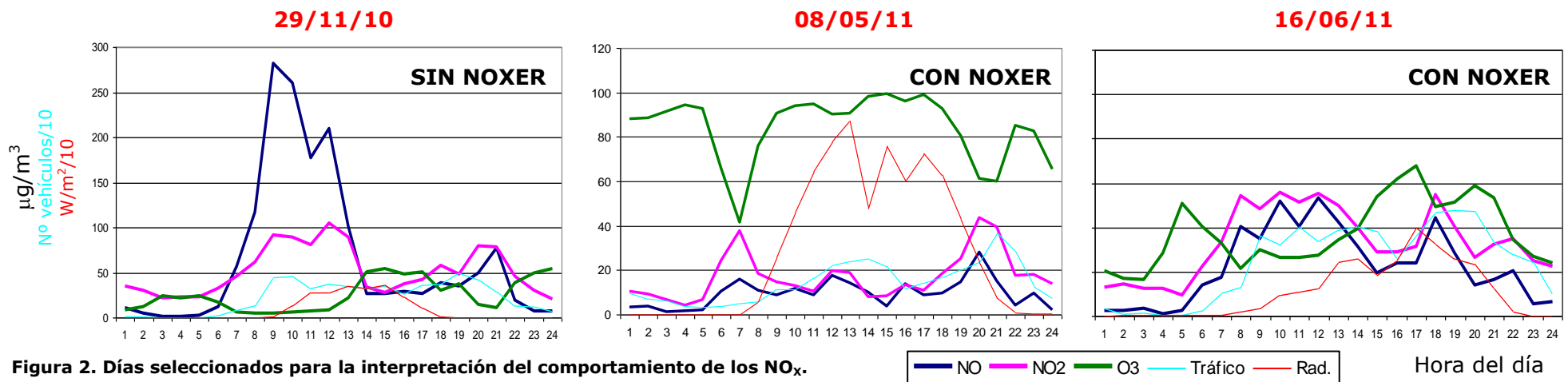


Figura 2. Días seleccionados para la interpretación del comportamiento de los NO<sub>x</sub>.

Los mayores picos de contaminación se producen con el incremento del número de vehículos y antes de que salga o se ponga el sol. Bajo estas situaciones de oscuridad, el Noxer no es activo y la dispersión vertical es mínima, especialmente en invierno, mientras que en presencia de radiación solar, los niveles de contaminación bajan considerablemente a pesar de los aumentos en la densidad de tráfico.

### Comportamiento de los NO<sub>x</sub> en presencia de radiación solar

En ausencia del Noxer, la radiación solar favorece la dispersión vertical y las reacciones fotolíticas, situación bajo la cual disminuye la concentración de NO<sub>2</sub> pero aumentan las de NO y O<sub>3</sub> mediante la siguiente reacción;  $\text{NO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{NO} + \text{O}_3$ . Por otro lado, cabe mencionar el equilibrio al que se llega en los niveles de NO y NO<sub>2</sub> durante períodos de relativa calma en cuanto a emisiones. Bajo esta situación de equilibrio, los niveles de NO<sub>2</sub> resultan ligeramente favorecidos por el dominio de la reacción  $2 \text{NO} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{NO}_2$  frente a la reacción fotolítica.

Una vez aplicado el Noxer, además de las transformaciones anteriores, las dos reacciones fotocatalizadas por el óxido de titanio producen una disminución general de los NO<sub>x</sub> y se identifica un cambio significativo en el comportamiento del NO. La transformación directa del NO en nitrato ( $\text{NO} + \text{O}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$ ), contaminante primario de las emisiones de tráfico, evita que se produzcan picos durante las situaciones con alta intensidad de tráfico y de esta forma, se alcanza antes el equilibrio  $\text{NO} \leftrightarrow \text{NO}_2$ .

### Comportamiento de los NO<sub>x</sub> en ausencia de radiación solar

Bajo esta situación y durante los momentos de alta intensidad de tráfico, los niveles de NO<sub>x</sub> pueden presentar 2 comportamientos condicionados por un tercer contaminante, el ozono (O<sub>3</sub>):

- **En ausencia de ozono** se producen picos de NO, superando los niveles de NO<sub>2</sub> al tratarse del contaminante primario emitido por los vehículos. Posteriormente, el descenso del tráfico junto con la radiación provocan el que ambos compuestos alcancen el equilibrio en sus concentraciones. Esta situación se registra durante el 29 de noviembre de 2011.
- **En presencia de ozono** se produce la reacción  $\text{NO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2$ , de forma que los niveles de NO<sub>2</sub> presentan incrementos directamente proporcionales a la disminución de ozono. Esta transformación finaliza con el alcance del equilibrio mencionado.

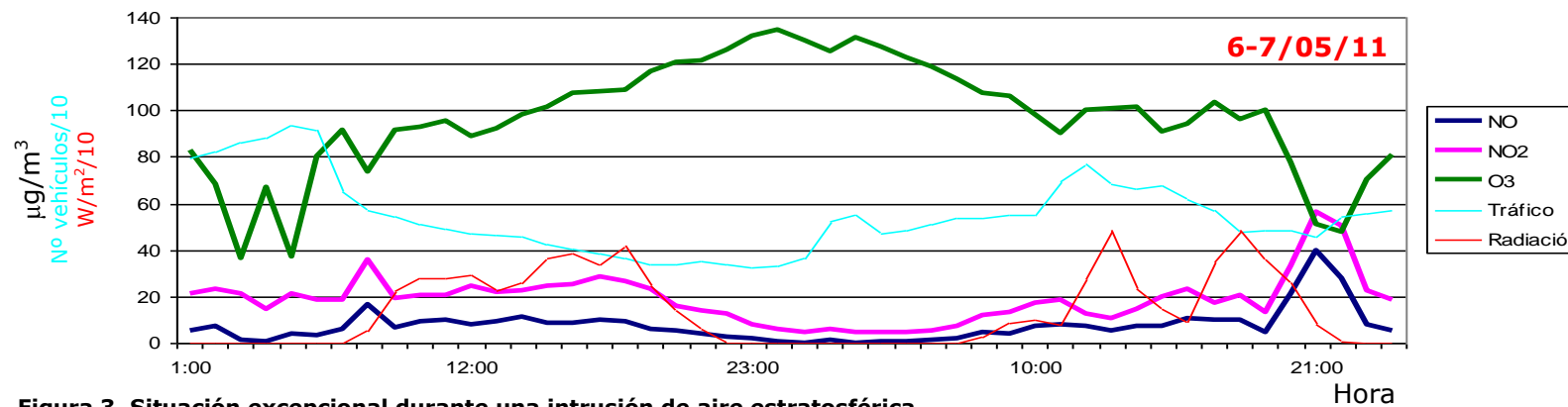


Figura 3. Situación excepcional durante una intrusión de aire estratosférico.

La noche del 6 al 7 de mayo se observa un incremento en los niveles de ozono debido, probablemente, a una intrusión de aire desde la estratosfera. Bajo esta situación de excepción no se registran picos de contaminación.



Persona de contacto: Aitor Larrucea Abad  
[alarrucea@durango-udala.net](mailto:alarrucea@durango-udala.net)  
[agenda21@durango-udala.net](mailto:agenda21@durango-udala.net)

**DURANGOKO UDALA – AYTO. DE DURANGO**  
Barrenkalea 17, 48200  
Tlf: 94 603 00 11  
Fax: 94 603 00 24  
<http://www.durango-udala.net/agenda21>