

Ritmo temporal de inmisión de contaminantes en Galicia

Urbano FRA PALEO

La contaminación atmosférica es un fenómeno relativamente reciente, resultado del desarrollo tecnológico realizado por el hombre en algunas áreas y fruto también de la concentración humana en pequeñas áreas. Su valor no es constante a lo largo del tiempo, sufre variaciones que deben ser conocidas para analizar los momentos de mayor carga contaminante con vistas a planificar su control. Para ello se hace un seguimiento de los valores de inmisión procedentes de las redes de seguimiento de la contaminación industrial de las centrales térmicas de As Pontes y Meirama, de la factoría de producción de aluminio de San Cibrao y de la refinería de petróleo de A Coruña; y de la red urbana de Vigo.

Si se analiza la evolución de los valores de inmisión de contaminantes atmosféricos a lo largo de un período anual, se aprecia la existencia de un ritmo, la sucesión de períodos iterativos, de diferente estructura según la escala temporal considerada.

El origen de este comportamiento hay que buscarlo en la intervención de factores antrópicos y naturales, primero va a depender del volumen de emisión —que no es constante— y a continuación de las condiciones físicas de dispersión de los contaminantes; la mayor importancia de una u otras depende, de modo general, del período examinado.

Los factores contaminantes, como se contempla en el cuadro adjunto, son diversos en conjunto y la intervención de cada uno varía según el espacio considerado, así las emisiones urbanas son las más complejas y las procedentes de centrales térmicas las, en principio, más aisladas. Se relacionan exclusivamente focos antrópicos y no se tiene en cuenta a aquellos de emisión irregular, tales como incendios o vertederos de residuos.

Ritmo de emisiones:

	Ciclo dial	Ciclo semanal	Ciclo anual
Automóviles	x	x	x
Calefacciones	x	—	x
C. Térmicas	—	—	x
Industrias	x	x	—
Grandes industrias	—	—	—

El ciclo dial de emisión, con una oscilación entre emisión diurna y no emisión nocturna, es, en origen, resultado del ciclo natural de luz-oscuridad, se transforma en ciclo vital con el uso del automóvil y la calefacción en los núcleos urbanos, y en ciclo cultural con la producción industrial durante el transcurso laboral en polígonos industriales y periferias urbanas.

Así como este ritmo es una respuesta a las condiciones del medio, el ciclo semanal no sufre interferencias naturales, tiene un componente exclusivamente cultural y se trata, por tanto, de un ritmo antrópico puro. En la ciudad los automóviles son los responsables exclusivos, ya que la calefacción obedece a las oscilaciones térmicas. Las áreas industriales formadas por la pequeña industria manifiestan también una oscilación entre la emisión durante el período laboral y la ausencia de aquélla en el fin de semana.

Por otra parte, las variaciones estacionales antrópicas tienen una dependencia directa de la sucesión de períodos fríos y cálidos, al primero corresponde mayor emisión que al período cálido, por el encendido de las calefacciones y la mayor actividad de las centrales térmicas. Los automóviles son más utilizados en el período frío y de precipitaciones, pero al período cálido corresponde tanto una reducción de los desplazamientos como una redistribución de las emisiones hacia los espacios de ocio.

La carencia de ciclos de emisión en la gran industria supone la existencia de una emisión regular lineal sólo interrumpida por paradas de producción y de funcionamiento.

Este análisis de la estructura de emisión de un espacio determinado tiene importancia por cuanto en cada área intervienen factores culturales y especialmente físicos, que modifican los ritmos de emisión, dando resultados de inmisión muy diferenciados del estudiado, propio de un país desarrollado del área templada.

La frecuencia de medición condiciona de modo fundamental los resultados a obtener. La mayor parte de las mediciones se realiza con instrumentos semiautomáticos de recogida diaria de muestra, es el caso del SO₂ y de las partículas en suspensión. Esto limita el conocimiento de la variación horaria a lo largo de un día pero permite conocer ciclos más largos como el semanal y anual. Por otro lado, los instrumentos automáticos miden los niveles de inmisión en tiempo real y envían los resultados a una central por vía telefónica o por radio, con una frecuencia inferior a la horaria.

La existencia de diferentes métodos de medición y análisis condiciona la comparación de concentraciones entre distintas áreas, lo que obliga a tratarlos como valores relativos.

De estos ritmos de emisión se van a obtener similares ciclos de inmisión, identidad que va a depender de la preponderancia de los factores antrópicos en cada caso.

Ciclo dial

La variación diaria de los niveles de inmisión de SO₂ en A Coruña (Figura 1), comienza con un mínimo a las 6 horas, ascendiendo a medida que avanza el transcurso diurno hasta que alcanza el máximo a las 14 horas, y desciende luego hasta el mínimo nocturno mencionado. La oscilación es importante, en 6 horas se produce un aumento de 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, tratándose de una subida vertiginosa si se toma en consideración que se parte de unos valores previos ya elevados, próximos a 28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, estimable como nivel de fondo. La pendiente ascendente se corresponde con el aumento continuado de la circulación hasta un máximo a última hora de la mañana (Figura 2), resultado que coincide con el obtenido por LAST, F. T. (1989) para el SO₂ y NO_x. El declive comienza en un momento de baja circulación de automóviles y de máxima radiación solar. Esta oxida al SO₂, reduciendo su concentración y dando lugar a otros contaminantes secundarios, como el ozono, que alcanzan la inmisión máxima a primera hora de la tarde (LAST, F. T. 1989).

Figura 1
Ciclo dial de inmisión de SO₂ en A Coruña en 1988

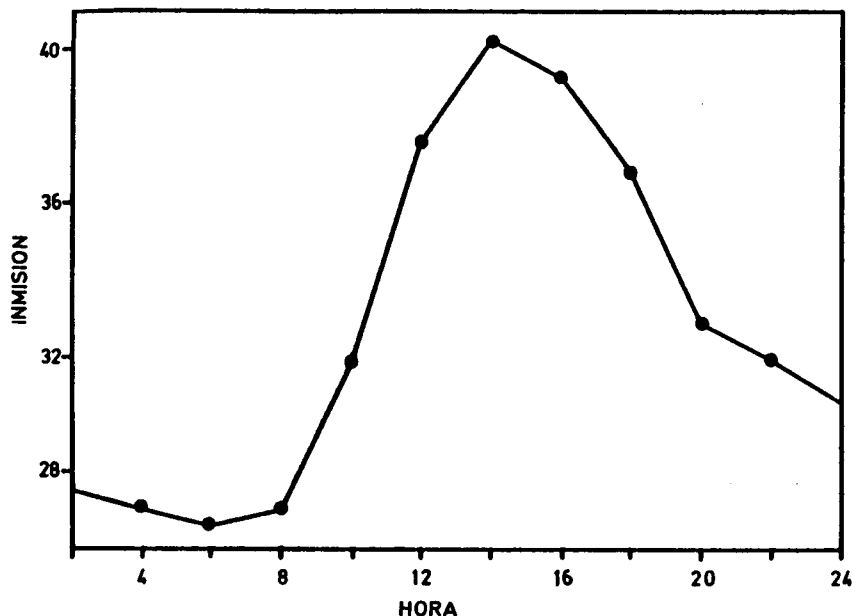
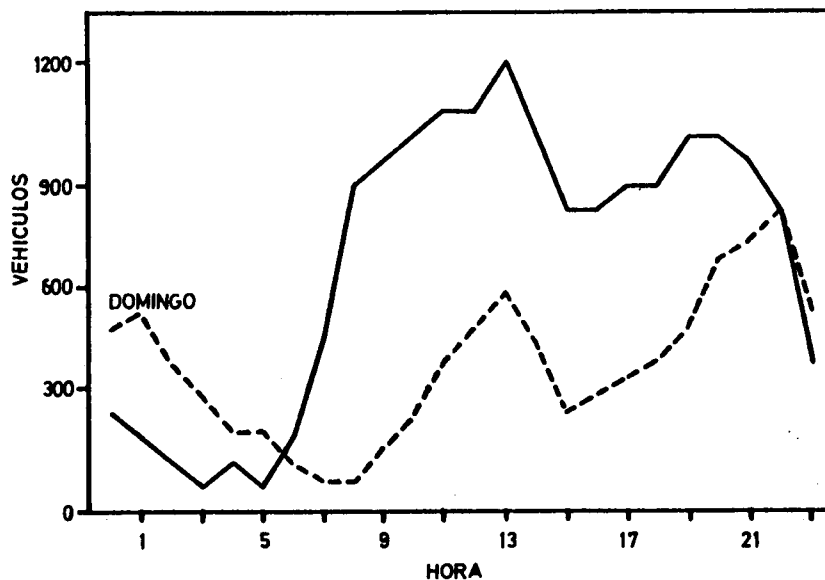


Figura 2
Evolución de la circulación en Vigo en un día laborable y en domingo.
Junio de 1989



Fuente: Ayto. de Vigo. Elaboración propia.

Como se verá más adelante, el tráfico tiene los domingos un comportamiento particular, el perfil es más bajo y tiene dos máximos en los extremos —que es de suponer tendrán su correspondencia en los valores de inmisión de ese día—, que se relacionan con el ocio de la madrugada del domingo y el retorno a la ciudad tras el fin de semana respectivamente.

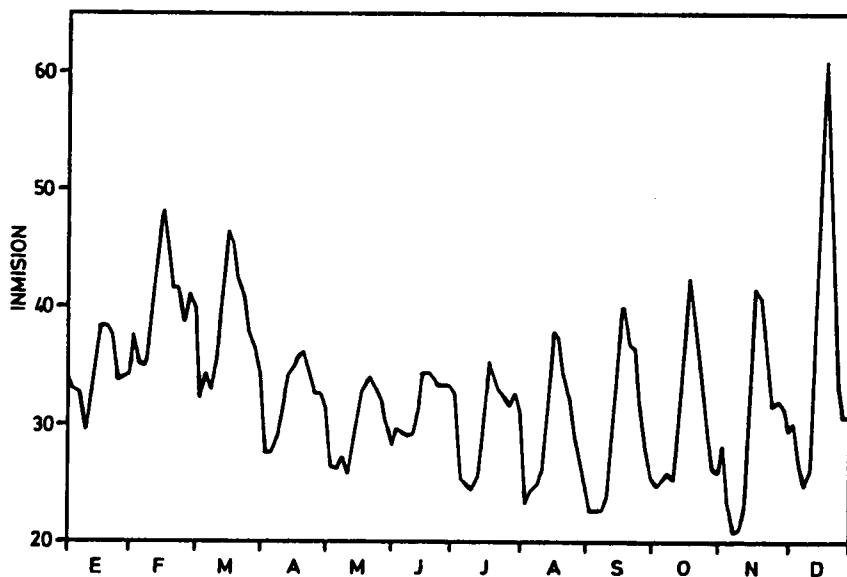
Destacan dos elementos básicos en este período: la correspondencia entre actividad ciudadana diurna y mayor nivel de inmisión; y la ausencia de actividad y bajos niveles de inmisión durante la noche. Parece pues inapropiada la aplicación del análisis de regresión, la búsqueda de una tendencia, como hacen CONILLERA, P., RABASSA, C. (1978), ya que la variación a lo largo de un día no tiene una única tendencia, a ascender o descender, sino que tiene dos, una ascendente hasta un máximo diurno y otro descendente hasta un mínimo nocturno.

El peso de la distribución de las emisiones en la variación horaria de las inmisiones lleva a pensar en la uniformidad de la alternación dial de todo núcleo urbano. Pero esta supuesta uniformidad no se ve reflejada en la realidad si comparamos el ciclo dial de varias ciudades. Parece verse modificado intensamente por las condiciones meteorológicas locales.

En Barcelona, CONILLERA, P., RABASSA, C. (1978), encuentran un máximo a primeras horas de la mañana, hecho que explican en base a la conjunción de tres factores: mayor actividad ciudadana, poca intensidad de las brisas y bajos niveles de insolación en esas horas. Sin embargo esos mismos factores no dan el mismo resultado en una ciudad marítima —aunque atlántica— como A Coruña.

Podemos estudiar también cual es el comportamiento de este ciclo a lo largo de un año (Figura 3), calculando mensualmente su ciclo diario. De este modo comprobamos que existe una diferente oscilación en cada estación; baja en primavera y en continuo ascenso hasta el otoño, cuando simultáneamente los valores diarios se elevan. En invierno la carga contaminante es mayor —tal como se verá cuando hablemos del ciclo anual—, al mismo tiempo que la oscilación diaria va en descenso hacia la primavera, lo que convierte al otoño en la estación de máxima oscilación diaria. Esta conclusión ha sido advertida por CONILLERA, P. y RABASSA, C. (1978), así como la uniformidad del decurso primavera-verano en su estudio de la atmósfera urbana de Barcelona.

Figura 3
Ciclo dial mensual en A Coruña. 1988



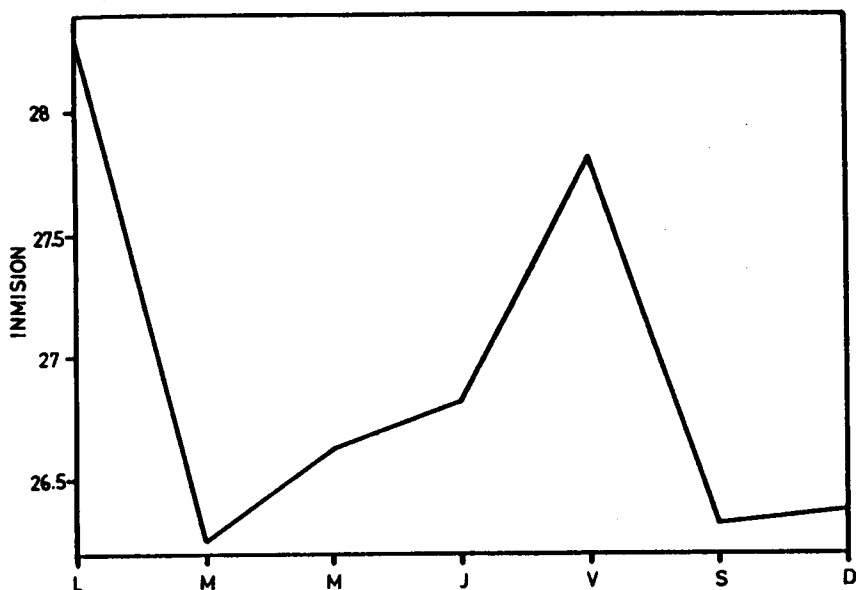
Ciclo semanal

Conociendo que la variación del ciclo semanal es debida exclusivamente a factores antropogénicos, el objetivo para su estudio es hacer un seguimiento de la evolución a lo largo del mismo período de los niveles de inmisión y del tráfico, ya que se trata este último de un factor emisor fácilmente medible. De los dos núcleos urbanos de los que se hace el seguimiento, Vigo dispone de medidores manuales de contaminación que no proporcionan información en el lapso viernes-domingo, y A Coruña no dispone de tan completa información acerca del volumen de tráfico circulante. Por ello se ha optado por

relacionar inmisión de SO₂ en A Coruña con el desarrollo semanal del tráfico en Vigo, correspondencia que se fundamenta en la extrapolación de un comportamiento poblacional similar.

No es muy concluyente en la diferenciación diaria de la emisión e inmisión (Figura 4), —quizá porque no hay matices importantes entre ellos— pero sí lo es en dos hechos: el contraste entre alta emisión-inmisión durante el decurso laboral y la baja emisión-inmisión en el fin de semana; y el mayor volumen de tráfico los viernes, debido a la salida hacia residencias secundarias fuera de la ciudad para pasar el fin de semana, que da lugar a una subida notable en el grado de contaminación.

Figura 4
Ciclo semanal de inmisión de SO₂ en a Coruña. 1989.

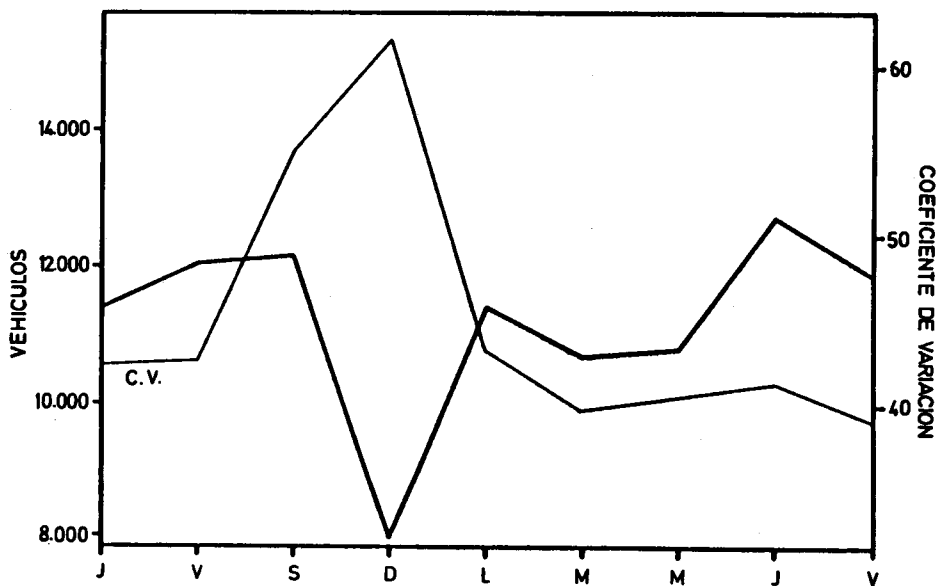


Sin carácter resolutivo puede afirmarse que el lunes es, del mismo modo, un día punta, a causa de que muchos retornos se retrasan hasta ese momento. Hay una acentuada subida de la inmisión que no tiene una clara correspondencia con el ligero aumento de volumen de circulación de vehículos (Figura 5).

A lo largo del fin de semana se produce no sólo una reducción sino la redistribución del tráfico sobre la ciudad. El centro comercial y las áreas de localización de empleo dejan de atraer, para ser sustituidas por los espacios de ocio externos e internos del núcleo. Unas vías soportan mayor densidad de la habitual mientras se reduce en otras, por lo que el mapa de inmisión se modifica durante este período. Este fenómeno puede apreciarse

en la subida del coeficiente de variación durante el sábado y domingo entre los distintos puntos de medida de la densidad de tráfico (Figura 5).

Figura 5
Evolución media y coeficiente de variación
del tráfico semanal en Vigo. 1989



Ciclo anual

Si en los anteriores el ciclo de emisión condiciona al de inmisión, en este caso parecen dominar las causas naturales. Para ello hay que conocer cuales son los ciclos de los elementos del medio físico que pueden influir en su distribución anual.

Para la difusión de contaminantes interesa conocer particularmente la estabilidad atmosférica, una atmósfera neutra o estable se caracterizan por ser unas situaciones poco adecuadas para la dispersión horizontal o vertical. Habitualmente en la baja atmósfera la temperatura del aire desciende a medida que ascendemos en altura, pero determinadas situaciones atmosféricas o efectos microclimáticos locales como las inversiones térmicas impiden la difusión vertical de los contaminantes y dan lugar a que se concentren en el suelo, produciendo situaciones de riesgo denominadas episodios.

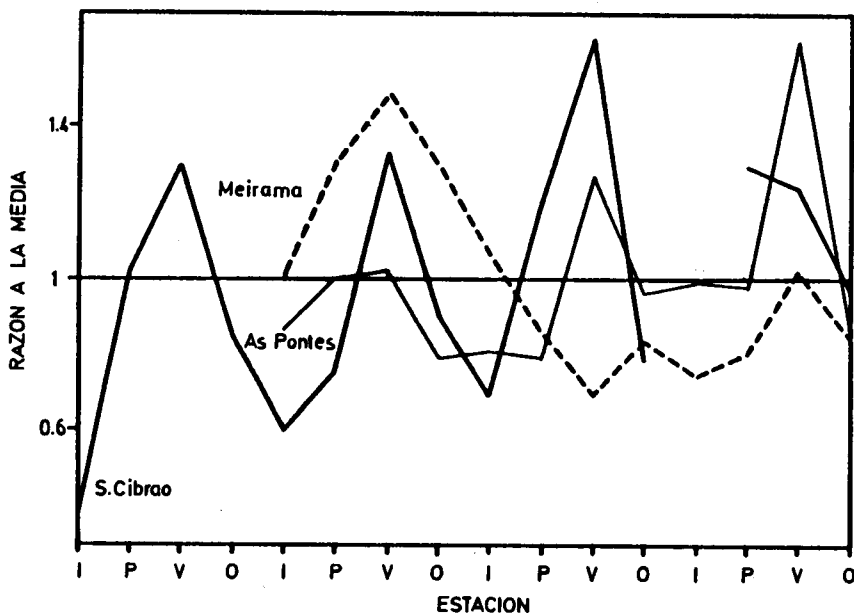
El viento es el responsable de la difusión horizontal, contribuyendo también parcialmente a la vertical, ya que un viento fuerte reduce el coeficiente de sobreelevación del penacho de contaminantes. Como su velocidad sufre variaciones a lo largo de un año, és-

tas se van a reflejar en que la mancha contaminante se acerque o aleje del foco y, por lo tanto, sea medida por los aparatos. Los sucesos de calma son un caso extremo de dificultad de dispersión de una emisión.

Parece existir una significativa diferencia entre la variación estacional de la inmisión de contaminantes en una área urbana y la resultante de una emisión industrial puntual en una área rural. En ésta hay una clara tendencia a producirse máximos de inmisión de contaminantes en verano, aislada o simultáneamente con estaciones inmediatas. Los niveles de SO₂ en varias áreas confirman esta tendencia, pese a ciertas irregularidades.

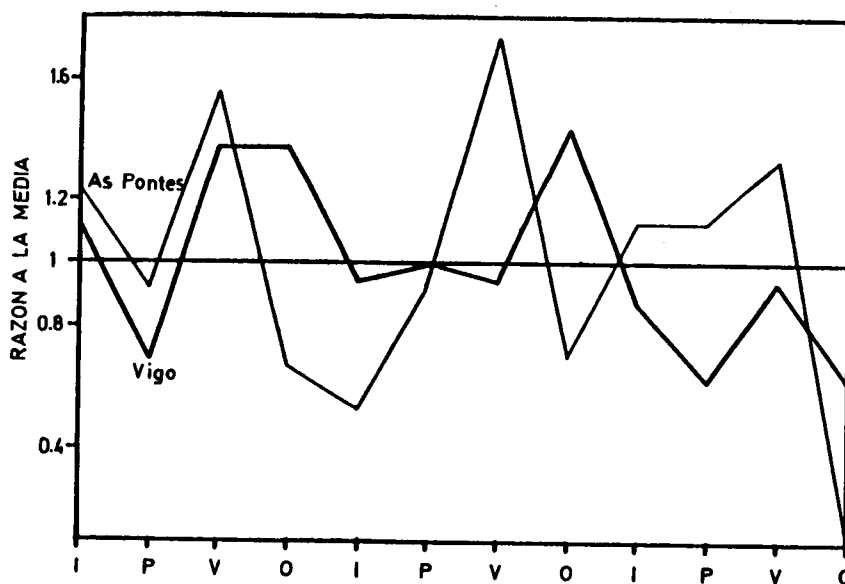
Los niveles de inmisión de SO₂ en As Pontes y Meirama, localizadas en áreas rurales (Figura 6), siguen una evolución estacional relativamente homogénea, apreciándose períodos contaminantes especialmente en verano, a pesar del irregular año 1988 dentro de la serie de Meirama. Este comportamiento no es exclusivo del SO₂, los valores de inmisión del flúor generado por la factoría de fabricación de aluminio de San Cibrao (Lugo), tienen una evolución similar, e incluso muestra el contraste, no tan definido en ambas centrales, entre unos matizados máximos estivales y mínimos invernales.

Figura 6
Ciclo anual de inmisión de SO₂ en As Pontes y Meirama
y de flúor de San Cibrao. 1986-89



Se ha representado la variación de las frecuencias de calmas (Figura 7), en As Pontes siguiendo los datos proporcionados por la estación meteorológica de A Mourela, próxima al foco, conjuntamente con los datos del observatorio de Vigo, con el objeto de apreciar la relación entre este parámetro y los valores de inmisión. La desigual evolución de ambas no es objeto de interés aquí, diferencia que es debida tanto a la distancia que los separa como a que en la primera estación la medición se realiza a 80 metros de altura. Por otra parte, en As Pontes se considera que se trata de calmas cuando el viento tiene velocidad inferior a 1 m/seg., mientras que en Vigo el criterio es más restrictivo al descender el nivel a 1,8 km/h (0,5 m/seg).

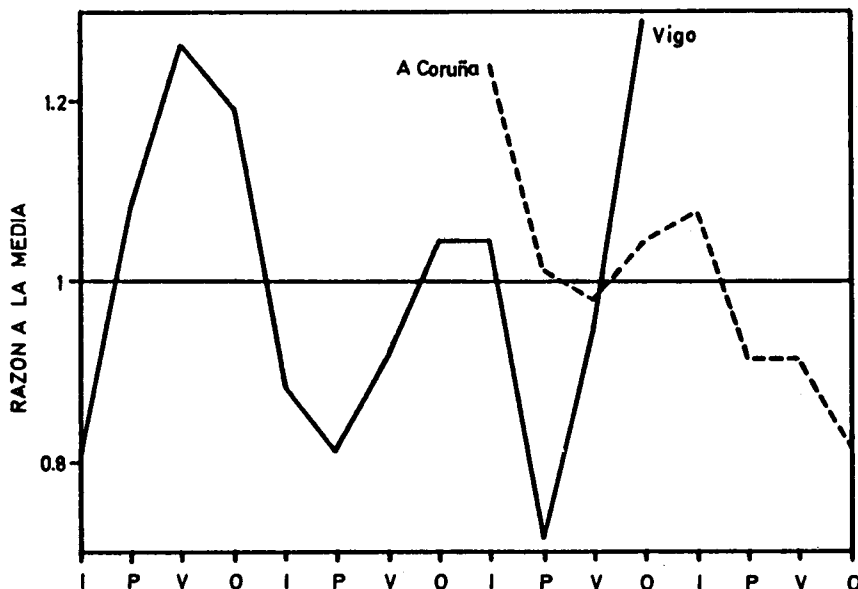
Figura 7
Variación de la frecuencia de calmas. 1987-89



Esta evolución da respuesta a la pregunta sobre la causa del comportamiento del SO₂. Parece tratarse de la intervención de factores físicos como el régimen de vientos cuando comprobamos que en As Pontes la mayor frecuencia de calmas coincide en verano y que su actuación declina en períodos más indefinidos, en el entorno del otoño. Por su parte, la oscilación de frecuencias de calmas en Vigo muestra unos máximos en verano-otoño y mínimos en primavera. Este ritmo tiene mucho que ver con la alternación de períodos de inmisión de SO₂ y partículas en suspensión, ya que es en primavera cuando los valores son más bajos, y en otoño cuando se presentan los episodios de contaminación más importantes.

Los valores de SO₂ en A Coruña (Figura 8), tienen un máximo invernal y un mínimo en el decurso primavera-verano, que confirma, junto con la oscilación de Vigo, el comportamiento particular de los núcleos urbanos respecto de las áreas rurales.

Figura 8
Ciclo anual de inmisión de SO₂ en núcleos urbanos. 1986-89



Las partículas en suspensión se conducen del mismo modo (Figura 9), las mínimas se producen en momentos de baja frecuencia de calmas y en tiempo cálido, y las máximas —más regulares que las del SO₂— se presentan al comenzar el período de utilización de calefacciones.

Entre los pH medidos en Vigo y As Pontes (Figuras 9 y 10), del agua de lluvia y partículas sedimentables recogidas en depósitos Gauge hay ciertas similitudes. Ambas áreas muestran un pH más bajo en primavera, por lo que se supone la existencia de mayor deposición ácida en esta época, aunque los períodos de Ph más alto no son igualmente nítidos.

Se ha optado por representar la variación mensual del SO₂ y del pH en As Pontes para comprobar (Figura 10) con precisión cual es la relación existente entre ambos. Este análisis permite ver más detalladamente el nexa entre períodos de mayor inmisión de SO₂ y deposición ácida, así como valores más bajos y deposición menos ácida. Ello hace pensar en que la medición de este parámetro es eficaz para demostrar el efecto de lavado de los gases realizado por la precipitación, así como la deposición de las partículas más pesadas en períodos de mayor estabilidad atmosférica, de mayor frecuencia de inversiones.

Figura 9
Ciclo anual de contaminación en Vigo. 1986-88

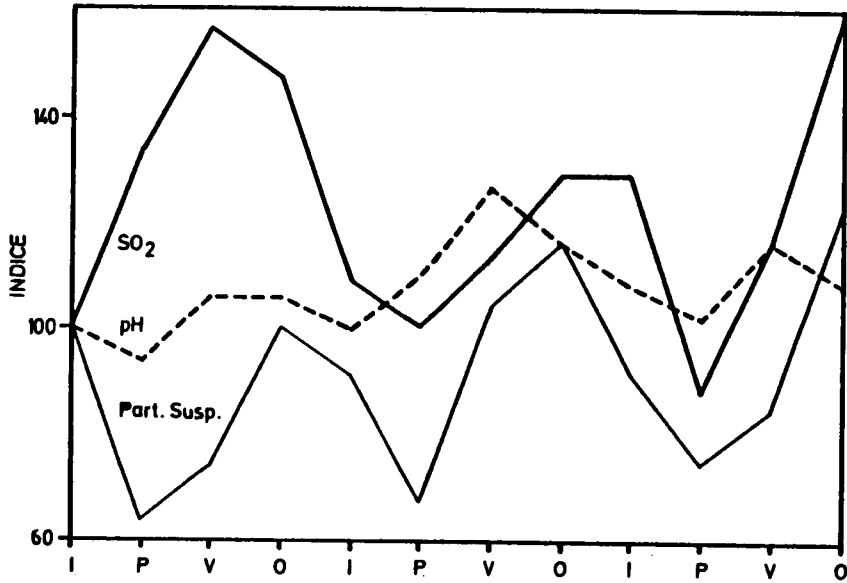
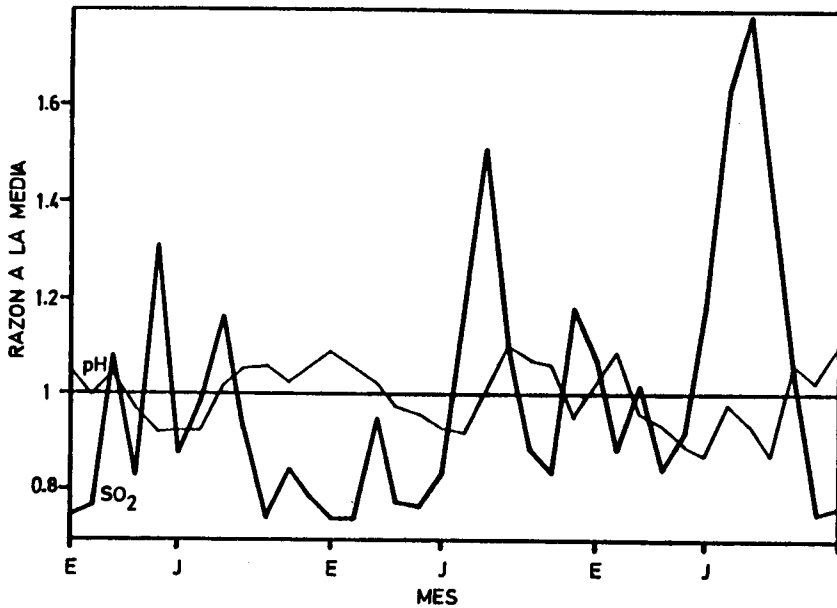
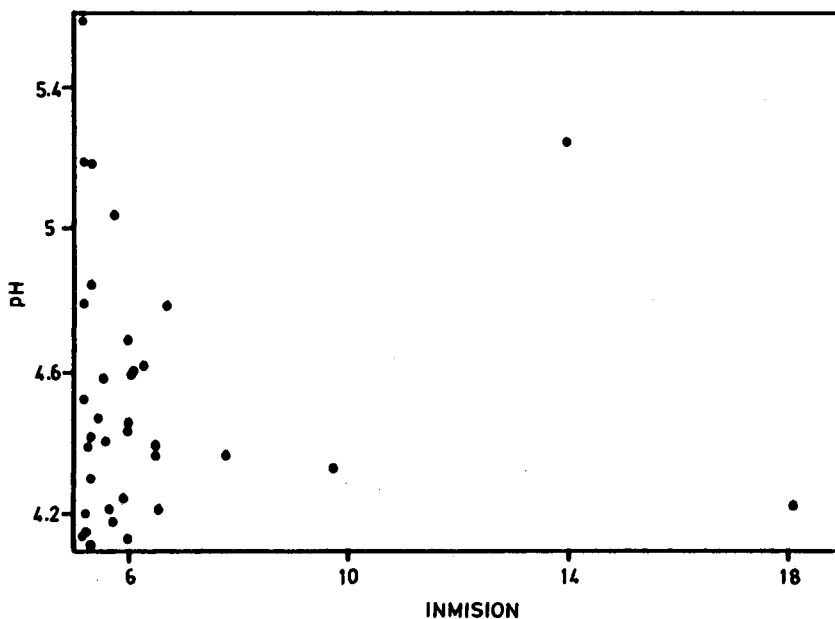


Figura 10
Evolución mensual de pH y SO₂ en As Pontes. 1987-89



La relación temporal entre pH y SO₂ —antes señalada— no tiene una correspondencia espacial (Figura 11), los puntos de mayor inmisión no coinciden con las áreas de deposición más ácida, no hay correlación en la gráfica entre los dos parámetros. De este modo las áreas de mayor impacto del gas no coinciden con las de mayor deposición ácida, debido, probablemente, a que los vientos que actúan durante la deposición no son los habituales durante todo el año y que dan lugar a las áreas de mayor inmisión.

Figura 11
Relación entre valores de pH y SO₂ de los puntos de medida de la red de As Pontes. 1987



Conclusiones

Siguiendo la evolución temporal de varios contaminantes, en distintos espacios contaminados, se ha definido la existencia de tres ciclos de inmisión: dial, semanal y anual. Previamente se ha analizado la estructura temporal de la emisión, con el fin de conocer el peso de los factores antrópicos en los ciclos de inmisión. Se ha advertido que los períodos dial y semanal tienen un origen antrópico y que sobre el anual actúan intensamente factores físicos diversos, de los que el viento es uno de los más importantes. Se ha comprobado el distinto comportamiento anual de los núcleos urbanos y de las áreas rurales, así como la existencia de los dos primeros ciclos exclusivamente en las ciudades. Por último, se verifica una evolución diferenciada de los valores estacionales de la deposición ácida y del SO₂.

Bibliografía

- CONILLERA, P. RABASSA, C. (1978): *Variación de la contaminación durante las veinticuatro horas del día en una atmósfera urbana*, CYP, 60: 5-9.
- GEORGE, P. (1972): *El medio ambiente*, Oikos-Tau, Barcelona.
- LAST, F. T. (1989): *Consecuencias para el Medio Ambiente de las emisiones originadas por los combustibles fósiles. En lluvia ácida. Impacto ambiental de las Grandes Centrales de Combustión* Miraguano, Madrid, pp. 23-47.
- STOKER, H.S., SEAGER S. L. (1981): *Química ambiental: contaminación del aire y del agua*, Blume, Barcelona.