

CALIDAD DEL AIRE EN EUSKADI: MAPAS DE NO₂ Y EXPOSICIÓN DE LA POBLACIÓN

Amaia Albizuri-Churruca

Environment and Systems, S.A., C/ Luis Briñas nº 9 1º izda. 48013-Bilbao
amaia.albizuri@environmentandsystems.com

RESUMEN

Hoy en día hay un interés cada vez mayor en conocer aspectos relacionados con nuestra calidad de vida y en particular aquellos que afectan directamente a nuestra salud.

La calidad del aire que respiramos es uno de ellos y es por ello que las autoridades competentes llevan a cabo una evaluación de los niveles que se registran en sus respectivos territorios. A pesar de ello, la información no siempre llega de una forma clara y precisa a los ciudadanos.

El objetivo de este trabajo es elaborar unos mapas, con un tamaño de celda de 1x1 Km², para estimar los niveles a los que estamos sometidos en relación a las medidas en ambiente de NO₂, utilizando los datos horarios registrados en la Red de Vigilancia de la Calidad del Aire de Euskadi en el año 2014.

En primer lugar, se evalúa la situación en relación al límite anual establecido en la normativa para la protección de la salud y la distribución del conjunto de la población afectada en los distintos rangos de valores, en función también de la edad. En segundo lugar, se pone a punto un esquema para elaborar el mapa del ICA para NO₂ e incluirlo como un producto operativo en las tareas de los gestores de la Red, con el objetivo de informar al ciudadano del estado de la calidad del aire, día a día, en cualquier punto del territorio.

La metodología empleada pertenece al campo de la geoestadística y se basa en la utilización de un GIS y la combinación de técnicas estadísticas de análisis como la Regresión y el Kriging.

Palabras clave: NO₂ (dióxido de nitrógeno); protección de la salud; ICA (Índice de Calidad del Aire); GIS (Geographic Information System); geoestadística; Kriging.

ABSTRACT

Today there is a growing interest in knowing aspects of our quality of life, particularly those that directly affect our health.

The quality of the air we breathe is one of them and that is why the competent authorities carry out an assessment of the levels recorded in their respective territories. Despite, this information does not always reach to the citizens in a clear and precise way.

The aim of this work is to draw some maps, with a 1x1 Km² spatial resolution, to estimate the levels we support in relation to the ambient measures of NO₂, using the hourly data recorded in the Monitoring Network in Euskadi over 2014.

First, the situation is assessed in relation to the annual limit for the protection of health, in accordance with the regulations, and the distribution of all affected in different population ranges of values, depending also on age. Secondly, a scheme is designed for mapping the ICA for NO₂ to include it as a product within the routine tasks of the managers of the Network, with the aim of informing the citizens of the state of air quality, on a daily basis, anywhere in the territory.

The methodology used is in the field of geostatistics and is based on the use of a GIS and the combination and statistical techniques such as Regression and Kriging.

Keywords: NO₂ (nitrogen dioxide); health protection; AQI (Air Quality Index); GIS (Geographic Information System); geostatistics; Kriging.

1. INTRODUCCION

Esta presentación se centra en los resultados obtenidos para NO₂, si bien los trabajos llevados a cabo incluyen también O₃ (ozono) y PM₁₀, (partículas de diámetro inferior a 10 micras) con los mismos objetivos.

La Organización Mundial de la Salud en su último informe técnico publicado en 2013 (WHO, 2013), alerta del efecto sobre la salud que puede tener el NO₂ y no sólo en concentraciones a las que nos exponemos en periodos largos de tiempo (años), sino que valores altos que nos afectan de forma puntual (horas) pueden ser perjudiciales para nuestro organismo.

Además de su efecto directo, indirectamente el NO₂ es un precursor de otros contaminantes como el O₃ y las partículas cuyos efectos en la salud también están documentados.

La principal fuente de NO₂ es el tráfico rodado y es en puntos cercanos a las carreteras donde se registran los valores más altos. Las ciudades en general, tienen una calidad del aire peor debido a la densidad del tráfico en ellas. Los valores más altos se registran en el período de otoño-invierno, debido por un lado a unas condiciones de dispersión más pobres (vientos flojos e inversiones de temperatura que limitan la capa de mezcla) y por otro lado a que las reacciones fotoquímicas en las que se transforma y favorece la formación de O₃ no tienen tanto peso en este período como en primavera-verano, cuando es uno de los principales precursores de ozono. Las concentraciones más altas de O₃ se registran en primavera-verano y no se registran en los puntos en los que las concentraciones de NO₂ son mayores.

Por tanto, las ciudades sufren una calidad del aire peor en relación al NO₂ (sobre todo en otoño-invierno) y en las zonas rurales la calidad del aire es peor en relación al O₃ (sobre todo en primavera-verano).

La norma de referencia aplicable a la gestión y evaluación de la calidad del aire es el Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire. En él se establecen los objetivos a alcanzar para los principales contaminantes presentes en el aire ambiente y se regula la gestión de la calidad del aire en términos de cómo hay que medir, qué criterios de calidad efectuar, los diferentes métodos de evaluación, que información hay que suministrar a la población y las actuaciones en caso de sobrepasar determinados valores de concentración.

Para NO₂ los límites establecidos en la norma se refieren a la media anual registrada y a los promedios horarios (Tabla 1). Para estos últimos el objetivo de calidad del aire a cumplir para la protección de la salud establece que no debe sobrepasarse un valor de 200 µg/m³ de promedio horario más de 18 veces al año.

Contaminante	Promedio	Valor límite	Umbral de Alerta	Fecha de cumplimiento
NO ₂	Horario	200 µg/m ³ (18 superaciones como máximo al año)	400 µg/m ³ (en 3 horas)	01/01/2010
	Anual	40 µg/m ³		01/01/2010

Tabla 1. Valores objetivo de calidad del aire para NO₂ (RD 102/2011).

Hoy en día el avance de las herramientas asociadas a los GIS hace que la información de variables cuya dimensión espacial es importante se presente a través de visores que facilitan su interpretación y así ocurre con la calidad del aire. En la mayoría de los sitios WEB pertenecientes a los Gestores de las diferentes Redes, los datos medidos en las estaciones se representan mediante símbolos sobre el punto donde se ubican éstas.

Las diferencias entre los niveles en unos sitios y en otros son grandes, dependiendo del tipo (ubicación) de la estación de medida. Las medidas son puntuales, la densidad y la distribución espacial irregular y por otro lado, la legislación exige evaluar la calidad del aire en todo el territorio.

A nivel de España el Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA) presenta los datos de las estaciones en tiempo real y la evaluación anual del cumplimiento de los objetivos de calidad del aire a

través de su Geoportal¹, aunque en este último caso la extensión espacial de los datos medidos en las estaciones se hace asociando el valor máximo registrado en cada zona (previa división del territorio atendiendo a criterios diversos) a toda la zona.

El European Topic Centre on Air Pollution and Climate Change Mitigation (ETC-ACM), consorcio de varios Institutos europeos, publica a petición de la Agencia Europea de Medio Ambiente, unos informes anuales en los que se incluyen los mapas con la distribución espacial (resolución de 10 Km) de la evaluación normativa para ozono y partículas a partir de las medidas en las diferentes redes nacionales, el último de ellos, para las medidas del año 2012, en el año 2015 (Horálek et al., 2015).

El desarrollo metodológico para elaborar estos mapas comenzó en 2005 y en 2007 se publicó la revisión y la evaluación de los métodos aplicables (Horálek et al., 2007).

En los últimos años, empiezan a aparecer trabajos, sobre todo para evaluar el impacto en la salud, donde se tratan los datos medidos en las redes de vigilancia de la calidad del aire, para poder ser utilizados en combinación con otros dentro de un sistema integrado de representación espacial (Reis et al., 2012).

Por tanto, la evaluación de la calidad del aire en cualquier punto del territorio con una resolución adecuada no es lo habitual, y menos aún informar diariamente de los niveles calculados de una forma objetiva, a partir de las medidas efectuadas por los equipos instalados en una Red.

El presente trabajo comenzó a gestarse por la demanda de información por parte de los Ayuntamientos de Euskadi, sobre los niveles de contaminación a los que se expone la población, de forma continua y con una resolución espacial y temporal suficiente.

2. ÁMBITO DE APLICACIÓN

La competencia en la evaluación y gestión de la calidad del aire en Euskadi recae sobre el Gobierno Vasco. La principal herramienta utilizada para la evaluación es la Red de Vigilancia de la Calidad del Aire (RVCA) compuesta por una serie de estaciones de medida y se informa en tiempo real en su WEB² acerca de los datos registrados en ellas.

Anualmente, se elabora un resumen donde se incluye la evaluación acerca del cumplimiento de los objetivos de calidad del aire establecidos en la normativa.

Con el objetivo de hacer esta información más clara, precisa y cercana, los datos de partida analizados han sido los valores horarios registrados en la RVCA de Euskadi en el año 2014. En este documento se presentan los trabajos y resultados obtenidos para el NO₂ medido en 41 estaciones (en total son 45, pero en algunas el porcentaje de datos existente fue bajo y otras han sido descartadas por no adecuarse al objetivo perseguido). Los valores registrados se encuentran por debajo de los límites (Gobierno Vasco, 2014).

3. METODOLOGÍA

Existen varias alternativas, en cuanto a métodos y software disponible, para elaborar mapas espaciales de variables medioambientales mediante GIS. En el año 2007, el Institute for Environment and Sustainability Joint Research Centre de la Comisión Europea publicó una guía donde se discutían los diferentes métodos y se animaba a trabajar con ellos al constatar que existe un desfase entre el avance de las herramientas disponibles y su uso (Hengl, 2007 y 2009).

¹ <http://www.magrama.gob.es/es/cartografia-y-sig/ide/geoportal/> (último acceso 7/4/2016)

² <http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.eus/r49-3614/es/aa17aCalidadAireWar/estacion/mapa?locale=es> (último acceso 7/4/2016)

La metodología empleada en este trabajo para la elaboración de los mapas es la Regresión + Kriging de los residuos; básicamente la misma que utiliza el ETC-ACM para Europa pero con una mayor resolución (1x1 Km²). Los trabajos llevados a cabo han consistido en la búsqueda y selección de variables auxiliares, herramientas de software, selección de los mejores modelos, parametrización,... para implementarla a los datos registrados en la RVCA de Euskadi, con una densidad alta de estaciones de medida, pero con una distribución espacial muy dispar.

Se han empleado varios programas debido a que las carencias de uno eran suplidas por otro. Principalmente el modelo de Regresión ha sido ajustado mediante SAGA v2.1.2 (System for Automated Geoscientific Analyses) desarrollado en 2001, libre y de código abierto, por el grupo que actualmente se emplaza en el departamento de Geografía de la Universidad de Hamburgo.

La mayor dificultad para construir un modelo de Regresión es la búsqueda variables auxiliares que expliquen una proporción de varianza apreciable de la variable de interés. Además para la elaboración del mapa, el formato de las variables auxiliares debe ser de 'grid' o malla con la mayor resolución posible.

Para la interpolación mediante el algoritmo de Kriging se ha trabajado con el programa Surfer® v10 de Golden Software por su mayor abanico de posibilidades y mejor funcionamiento a la hora de ajustar el variograma experimental al modelo teórico.

De forma general un variograma (Figura 1) presenta las siguientes características:

- el efecto 'nugget' puede ser distinto de cero incluso a h=0, asociándose a la incertidumbre de la medida
- el 'sill' que se corresponde con la varianza global
- el rango que es la distancia a la que la que la semivarianza ya no sigue creciendo y el 'rango de influencia' que es la distancia a la que la semivarianza es igual a un 95% del 'sill'.

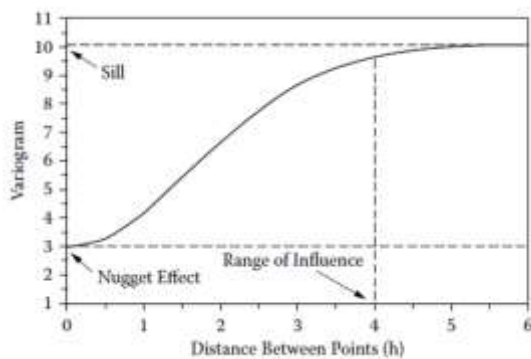


Figura 1. Componentes de un variograma genérico. Fuente: Chapter 9: Spatial-Data Analysis. STATISTICS FOR ENVIRONMENTAL SCIENCE AND MANAGEMENT (Bryan F. J. Mainly - Chapman & Hall 2009)

Finalmente la integración de las diferentes capas y la visualización del resultado final se lleva a cabo con QGIS v2.8.1, Sistema de Información Geográfica libre y de código abierto (que a su vez incorpora muchas de las funcionalidades de SAGA).

Para la evaluación anual del cumplimiento de los objetivos de calidad del aire para la protección de la salud establecidos para NO₂, se ha seleccionado como indicador el estadístico correspondiente al P99,8 de los valores horarios. Si el valor del P99, 8 supera los 200 µg/m³ se estaría sobrepasando las 18 superaciones anuales permitidas).

La única variable auxiliar que se ha adecuado o lo exigido y ha resultado ser influyente para construir el modelo de Regresión para NO₂ ha sido la densidad de población 'Gridded Population of the World, Version 3 (GPWv3): Population Density Grid' obtenida en el Center for International Earth Science Information Network (CIESIN)

de la Universidad de Columbia³ y publicada por el Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC) perteneciente a la NASA. La resolución de la capa raster es de 2,5 minutos de arco (aproximadamente 5 Km). Los archivos han sido adaptados al sistema de referencia de coordenadas utilizado (ETRS89 UTM 30N) y al área de trabajo seleccionada (150x120 Km²).

Tras ajustar el modelo de Regresión se interpolan los residuos ajustando el variograma experimental de éstos a una función predeterminada (esférica, exponencial, lineal,...) y que ofrezca buenos resultados a la hora de aplicar el algoritmo de Kriging Ordinario de forma Global.

El resultado final es la suma de las dos mallas con una resolución de 1x1 Km². Sería equivalente a utilizar el algoritmo de Kriging Universal (donde se introducen las variables auxiliares previo ajuste de los coeficientes del método de interpolación Kriging) pero el hacerlo por pasos permite una mayor interacción y conocimiento del grado de ajuste de las diferentes partes.

Además de la estimación espacial de los indicadores anuales del cumplimiento de los objetivos de calidad del aire establecidos, se ha planteado también adaptar la metodología para las labores de gestión diarias como la elaboración de los Índices de Calidad del Aire (ICA).

La aplicación del método en este caso consiste en ajustar el modelo de Regresión a la media del parámetro utilizado como ICA diario y llevar a cabo la interpolación de los residuos día a día utilizando para ello el ajuste del variograma de la media de los residuos diarios. Cuando la variable a estimar presenta ciclos anuales marcados el modelo de Regresión se ajusta por separado para las distintas épocas del año. En el caso del NO₂ el parámetro asociado al ICA es el valor horario máximo diario y el ajuste se hace para dos periodos: invernal (otoño-invierno) y estival (primavera-verano).

El producto diario (mapa con la distribución espacial del ICA) es muy sencillo de generar, por lo que garantiza la operatividad del mismo. No requiere el ajuste de los parámetros de los modelos ya que estos se ajustan previamente. En este caso, es esencial que la metodología utilizada contemple el ajuste por separado del modelo de Regresión y del Kriging. El modelo de Regresión y el variograma se ajustan previamente utilizando una base histórica de datos y diariamente únicamente es necesario calcular la capa de la interpolación de los residuos mediante Kriging utilizando el variograma ajustado y combinarla con la capa de la Regresión ya estimada para la media.

Sería necesario ir actualizando y/o aumentando la base histórica de datos para dar cuenta del cambio de los patrones y/o del diseño de la Red con una periodicidad a establecer según el caso.

4. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En primer lugar se presentan los resultados de la estimación de la distribución espacial del P99,8 anual de los valores horarios de NO₂ para el año 2014.

Los resultados obtenidos para el modelo de Regresión explican casi el 50% de la varianza de las medidas aunque el error estándar es todavía apreciable (Figura 1.A). Los resultados finales del modelo de Regresión + Kriging mejoran mucho la estimación (Figura 1.B).

La pendiente de la línea de ajuste del modelo de Regresión+ Kriging final es ligeramente inferior a uno por lo que los valores más altos son subestimados, tal y como se aprecia en el mapa (Figura 2).

Los valores más altos se registran en el centro urbano de las tres capitales, más extensamente y con estimaciones del P99,8 ligeramente más altos en el centro de Bilbao y Donostia (entre 110 y 115 µg/m³) que en el centro de Gasteiz (donde se alcanzan los 100 µg/m³).

³ <http://sedac.ciesin.columbia.edu/data/set/gpw-v3-population-density> (último acceso 7/4/2016)

Los puntos que se sitúan en las estaciones de medida representan las desviaciones respecto a las medidas, el color blanco indican desviaciones de $\pm 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que los colores azules son valores subestimados y los naranjas sobreestimados. Podemos comprobar que las estaciones con un tráfico más intenso en sus cercanías en las tres capitales son las que presentan unas desviaciones mayores en la estimación (subestimadas). Sin embargo, puede aceptarse que la calidad del aire asignada a la celda de trabajo ($1 \times 1 \text{ Km}^2$) pueda estar mejor representada por la estimación (en la que participan también las medidas en estaciones cercanas no afectadas tan directamente por el tráfico) que por la medida puntual.

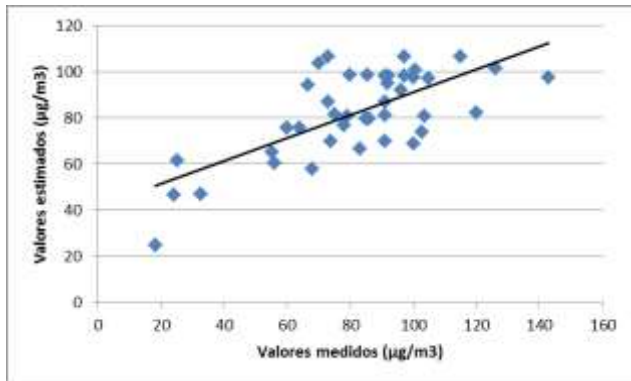


Figura 1. A Ajuste del modelo de Regresión lineal para el P99,8 anual.

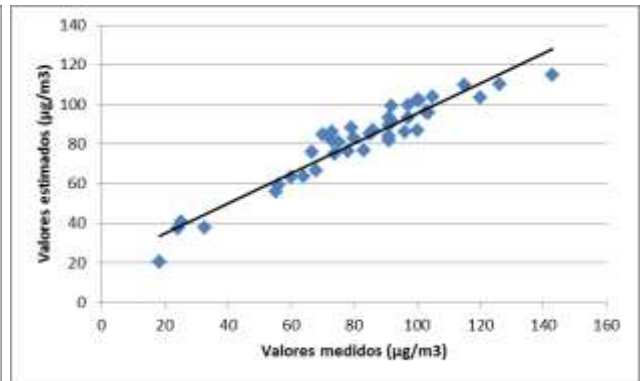


Figura 1. B Ajuste del modelo de Regresión + Kriging para el P99,8 anual.

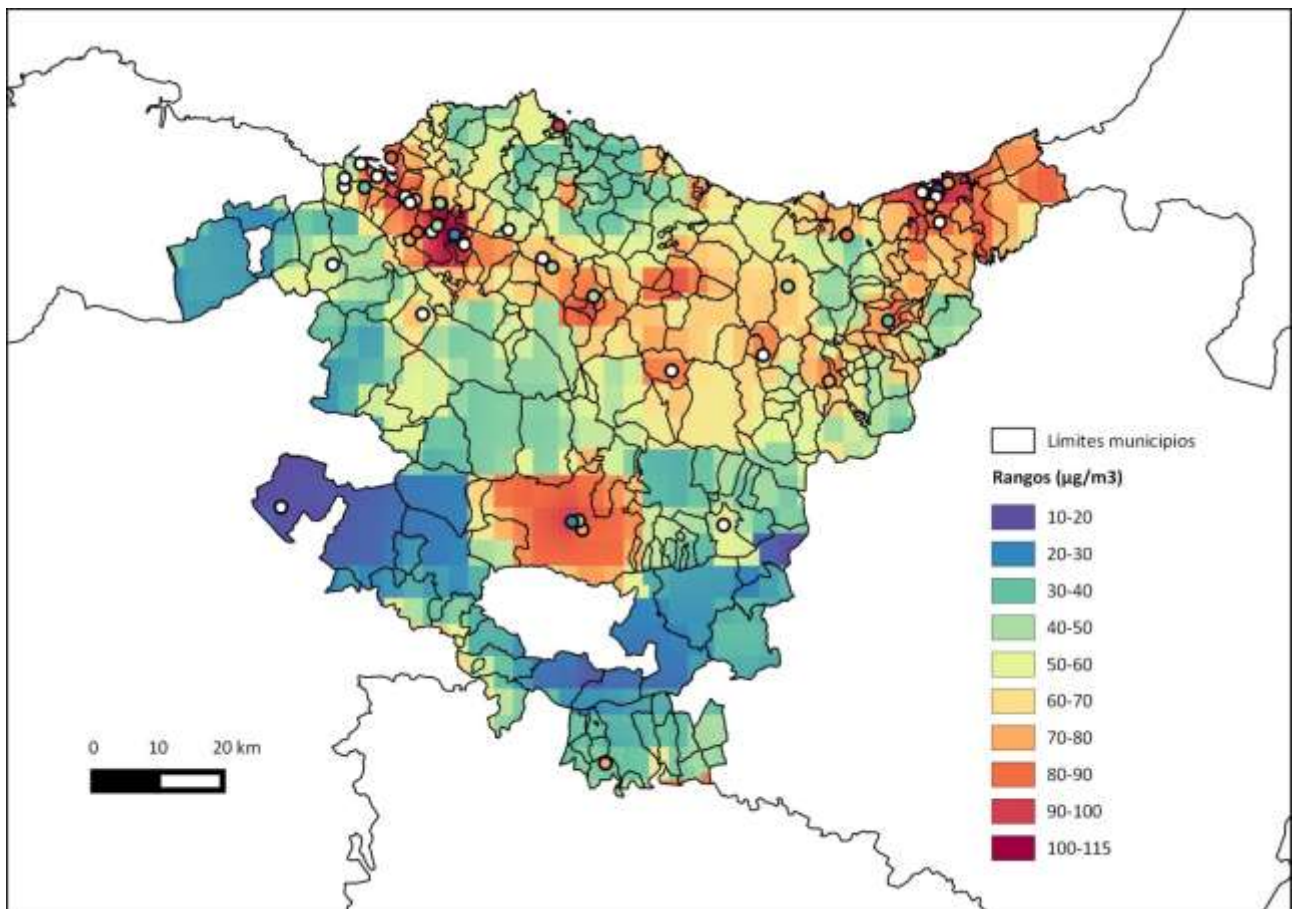


Figura 2. Estimación del P99,8 anual (año 2014) de los promedios horarios de NO₂.

Conociendo la distribución de la población por edades a partir del padrón municipal de habitantes (a fecha 01/01/2014) y desagregada también en celdas de 1x1 Km² disponible recientemente (fecha de creación 30/4/2015) en la Web de Geoeuskadi⁴, se obtiene mediante un cálculo sencillo el nº de habitantes expuestos a cada uno de los rangos de la escala seleccionada para el P99,8 (Figura 3).

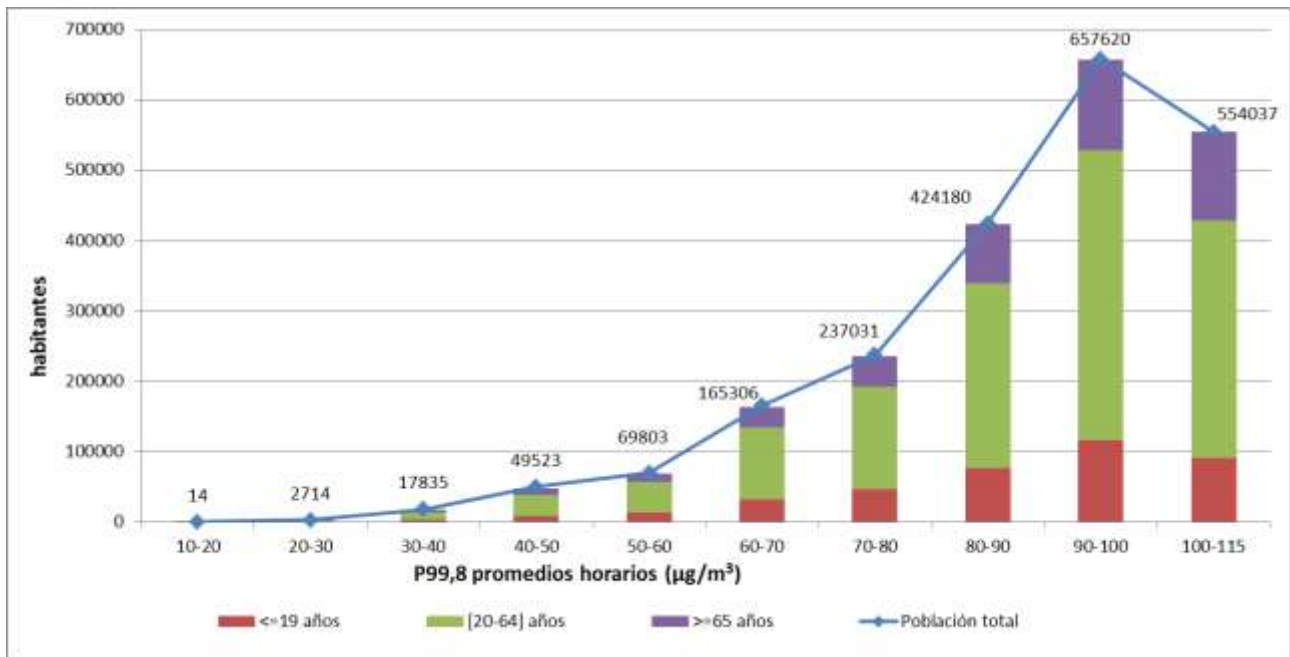


Figura 3. Exposición de la población de Euskadi a los niveles de NO₂ estimados (año 2014).

Como cabía esperar dada la relación entre las concentraciones de NO₂ registradas y la densidad de población, más de la mitad de la población (un 55,63%) está sometida a los niveles más altos del P99,8 anual, por encima de 90 µg/m³ pero sin superar los 115 µg/m³, cuando el límite establecido para la protección de la salud y asociado al P99,8 es de 200 µg/m³.

Los mapas diarios del ICA para NO₂ se elaboran a partir de los máximos horarios registrados en las estaciones. La interpolación se realiza con los residuos, es decir con las diferencias entre éstos y los valores resultantes del modelo de Regresión ajustado a la media de los máximos diarios del período invernal, utilizando el método de Kriging con el modelo de variograma ajustado a la media de los residuos diarios del periodo invernal (Figura 4).

El modelo de variograma ajustado a los valores medios presenta un valor distinto de cero para el parámetro que responde al efecto 'nugget', indicativo de que el método de interpolación no va a ser exacto. Esto es debido a la alta variabilidad de los datos medidos en estaciones cercanas y se explica por los diferentes tipos de estación (emplazamientos) que se tienen en distancias relativamente cortas. Los valores estimados están suavizados subestimando los valores más altos y sobreestimando los valores más bajos.

El resultado final es la suma de las dos capas: grid del modelo de Regresión y grid del resultado del Kriging con una resolución de 1x1 Km².

⁴ <http://www.geo.euskadi.eus/geograficos/malla-de-poblacion-de-1-km-x-1km/s69-geodir/es/> (último acceso 7/4/2016)

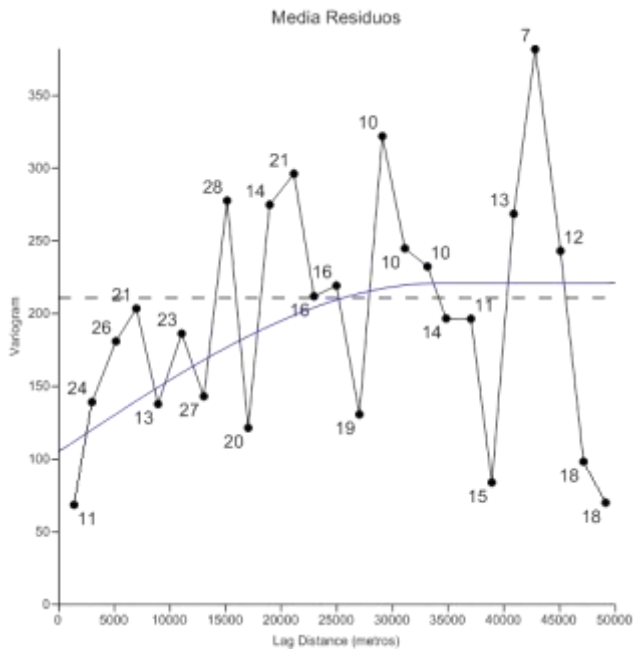


Figura 4. Ajuste del variograma experimental de la media de los residuos diarios de NO₂ (periodo invernal) al modelo esférico.

A modo de ejemplo se presenta el mapa del día 10 de marzo (Figura 5), uno de los días con valores más altos.

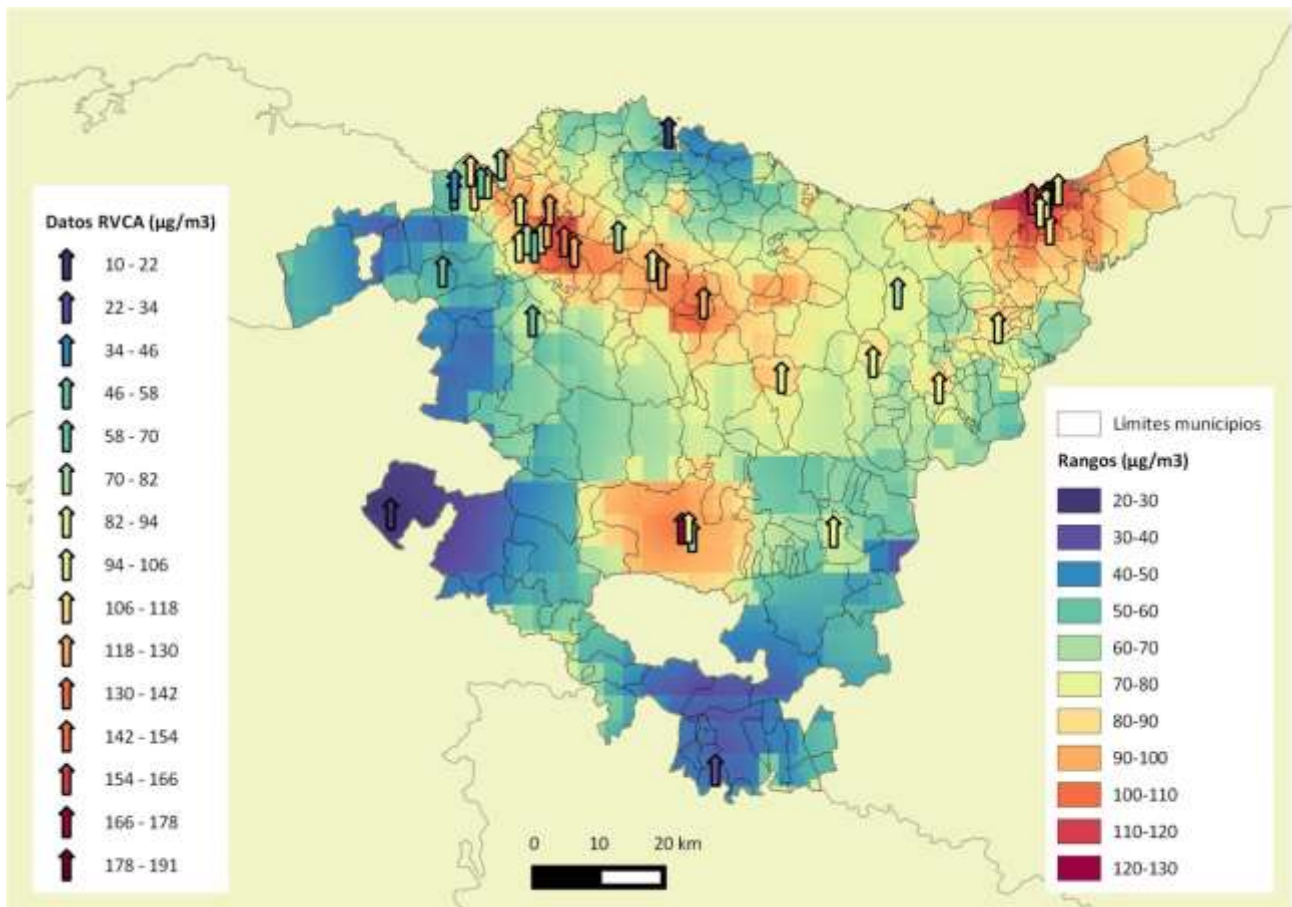


Figura 5. Medidas y estimación del máximo valor horarios de NO₂ para el día 10 de marzo de 2014.

La distribución espacial de las concentraciones es diferente a lo observado en el mapa del P99,8 anual. Los valores más altos se registran en las estaciones de Easo (191 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de máxima horaria) y Avda. de Tolosa (166 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) en Donostia. En Gasteiz también se registra un máximo elevado en la estación de Avda. Gasteiz (170 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) pero las demás estaciones de Gasteiz miden valores bastante más bajos. En Bilbao tampoco se alcanzan valores tan altos, destacando los 143 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ registrados en la estación de Parque Europa. Los valores estimados no son tan altos pero hay que tener en cuenta que son valores estimados para un área de 1x1 Km² y precisamente los valores registrados en las estaciones orientadas al tráfico se contraponen en algunos casos con estaciones cercanas en zonas más residenciales. Una buena práctica es la presentación conjunta tanto de los datos medidos en las estaciones como de los valores estimados para las celdas.

La utilización de un GIS para presentar los resultados facilita el análisis detallado de los mismos. Por ejemplo se puede visualizar los valores estimados por municipios y así en la Figura 7 se presentan los cálculos resultantes en las celdas incluidas en el municipio de Bilbao (cuando celdas adyacentes tienen el mismo valor se unen) y los valores máximos puntuales registrados en las estaciones cercanas.



Figura 6. Estimación del máximo valor horario de NO₂ en Bilbao y medidas en las estaciones de la Red para el día 10 de marzo de 2014.

5. CONCLUSIONES

Se ha puesto a punto el método de Regresión + Kriging para la estimación espacial (1x1 Km²) de los niveles de NO₂ registrados en Euskadi con el objetivo de mejorar la evaluación efectuada a partir de las estaciones fijas de medida y de informar a la población mediante el uso de un GIS.

A partir de las medidas de NO₂, valores horarios registrados a lo largo del año 2014, en la Red de Vigilancia de la Calidad del Aire, se ha calculado y representado en un mapa la distribución espacial del P99,8, estadístico asociado a uno de los límites establecido para la protección de la salud en la normativa aplicable. A partir de los datos estadísticos del padrón municipal se ha asignado el nº de personas expuestas a dichos niveles, desagregadas por edad.

Otra aplicación del método es la posibilidad de elaborar los mapas diarios de los máximos horarios de NO₂, parámetro asociado al Índice de Calidad del Aire establecido, con la misma resolución, mediante un esquema sencillo que facilita su operatividad. Su extensión desde los valores registrados en las estaciones de medida a todo el territorio constituye la parte más novedosa de este trabajo, cumpliendo el objetivo de informar a la población de una forma clara, precisa y más representativa.

En este punto habría que señalar que el método y el esquema de elaborar los mapas diarios están siendo probados y validados este año 2016, siendo los resultados, hasta ahora, satisfactorios. Un aspecto a cuidar es el control de calidad de los datos de partida, máxime cuando son la piedra angular del método.

Al ser un método muy sensible a errores en los datos de entrada, puede a su vez ser muy útil para efectuar ese mismo control de calidad y apreciar desajustes en los equipos u otras causas que puedan afectar a las medidas.

Por otro lado, conviene también ir actualizando la base histórica de datos con la que se han ajustado los modelos, seguir con las tareas de búsqueda de variables auxiliares, con formatos y resoluciones adecuadas, que mejoren los modelos de Regresión múltiple, optimizar los métodos de interpolación (por bloques) y probar otros programas de software (por ejemplo R). Estas tareas deben ser integradas en un proceso de mejora continua.

En la actualidad es necesaria la asimilación de muchas fuentes de información: medidas en estaciones de superficie, medidas desde satélites, modelos de dispersión,... por lo que se hace indispensable tratar las diferentes bases de datos de una forma que puedan compararse y complementarse fácilmente, mediante herramientas como los GIS que pueden ayudarnos a integrarlas y abrir camino a otros estudios.

6. AGRADECIMIENTOS

Agradecer al Servicio de Aire del Gobierno Vasco su interés en la aplicación del método propuesto en las tareas de gestión que le competen.

7. BIBLIOGRAFÍA

World Health Organization (WHO), 2013: "Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project Technical Report", http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0004/193108/REVIHAAP-Final-technical-report-final-version.pdf?ua=1, último acceso 7/4/2016.

Horálek et al., European Topic Centre on Air Pollution and Climate Change Mitigation (ETC/ACM), Technical Paper 2014/4, January 2015: "European air quality maps of PM and ozone for 2012 and their uncertainty", http://acm.eionet.europa.eu/reports/docs/ETCACM_TP_2014_4_AQMMaps2012.pdf, último acceso 7/4/2016.

Horálek et al., European Topic Centre on Air Pollution and Climate Change Mitigation (ETC/ACM), Technical Paper 2006/6, March 2007: "Spatial mapping of air quality for European scale assessment", http://acm.eionet.europa.eu/docs/ETCACM_TechnPaper_2006_6_Spat_AQ.pdf, último acceso 7/4/2016.

Reis et al., 2012: "Methods for the assessment of human health impacts from air pollution based on monitoring data, atmospheric dispersion model results and contextual data in Scotland" International Environmental Modelling and Software Society (iEMSS), 2012 International Congress on Environmental Modelling and Software Managing Resources of a Limited Planet, Sixth Biennial Meeting, Leipzig, Germany R. Seppelt, A.A. Voinov, S. Lange, D. Bankamp (Eds.), http://www.iemss.org/sites/iemss2012//proceedings/B1_1004_Reis_et_al.pdf, último acceso 7/4/2016.

Gobierno Vasco. Departamento de Medio Ambiente y Política Territorial, 2014: "Datos de la red de Control y Vigilancia de la Calidad del Aire de la CAPV", http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.eus/contenidos/informe_estudio/calidad_aire/es_doc/adjuntos/2014.pdf, ultimo acceso 7/4/2016.

Hengl, European Commission - Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability (JRC-IES), September 2007: "A Practical Guide to Geostatistical Mapping of Environmental Variables" http://eussoils.jrc.ec.europa.eu/ESDB_Archive/eussoils_docs/other/EUR22904en.pdf, último acceso 7/4/2016.

Hengl, 2009: "A Practical Guide to Geostatistical Mapping of Environmental Variables", second and extended version, http://spatial-analyst.net/book/system/files/Hengl_2009_GEOSTATE2c1w.pdf, último acceso 7/4/2016.