

# **INFLUENCIA DE LA ALTURA, LA DISTANCIA DE LOS TUBOS A LA CALLE, LA ANCHURA DE LA CALLE, EL TRÁFICO Y LA DENSIDAD DE VEHÍCULOS SOBRE LA CONCENTRACIÓN DE NO<sub>2</sub>**

Roser Torres Altisent

Directores: Nino Künzly y Maria Sala Serra

---

## **RESUMEN**

Durante las primeras décadas del s. XX se contempló un importante aumento de las enfermedades coronarias, este hecho estimuló la investigación sobre las causas de dichas enfermedades. En 1978, y para investigar este fenómeno se inició el estudio REGICOR en el Hospital Josep Trueta de Girona. En el s. XX también se contempló un creciente problema de contaminación de las atmósferas urbanas, esto hizo que diferentes científicos estudiaran las relaciones entre las enfermedades coronarias y la contaminación atmosférica en áreas urbanas (Godish, 1997; Krupa & Legge, 2000; Brook et al., 2004 y Krewski et al., 2004).

El proyecto realizado está situado en el contexto del primer estudio realizado en España que investiga los efectos sobre la salud de la contaminación atmosférica (REGICOR 2000-AIR). En el proyecto se pretende investigar la influencia de diferentes factores (distancia de los tubos a la calle, altura de los tubos, anchura de la calle, tráfico y densidad de tráfico) sobre la contaminación atmosférica de las ciudades de Girona y Salt, con el fin de poder caracterizar lo mejor posible la exposición a contaminación atmosférica. Para este fin se utilizará el NO<sub>2</sub> como marcador de contaminación atmosférica y se seleccionaran varios puntos de muestreo en las dos ciudades donde se pondrán captadores de NO<sub>2</sub> para la medición de dicha contaminación. Después, y mediante un análisis estadístico, se podrá determinar la influencia de los factores en la variación de concentración de NO<sub>2</sub> en el área seleccionada.

**Palabras clave:** contaminación atmosférica, dióxido de nitrógeno, marcador de exposición, regresión lineal, tubo Palmes.

## **RESUM**

### **Influència de l'altura, la distància dels tubs al carrer, l'amplada del carrer, el trànsit i la densitat de trànsit sobre la concentració de NO<sub>2</sub>**

Durant les primeres dècades del s. XX es va observar un important augment de les malalties coronàries, fet va estimular la investigació sobre les causes d'aquestes malalties. Al 1978, y per investigar aquest fenomen es va iniciar l'estudi REGICOR a l'Hospital Josep Trueta de Girona. Durant el s. XX també es va observar un creixent problema de contaminació d'atmosferes urbanes, això va impulsar a diversos científics a estudiar les relacions entre les malalties cardiovasculars i la contaminació atmosfèrica en àrees urbanes (Godish 1997; Krupa & Legge, 2000; Brook et al., 2004 i Krewski et al., 2004).

El projecte que s'ha realitzat se situa en el context del primer estudi realitzat a Espanya que investiga els efectes sobre la salut de la contaminació atmosfèrica (REGICOR 2000-AIR). Al projecte es pretén investigar la influència de diferents factors

(distància dels tubs al carrer, amplada del carrer, trànsit y densitat de trànsit) sobre la contaminació atmosfèrica de les ciutats de Girona i Salt, amb la finalitat de poder caracteritzar el millor possible l'exposició a la contaminació atmosfèrica. Per aconseguir-ho s'utilitzarà el NO<sub>2</sub> com a marcador de contaminació atmosfèrica i es seleccionaran diversos punts de mesura a les dos ciutats on s'instal·laran captadors de NO<sub>2</sub> per poder realitzar la mesura. Després, y mitjançant un anàlisi estadístic, es podrà determinar la influència dels factors en la distribució de la concentració de NO<sub>2</sub> a la zona d'estudi.

**Paraules clau:** contaminació atmosfèrica, diòxid de nitrògen, marcador d'exposició, regressió lineal, tub Palmes.

## ABSTRACT

### **Influence of the height, the width of the street, the traffic and the density of vehicles on the NO<sub>2</sub> concentration**

During the first decades of 20th century has contemplated an important increase of the coronary diseases, that stimulated this research for the reasons mentioned above. In 1978, in order to investigate this phenomenon, Josep Trueta Hospital of Girona began a study called REGICOR. In the 20th century also has contemplated an increasing problem of pollution of the urban atmospheres, this did that different scientists were studying the relations between the coronary diseases and the atmospheric pollution in urban areas (Godish, 1997; Krupa and Legge, 2000; Brook et al., 2004 and Krewski et al., 2004).

The project is placed in the context of the first study realized in Spain that investigates the effects on the health of the atmospheric pollution (REGICOR 2000-AIR). In the project one tries to investigate the influence of different factors (distance of the pipes to the street, width of the street, traffic and density of traffic) on the atmospheric pollution of the cities of Girona and Salt, in order the possible better(best) thing is able to characterize the exhibition to atmospheric pollution. For this purpose the NO<sub>2</sub> will be in use as scoreboard of atmospheric pollution and several points of the sample were selected in both cities where they will put on captators of NO<sub>2</sub> for the measurement of the above mentioned pollution. Later, and by means of a statistical analysis, it will be possible to determine the influence of the factors in the variation of concentration of NO<sub>2</sub> in the selected area.

**Key words:** Atmospheric pollution, dioxide of nitrogen, scoreboard of exhibition, linear regression, Palmes pipe.

---

## INTRODUCCIÓN

La **contaminación atmosférica** se define como cualquier condición atmosférica en la que ciertas sustancias alcanzan concentraciones lo suficientemente elevadas sobre su nivel ambiental normal como para producir un efecto medible en el hombre, los animales, la vegetación o los materiales.

En las grandes ciudades, la contaminación del aire se debe principalmente a los escapes de gases de los motores de explosión, a los aparatos domésticos de la calefacción y a las industrias (Mayer, 1999 y Colville et al., 2001). Pero también hay otros factores que influyen en la concentración de contaminación atmosférica, unos de ellos son la meteorología y la topografía local. La contaminación produce efectos a corto y a largo plazo en las personas. Algunos de los efectos a corto plazo son el

aumento de infarto de miocardio, arritmia, derrame cerebral y muerte (Brook, et al., 2004). Mientras que algunos de los efectos a largo plazo son efectos pulmonares, riesgo de mortalidad prematura (Brook, et al., 2004) y enfermedades cardiovasculares (Krewski et al., 2004).

Para poder estudiar el nivel de contaminación atmosférica se ha utilizado el NO<sub>2</sub> como **marcador**. Un marcador es una sustancia que permite medir el grado de contaminación de un lugar pero no suele ser el principal causante de dicha contaminación. El NO<sub>2</sub> es un marcador ampliamente utilizado en la exposición a contaminantes originados por fuentes móviles debido a su alta correlación con otros procesos de combustión relacionados con los gases primarios, aerosoles primarios y secundarios y también con las partículas en suspensión.

Las fuentes principales de emisión antropogénicas de NO<sub>x</sub> a la atmósfera se producen por la oxidación de nitrógeno atmosférico presente en los procesos de combustión a altas temperaturas (tráfico). Altas concentraciones de NO<sub>2</sub> pueden causar efectos importantes de salud y causar problemas significativos a la vegetación y el material urbano (Krupa & Legge, 2000). Como es poco soluble, el NO<sub>2</sub> puede penetrar profundamente dentro de los pulmones, dañando su tejido (Godish, 1997). La exposición a concentraciones excesivamente elevadas provoca el estrechamiento de las vías respiratorias tanto en asmáticos como en no asmáticos.

Debido a los efectos sobre la salud, el medio ambiente y la degradación del aire urbano la Unión Europea decidió en 1995 **legislar** y establecer unos niveles estándares de concentración de NO<sub>2</sub> y unos objetivos para que en los próximos años sea posible disminuir dicha concentración. Actualmente, en España, existe una situación transitoria respecto los límites de NO<sub>2</sub>, esto se debe a que ha cambiado la legislación y han disminuido el valor máximo de [NO<sub>2</sub>] y para que los países la puedan cumplir han establecido un margen de tolerancia que va disminuyendo cada año hasta que al 2010 sea 0. El margen era de 20 microgramos/m<sup>3</sup> al año 2000 y actualmente es de 4 microgramos/m<sup>3</sup>. Este margen se le suma al valor límite, que es de 40 microgramos/m<sup>3</sup>, así pues, actualmente (2008) el valor límite para el NO<sub>2</sub> es de 44 microgramos/m<sup>3</sup>.

Las enfermedades cardiovasculares son actualmente la primera causa de muerte en los países desarrollados. Durante las primeras décadas del s.XX se contempló un progresivo descenso de las enfermedades infecciosas y un importante aumento de las enfermedades coronarias. Este hecho estimuló la puesta en marcha de distintos estudios sobre las causas de dichas enfermedades. En 1978, en el Hospital Joseph Trueta de Girona se inició el estudio **REGICOR**. Inicialmente se configuró como un registro de base hospitalaria pero poco a poco se ha extendido a una parte de la provincia de Girona. Este estudio ha permitido comprobar las variaciones temporales de las tasas de ataque, incidencia, recurrencia, hospitalización y mortalidad de las enfermedades cardiorrespiratorias.

En el año 2007 se inició un proyecto llamado **REGICOR 2000-AIR** el cual persigue la hipótesis de que la exposición acumulativa a la contaminación atmosférica ambiental está asociada al aumento del grosor de la íntima-media de la carótida (GIMC). Para ello se han seleccionado participantes mediante el método de contactos locales (familiares y compañeros de trabajo de los trabajadores REGICOR) a los que se les ha medirá la GIMC y se les caracterizará la exposición a la contaminación atmosférica para cada uno de ellos.

Este estudio es el primero en España que investiga la relación entre la contaminación ambiental y la arteriosclerosis.

Las medidas de NO<sub>2</sub> se organizarán en 14 campañas y cada campaña tendrá un período aproximadamente de 30 días. En el apartado de materiales y métodos se detalla la metodología usada en las campañas.

## OBJETIVOS

- Describir las concentraciones de NO<sub>2</sub> en las ciudades de Girona y Salt
- Investigar los efectos del tráfico, altura y climatología sobre la concentración de NO<sub>2</sub> obtenido en las ciudades de Girona y Salt.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Lugares seleccionados para el proyecto

Se han seleccionado las ciudades de Girona y Salt por tres razones; la primera es que se disponen de datos para concentración de NO<sub>2</sub> gracias al proyecto de Jaume Targa (Targa, 2007); la segunda es que son las ciudades de la provincia de Girona con más población participante y por lo tanto más puntos de control, un total de 27 puntos. Cabe señalar que solo se usaran los datos de las campañas 1 y 5 (ver tabla 1.1.) ya que se realizaron en distinta estación (importante para ver si hay variabilidad de contaminación atmosférica con la climatología), no se han escogido las campañas posteriores porqué no se disponía de los datos cuando empezó el análisis.

### Localización de los puntos de muestreo

En total, entre las ciudades de Girona y Salt, se han seleccionado **27 puntos** de muestreo. La selección de los 27 puntos se ha realizado en base al lugar de trabajo o vivienda de los participantes intentado que estos lugares cubrieran la máxima extensión de las dos ciudades con el fin de poder determinar la variabilidad espacial de la concentración de NO<sub>2</sub> en las dos ciudades y, en consecuencia, observar la influencia de los distintos factores.

Para validar los resultados se ha seleccionado 1 punto fijo en la ciudad de Girona que se miden mensualmente.

### Selección de la población y organización de la obtención de la información

Los participantes en el proyecto se han conseguido a través de contactos locales (familiares, compañeros de trabajo) de los trabajadores del estudio REGICOR 2000-AIR que residen o trabajan en el área de estudio.

Una vez los participantes aceptan colaborar, se desarrolla el siguiente protocolo. El primer paso es informar sobre su participación vía correo, en la carta se les adjunta el material que tendrán que utilizar, se les da instrucciones de cómo y cuando deben colocar los tubos y dónde tiene que enviarlos y, finalmente también se les adjunta un cuestionario para poder obtener datos para el análisis (altura de los tubos, distancia a la calle, etc). El segundo paso es que días antes de la colocación de los tubos se contacta con ellos para recordarles la instalación. El tercer paso, es que transcurrido el período de medición de los tubos se vuelve a contactar con los participantes para recordarles que tienen que cerrarlos. El cuarto paso es que los participantes envíen los tubos al CREAL vía correo. El quinto paso es que el CREAL envíe los tubos a un laboratorio de Oxford para que los analicen y obtengan los resultados. El sexto paso es que el laboratorio envíe vía e-mail los resultados al CREAL. Y, finalmente, estos datos son los que usarán en el análisis de datos.

## Técnica de medida

El método utilizado en esta evaluación de calidad del aire es el llamado **tubo de difusión pasiva de NO<sub>2</sub> del tipo Palmes**.

Un tubo pasivo de NO<sub>2</sub> del tipo *Palmes* es un captador de gas que consiste en un tubo acrílico de 7.1 cm con un diámetro interno de 1.1 cm. En el extremo cerrado se coloca un filtro con unas rejillas impregnadas de trietanolamina (TEA) que absorbe el NO<sub>2</sub> del aire. El transporte del gas a través del tubo es debido al proceso físico de la difusión. En esta campaña de REGICOR se ha decidido que el período de exposición de los tubos sea de 4 semanas.

## Variables utilizadas

La **variable dependiente** que se utilizará es la concentración de NO<sub>2</sub> ([NO<sub>2</sub>]), los datos de la cual se han obtenido de los análisis de los tubos enviados a Oxford.

Las **variables independientes** con las que se relacionará son:

- **Altura de los tubos respecto a la calle.** Los datos para esta variable los han facilitado los participantes. Las unidades en que se expresa son metros (m).

- **Anchura de la calle.** Corresponde a la anchura de la calle que se encuentra el tubo. Los datos se han obtenido mediante el callejero virtual de la Guía CAMPSA a escala de las ciudades de Girona y Salt. La unidades que se usan son los metros (m).

Estas dos variables (altura de los tubos y anchura de la calle) se han seleccionado ya que, la concentración de los contaminantes se reduce cuando se dispersan en la atmósfera (Llebot, 2008), así pues, se supone que a más altura y a más anchura de la calle hay más espacio para la dispersión y que a más anchura de la calle.

- **Intensidad media diaria (IMD).** Corresponde al número de vehículos que pasan, aproximadamente, por la calle dónde se encuentra el punto de medida. Los datos se han obtenido mediante el Plan de Movilidad de Girona.

Se ha considerado interesante incluir esta variable en el análisis ya que en distintos estudios (Mayer, 1999, Colville et al., 2001 y Targa, 2007) han hallado relación entre el tráfico y la [NO<sub>2</sub>].

- **Densidad de vehículos,** esta variable se ha obtenido relacionando la anchura de la calle y el número de vehículos por día. La fórmula que se ha usado es:  $IMD / anchura\ calle$ . Las unidades en que se expresa son IMD/m.

Se ha considerado interesante incluir esta variable en el análisis porque es la combinación de dos variables con posibles influencias en la [NO<sub>2</sub>].

## Análisis de los datos

En primer lugar, se describirán las variables estadísticamente. En segundo lugar, se buscará si hay alguna diferencia estadísticamente significativa de la [NO<sub>2</sub>] entre las ciudades del estudio así como si existe alguna diferencia estadísticamente significativa entre la [NO<sub>2</sub>] en la campaña 1 y en la campaña 5. En tercer lugar, se realizará la tabla de correlaciones lineales entre las variables a fin de poder observar su correlación lineal. En cuarto lugar, se presentará la tabla de las regresiones bivariantes entre las variables independiente y la variable dependiente para determinar que relación tienen. En quinto lugar, se presentará la tabla de la regresión multivariante para determinar que parte de la [NO<sub>2</sub>] describen las variables independientes. Y, finalmente, se presentaran dos tablas más de regresión multivariante (una con los 18 puntos de los cuales se tienen los datos para las dos campañas y la otra con los 45 puntos totales

que se han obtenido), esto servirá para hacer un análisis de sensibilidad para determinar si hay variación de los resultados dependiendo del número de observaciones que se considere. A continuación se detallan las pruebas y métodos matemáticos usados para el análisis.

Para el análisis de estos datos se utilizarán los programas estadísticos Stata y Excel.

## RESULTADOS

### Descripción de las variables utilizadas

Antes de dar comienzo al análisis de las variables cabe señalar que se tienen 27 puntos de medida entre las dos campañas pero que sólo se han obtenido datos de concentración de NO<sub>2</sub> para ambas campañas en 18 puntos, esta diferencia es debida a la pérdida de tubos.

En la tabla 1.1. se analizan los estadísticos descriptivos (número de observaciones (n), media, desviación estándar (D.E.) , valores máximos (Máx.) y mínimos (Mín.), percentiles (25 i 75)) de las variables que se utilizaran.

**Tabla 1.1.: Descripción estadística de las variables utilizadas en el análisis.**

Fuente: Elaboración propia

Variable	n	Media	D.E.	Intervalo		P25	P75
				Mín.	Máx.		
Camp. 1	21	33,83	10,71	13,02	63,34	27,41	40,21
Camp. 5	24	37,04	7,88	19,46	55,46	31,38	41,65
Altura	27	5,66	2,52	2,5	13	4	7,5
Distancia	27	26,09	10,77	8	45	20	35
Anchura	27	14,24	5,51	7,3	32,4	11	17,1
IMD	27	25.967,07	15.732,14	1.684	55.500	9.754,8	38.280
Densidad	27	2.116,91	1.621,02	134,7	5.550	786,83	3.565

### Comparación entre las campañas 1 y 5

Como ya se ha comentado en el apartado anterior sólo se han obtenido 18 valores de [NO<sub>2</sub>] para ambas campañas de los 27 puntos totales. Para establecer si se pueden usar los 27 puntos, se tiene que comprobar si hay alguna diferencia estadísticamente significativa entre las concentraciones de las dos campañas. Para ello se hará una prueba de t-test (tabla 1.2.). Para el análisis se han cogido los 18 puntos de los cuales se dispone de los datos para las dos campañas.

**Tabla 1.2.: Prueba t-test para la [NO<sub>2</sub>] de las campañas 1 y 5**

Fuente: Elaboración propia

<b>Campaña</b>	<b>N</b>	<b>Media [NO<sub>2</sub>]</b>	<b>D.E. media [NO<sub>2</sub>]</b>
1	18	33,87	11,48
5	18	38,43	8,27
<b>Diferencia media</b>	<b>D.E. dif. media</b>	<b>p</b>	
-4,56	3,33	0,04	

La única hipótesis con un p-valor menor que 0,05 es la que supone que no hay diferencia entre las variables campaña 1 y 5 ( $p=0,04$ ), pues se concluye que al no existir una diferencia estadística, como variable dependiente se usará la mediana entre las dos campañas y, en caso que no haya los datos para las dos se cogerá el dato que se tenga, por lo tanto, los análisis se han realizado en base a los 27 puntos.

### Comparación entre las ciudades de Girona y Salt

En la tabla 1.3. se procederá a hacer el mismo análisis (prueba t-test) pero con las variables [NO<sub>2</sub>] y las ciudades, para determinar si se tiene que diferenciar entre las dos ciudades (Girona y Salt) en el análisis final.

**Tabla 1.3.: Prueba t-test para la [NO<sub>2</sub>] y las ciudades (Girona, Salt)**

Fuente: Elaboración propia

<b>Ciudad</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>D.E. media</b>
Girona	18	35,06	9,73
Salt	9	35,22	1,53
<b>Diferencia media</b>	<b>D.E. dif. media</b>	<b>p</b>	
-0,16	3,44	0,02	

La única hipótesis con un p-valor menor que 0,05 es la que supone que no hay diferencia entre la [NO<sub>2</sub>] entre las ciudades de Girona y Salt ( $p=0,02$ ), pues se concluye que al no existir una diferencia estadística, en el análisis se tomará las dos ciudades como una única área geográfica a estudiar.

### Correlaciones lineales entre las distintas variables

En la tabla 1.4. se ha hecho una correlación lineal entre las diferentes variables para determinar el grado de relación entre las mismas.

**Tabla 1.4.: Correlación lineal entre las distintas variables**

Fuente: Elaboración propia

	Altura tubos (m)	Distancia tubos (m)	Anchura calle (m)	IMD	Densidad (IMD/m)	[NO <sub>2</sub> ]
<b>Altura tubos</b>	1					
<b>Distancia tubos</b>	0,9253	1				
<b>Anchura calle</b>	0,6267	0,5686	1			
<b>IMD</b>	-0,1657	-0,1781	-0,0786	1		
<b>Densidad</b>	-0,3025	-0,3167	-0,4846	0,8722	1	
<b>[NO<sub>2</sub>]</b>	-0,1260	-0,0881	0,0820	0,2625	0,0833	1

Como se puede observar, los índices de correlación entre la altura de los tubos y la distancia de éstos a la calle es muy elevado (0,9253) al igual que el del índice de vehículos por día (IMD) y la densidad de vehículos (0,8722).

### Regresiones bivariantes

En la tabla 1.5. se muestran los análisis bivariantes, es decir, las regresiones entre cada variables independientes y la variable dependiente (media concentración de NO<sub>2</sub>), para ver si alguna de las variables independientes tienen una asociación significativa a la variable dependiente y cuál es su aportación al posible modelo. La fórmula general que se ha usado para cada regresión es: **media [NO<sub>2</sub>] =  $\alpha + \beta \cdot \text{Variable independiente} + \text{error}$**

**Tabla 1.5.: Tabla de regresiones lineales bivariantes entre la variable dependiente ([NO<sub>2</sub>]) y las variables independientes.**

Fuente: Elaboración propia

Variables	Intercep. ( $\alpha$ )	D.E. intercep.	Coef. $\beta$	D.E. coef. $\beta$	p	R <sup>2</sup>
Altura	37,2723	3,7666	-0,3645	0,5745	0,5316	0,0158
Distancia	36,8769	4,3070	-0,0676	0,1530	0,6623	0,0078
Anchura	33,3584	4,5545	0,1232	0,2990	0,6838	0,0067
IMD	31,5278	3,0659	0,0001	0,0001	0,1859	0,0689
Densidad	34,2131	2,6935	0,0004	0,0010	0,6797	0,0069

N: 27 observaciones

En la tabla 1.5. se observa que la variable que está más relacionada con la [NO<sub>2</sub>] es la IMD ya que es la que presenta un valor de p menor (0,1859) y un valor de R<sup>2</sup> mayor (0,0689).

### Regresión multivariante

En la tabla 1.6. se muestran los resultados para una análisis multivariante, es decir, una regresión con todas las variables independientes anteriores con la variable dependiente [NO<sub>2</sub>] para ver que es lo que explican del posible modelo. La fórmula



general que se ha usado para la regresión es: **media  $[NO_2]$  =  $\alpha + \beta_1 \cdot Y_1 + \beta_2 \cdot Y_2 + \beta_3 \cdot Y_3 + \beta_4 \cdot Y_4 + \beta_5 \cdot Y_5 + \text{error}$**

A pesar que en la tabla se observa que hay variables con un valor de p elevado en el presente análisis se incluirán todas y, a continuación, se realizará el mismo análisis con las variables con un valor de p menor. Así se podrá observar que aportación hacen al modelo las variables con p menores.

**Tabla 1.6.: Tabla de regresión multivariante para todas las variables.**

Fuente: Elaboración propia

Variable	Coef. $\beta$	D.E. coef. $\beta$	p
Altura	0,0081	1,7250	0,996
Distancia	0,0158	0,3993	0,969
Anchura	-0,8735	0,7914	0,282
IMD	0,0008	0,0004	0,052
Densidad	-0,0082	0,0046	0,086

N: 27 observaciones,  $R^2$ : 0,2421, Intercep.: 42,2931, D.E. intercep.: 9,3164

Al igual que ha pasado en la regresión bivalente, la variable que está más relacionada con la  $[NO_2]$ , es decir la presenta un valor de p menor, es la IMD ( $p=0,052$ ).

Para contrastar con la regresión multivariante que se muestra en la tabla 1.6., se procederá a hacer un análisis multivariante pero teniendo en cuenta sólo las variables con un valor de p más bajas (asociación más fuerte con la variabilidad de la variable dependiente). En nuestro caso, como sólo se dispone de 5 variables se han escogido para realizar la regresión las que presenten un valor de  $p < 0,3$  (más relación con la variabilidad de  $[NO_2]$ ), estas variables son: anchura, IMD y densidad.

**Tabla 1.7.: Tabla de regresión multivariante para variables con  $p < 0.3$**

Fuente: Elaboración propia

Variable	Coef. $\beta$	D.E. coef. $\beta$	p
Anchura	-0,8372	0,5241	0,1240
IMD	0,0008	0,0003	0,0180
Densidad	-0,0081	0,0036	0,0037

N: 27 observaciones,  $R^2$ : 0,2418, Intercep.: 42,2979, D.E. intercep.: 7,7336

En la tabla 1.7. se observa que el coeficiente  $R^2$  es de 0,2418. Así pues la  $R^2$  entre el modelo que se han usado todas las variables independientes (tabla 1.6.) y el modelo que solo ha tenido en cuenta las variables con  $p < 0,3$  (tabla 1.7.) es casi la misma y en consecuencia se puede concluir que las variables altura y distancia (incluidas en el modelo de la tabla 1.6.) son variables irrelevantes para el modelo ya que no explican casi nada de la variabilidad espacial de la  $[NO_2]$ . Por tanto, en los análisis posteriores sólo se tendrán en cuenta las 3 variables independientes (anchura, IMD y densidad).

## Análisis de sensibilidad

A continuación se realizará un análisis de sensibilidad entre los puntos de las campañas, con el fin de determinar los resultados varían dependiendo del número de observaciones que se consideren. En la tabla 1.8. se muestra la regresión para los 18 puntos que se tienen valores de las dos campañas y en la tabla 1.9. se muestra la regresión para los 45 puntos totales, en ambos casos se utilizarán sólo las variables anchura, IMD y densidad ya que tal y como se ha demostrado en el apartado anterior (ver tablas 1.6. y 1.7.) las variables distancia y altura son irrelevantes para el modelo. En la tabla 1.9. (45 puntos) además se ha incluido la variable campaña ya que en este caso para algunos puntos se tienen dos valores de  $[\text{NO}_2]$  y esto podría producir un error en los resultados.

**Tabla 1.8.: Tabla de regresión multivariante para los 18 puntos**

Fuente: Elaboración propia

Variable	Coef. $\beta$	D.E. coef. $\beta$	p
Anchura	-2,3046	1,5661	0,163
IMD	0,00146	0,0006	0,027
Densidad	-0,0166	0,0072	0,038

N: 18 observaciones,  $R^2$ : 0,3952, Intercep.: 64,1871, D.E. intercep.: 22,0313

**Tabla 1.9.: Tabla de regresión multivariante para los 45 puntos**

Fuente: Elaboración propia

Variable	Coef. $\beta$	D.E. coef. $\beta$	p
Anchura	0,0075	0,1789	0,967
IMD	0,0006	0,0002	0,001
Densidad	-0,0053	0,0017	0,003
Campaña	1,2944	0,6506	0,054

N: 45 observaciones,  $R^2$ : 0,2749, Intercep.: 28,7663, D.E. intercep.: 4,6115

En la tabla 1.8. se observa una  $R^2$  de 0,3952. En la tabla 1.9. se observa una  $R^2$  de 0,2749. Se observa que el valor de p varía notablemente para la variable anchura entre estos dos análisis. Según el modelo de la tabla 1.8. la variable anchura está mucho más relacionada con la  $[\text{NO}_2]$  ( $p=0,163$ ) que en el modelo de la tabla 1.9. ( $p=0,967$ ), en el cual casi no existe relación entre estas variables.

## CONCLUSIONES

El proyecto realizado ha sido un primer análisis de los niveles de  $\text{NO}_2$  y variables potencialmente asociadas en las ciudades de Girona y Salt. En los resultados se ha podido observar que la  $[\text{NO}_2]$  no se distribuye homogéneamente dentro de una misma ciudad y que varía según las características de cada punto de muestreo.

En el modelo final no se han utilizado todas las variables ya que se han realizado diferentes análisis (regresiones multivariantes) y se ha determinado que las variables altura y distancia de los tubos son variables irrelevantes y sólo se han utilizado las

variables anchura de la calle, IMD y densidad de tráfico que son las que presentan una asociación más fuerte ( $p < 0,3$ ) con la variable dependiente  $[\text{NO}_2]$ . Tampoco se ha diferenciado entre campaña 1 y 5 ni entre la ciudad de Girona y Salt ya que en se ha realizado la prueba de la t-test y se ha determinado que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre dichas variables, a pesar de esto, para las campañas 1 y 5 el p-valor para la hipótesis que suponía que la media de la campaña 1 es menor que la de la campaña 5 es de 0,09 lo que es muy próximo a 0,05 que es el valor para considerar la hipótesis correcta y, por este motivo se han buscado factores que puedan explicar esta diferencia. Esta diferencia de concentraciones entre la campaña 5 (realizada en otoño) y la 1 (realizada en verano), puede ser explicada por dos motivos; el primero es la influencia del factor de la meteorología, ya que en otoño se da con más frecuencia la inversión térmica que en verano y esto, como se ha dicho en la introducción, hace que la concentración del contaminante se quede a la superficie y por tanto aumente; el segundo factor es la movilidad de la población, Girona es la ciudad de su provincia que reúne más lugares de trabajo y de estudio y, en consecuencia, habrá más desplazamientos con vehículos lo que hará aumentar la concentración de  $\text{NO}_2$ . Estas dos actividades disminuyen en verano debido a las vacaciones y en consecuencia también disminuye el tráfico y con ello la concentración de  $\text{NO}_2$ .

Otro punto que muestran los resultados obtenidos es que no existe una fuerte asociación entre ninguna de las variables estudiadas y los niveles de  $\text{NO}_2$  ( $R^2 < 0,50$ ) (ver tablas 1.8., 1.9. y 1.10.), siendo la variable con mayor asociación aunque débil, la IMD (p-valor menor) tal y como auguraba el estudio de Jaume Targa (Targa, 2007). Esta baja asociación se puede explicar por las limitaciones en la obtención de los datos, tales como: los participantes no son gente cualificada y pueden haber cometido algún error al colocar los captadores así como en el período de medida (abrir o cerrar los captadores fuera de tiempo), algunos tubos enviados no han sido reenviados al CREAL para el posterior análisis y esto ha hecho disminuir el número de observaciones con lo que los resultados son menos fiables porque se alejan de la realidad. Otra de las limitaciones es que los datos de las variables independientes no son del todo exactos ya que por ejemplo los datos de la altura y la distancia han sido facilitados por los participantes y, lo han hecho de manera aproximada. Los valores de la IMD también son muy aproximados ya que no se disponía de este dato para cada punto seleccionado ni durante 24 horas.

A pesar de estas limitaciones estos resultados pueden permitir orientar más adecuadamente la información para caracterizar el nivel de exposición a la contaminación atmosférica de la población de estudio.

## **BIBLIOGRAFÍA**

### **- Proyectos**

KÜNZLY, N., et al. (Versión marzo 2007). "REGICOR 2000-AIR. Draft study protocols"

KÜNZLY, N., et al. (Versión junio 2007). "Study protocol air pollution exposure assessment for the REGICOR 2000-AIR study population".

TARGA BALLESTA, J. (2007) "Avaluació de la qualitat de l'aire a la ciutat de Girona". School of Biological and Molecular Science Oxford Brookes University, por el Ajuntament de Girona.

### **- Artículos**

BALLESTER DÍEZ, F., et al. (1999). "Efectos a corto plazo de la contaminación atmosférica sobre la mortalidad. Resultados del proyecto EMECAM en la ciudad de Valencia, 1994-96". Revista España Salud Pública.

BROOK, R.D., et al. (2004). "Air pollution and cardiovascular disease: a statement for healthcare professionals from the expert panel on population and prevention science of the American Heart Association. Circulation núm.109, pág.: 2655-71.

GAUDERMAN, J., et al. "The effect of air pollution on lung development for 10-18 yrs.". The new England Journal of Medicine núm. 351, pág.: 1057-67.

GODISH, T. (1997). "Air Quality, 3rd edition". Lewis Publishers/CRC Press.

KREWSKI, D., et al. (2004). "Validation of the Harvard 6-Cities Study of Mortality and Morbidity". The new England Journal of Medicine núm. 350. pág.: 198-9.

KRUPA AND LEGGE (2000). "Application of a stochastic, Weibull probability generator for replacing missing data on ambient concentrations of gaseous pollutants". Elsevier Science Ltd.

KÜNZLY, N., et al. (2000). "Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution". Lancet núm. 356, pág. 795-801.

KÜNZLY, N., et al. (2007). "A land use regression model for predicting ambient fine particulate matter across Los Angeles, C.A.". Journal of Environmental Monitoring.

#### **- Páginas web**

GUIA CAMPSA. Callejeros.

<http://www.guiacamps.com/gcamps/Ruta/callejero> (20-04-2008)

#### **- Fuentes no publicadas**

LLEBOT RAGABLIATI, J. (2008). "Meteorología y climatología". Apuntes de clase. UAB.

SALA SERRA, M. (2007). "Epidemiología ambiental". Apuntes de clase. UAB.