

|                   |   |         |         |      |
|-------------------|---|---------|---------|------|
| ZUBÍA Monográfico | 8 | 245-274 | Logroño | 1996 |
|-------------------|---|---------|---------|------|

## TRÁFICO Y ALTERACIÓN DEL MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN EN LA CIUDAD DE LOGROÑO

S. Caro Calatayud\*  
N. Pascual Bellido\*\*  
S. Pavía Santamaría\*\*\*

### RESUMEN

*En los últimos años se ha producido un aumento de la movilidad dentro de la ciudad de Logroño. Este incremento se ha manifestado en la multiplicación de las conexiones e intercambios entre los distintos sectores urbanos. Sin lugar a dudas, las vías principales que atraviesan la ciudad y, especialmente, el centro (C.B.D.) constituyen uno de los puntos que mayor volumen de tráfico soportan al concentrarse las actividades terciarias y de servicios. La polución generada por el tráfico en estas áreas provoca la suciedad de los edificios por depósito de contaminantes. Algunos contaminantes atmosféricos reaccionan con los minerales que componen la piedra y otros materiales de construcción dando lugar a alteraciones típicas provocadas por la contaminación urbana, como la formación de pátinas negras y costras sulfatadas.*

*Palabras clave: tráfico, vías, centro, contaminación, pátinas negras, costras sulfatadas, alteración, Logroño.*

*In the last years mobility within Logroño town has remarkably increased. Connections and changes in between different town sectors have multiplied. Undoubtedly, main tracks and especially the central business district (C.B.D.) are the areas with-*

---

\* Geóloga. Investigadora Agregada del Instituto de Estudios Riojanos. Muro de La Mata, 8. 26001 Logroño.

\*\* Geógrafa. Investigadora Agregada del Instituto de Estudios Riojanos. Muro de La Mata, 8. 26001 Logroño.

\*\*\* Geóloga. Investigadora. Trinity College. Dublin 2.

*tanding the highest traffic volume concentrating tertiary and service activities. Pollution produced by traffic in these areas leads to soiling of buildings. Soiling is caused by deposition of atmospheric pollutants. Some of these pollutants are able to react with minerals in the stone or other building materials producing typical decay forms such as black layers and sulphation crusts.*

*Key words: traffic, roads, central business district, pollution, black layers, sulphation crusts, weathering, Logroño (Spain).*

## INTRODUCCIÓN

La preocupación por la preservación del medio ambiente se ha convertido en los últimos años en uno de los temas clave de investigación abordado desde diferentes ramas científicas (Geografía, Geología, Biología, etc.). Cuando se habla de medio ambiente se piensa automáticamente en bosques, ríos, parques naturales, etc., es decir, en espacios más o menos desligados físicamente de la vida cotidiana del hombre. En este sentido, la ciudad que, constituye el hábitat del hombre, ha sido marginada al no considerarla como una parte integrante del medio ambiente y, en muchas ocasiones, como una negación del mismo. Sin embargo, también el medio urbano es Naturaleza y, como tal, un organismo vivo y complejo. En él se concentran la población y las actividades económicas que sustentan su desarrollo. Las fuertes interrelaciones que se establecen entre todos los agentes que se dan cita en el medio urbano hacen que ésta se configure como un sistema abierto y dinámico integrado. Pero, además, se comporta como un sistema medioambiental «puesto que las comunidades urbanas son una distribución ecológica de gentes y servicios, en la cual la localización espacial de cada unidad está determinada por sus relaciones con otras unidades» (Higuera, A., 1989).

Lo cierto es que en las últimas décadas se viene desarrollando un conflicto muy fuerte, sobre todo en las grandes ciudades, en el que uno de los contendientes es la contaminación. Cada vez resulta más difícil vivir en la ciudad porque las armas para luchar contra las consecuencias negativas del desarrollo no son todo lo eficaces que se desearía. Uno de los responsables directos de esta situación es el tráfico. De hecho, «la evidencia de conflictos entre ciudad y automóvil ha convertido a la idea de calmar el tráfico en una referencia obligada de cualquier discurso sobre la ciudad, sobre sus múltiples crisis y, en particular, sobre la aplicación de criterios ambientales y sociales en su resolución» (Sanz, A., 1994). En España la polémica ciudad y tráfico apenas si se ha incorporado al diseño y la práctica urbanística, aunque hay bastantes indicios de que la situación está cambiando.

Si bien son las grandes ciudades las que más temprana y peligrosamente se han debido enfrentar a este conflicto, el problema se ha hecho extensivo a las ciudades de menor tamaño que disponen de menos recursos y están peor preparadas para ello. En las ciudades de tamaño medio el parque automovilístico ha experimentado un fuerte desarrollo. Estas ciudades han crecido rápidamente en los últimos cin-

cuenta años al acoger a gran parte de la población de su región y ser centro de atención de la política de Planes de Desarrollo de los años sesenta (Pascual, N., 1994). El impacto del automóvil en las ciudades medias españolas se ha dejado sentir especialmente en los cascos antiguos y zonas adyacentes. Inicialmente concebidas para otros usos, estas áreas de gran interés artístico han sufrido numerosos impactos físicos y ambientales: «Cuando no era el trazado de una autovía demoliendo su tejido urbano eran los ruidos o accidentes o simplemente la intrusión producida por la congestión y aparcamiento de la calle» (De Francisco, E., Miró, C., y Puig-Pey, J., 1980). No hay que olvidar que los actuales ritmos de crecimiento del parque automovilístico congestionarán a medio plazo estas ciudades que, además, cuentan con el inconveniente de estar peor dotadas en infraestructuras (vías espaciosas, aparcamientos, transporte colectivo alternativo, etc.); y en las que se han adoptado todas las transformaciones producidas en las grandes metrópolis, unas veces como consecuencia de los procesos de difusión y contagio y otras por necesidades urgentes. La forma de adaptarse a esta nueva situación no se ha llevado de una manera equilibrada, en primer lugar, por la rapidez del fenómeno cuyo patrón venía dado y, en segundo lugar, por la cantidad de factores que han influido en las transformaciones cuantitativas del espacio urbano, circunstancia que ha dado como resultado una confusión entre las causas y las consecuencias, de tal forma que no pueden diferenciarse unas de otras. El resultado ha sido en muchos casos una reproducción a pequeña escala de los problemas con que se encuentran las grandes ciudades, es decir, una pérdida importante de la funcionalidad que las caracterizaba.

La constatación de este peligro y la necesidad de reconocer y valorar adecuadamente el papel de la calidad ambiental en las áreas urbanas, así como la necesidad de proteger el patrimonio artístico y el propio parque de viviendas, nos ha llevado a la realización de esta breve aportación en la que se pone de manifiesto cómo los efectos negativos de la contaminación generada por la circulación rodada se manifiestan sobre construcciones de la ciudad de Logroño.

El siguiente trabajo se ha estructurado en dos bloques. En el primer bloque se describe el funcionamiento del tráfico en los nodos y avenidas seleccionados y, en el segundo, se relaciona el tráfico con las costras y pátinas negras.

## 1. HIPÓTESIS DE PARTIDA Y MÉTODO

**HIPÓTESIS:** las pátinas negras y costras de sulfatación se desarrollan en construcciones situadas en nodos y, o avenidas con alta intensidad de tráfico.

Previamente hay que señalar que no se tienen registros de contaminantes en el casco urbano de Logroño. Sólo hay una estación en el observatorio geofísico de la Nacional 232 a su salida de Logroño, cuya finalidad es determinar la pureza del aire, es decir, la contaminación que se incorpora a la circulación atmosférica (Caro, 1994).

El MÉTODO seguido para confirmar la validez de dicha hipótesis es el siguiente:

1) Selección de los puntos de aforo. Se disponían de datos de intensidad de tráfico en 48 nodos del casco urbano de Logroño. De todos ellos se eligieron doce con mayor intensidad media de tráfico en hora punta.

2) Inspección de los puntos de aforo seleccionados para ver el estado de los edificios. Con este examen visual fijamos los puntos de muestreo correspondientes a construcciones con pátinas y costras negras.

Con estos dos pasos, determinamos la zona de estudio dentro del casco urbano. A continuación:

3) Analizamos los puntos de muestreo: tráfico (examen exhaustivo de su distribución e intensidad) y material de construcción alterado.

4) Valoramos los efectos de la contaminación considerando el tráfico como principal foco, e identificamos las formas de alteración macroscópicas y microscópicas desarrolladas en dichas construcciones.

5) Describimos los procesos y mecanismos que controlan las formas de alteración detectadas.

Con este método, conocemos cómo funciona el tráfico en esa zona del casco urbano y las alteraciones que se originan en las construcciones como consecuencia de los contaminantes que despiden los vehículos.

## **2. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO**

La zona de estudio comprende el centro urbano de Logroño. Logroño, capital de la Comunidad Autónoma de La Rioja, está situada en el sector centro-oeste de la Depresión del Ebro, en la zona de transición entre La Rioja Alta y La Rioja Baja. Por su excelente localización en el eje del Ebro, es el nexo de comunicación entre el País Vasco y el Arco Costero Mediterráneo.

Los relieves más importantes cercanos a la ciudad están formados por materiales terciarios y son los siguientes: al norte el Cerro de Cantabria (491m.) y el Monte Corvo (490m.), al suroeste la Peña de Logroño (541m.) y al noroeste El Cortijo (456m.). Se trata de cerros testigo muy erosionados que no constituyen una barrera en la ventilación de la ciudad.

Las avenidas del casco urbano donde se situaron los puntos de aforo son: Vara de Rey, Gran Vía, República Argentina, Puente de Piedra-San Francisco, Sagasta, Bretón de los Herreros y Avda. de Portugal. Corresponden a nodos con elevada intensidad de tráfico. En dichas vías se escogieron los puntos de muestreo que corresponden a edificaciones en las que se detectan alteraciones en el material de construcción. En el plano de la figura 1 se indican con números la localización de los aforos (la numeración de los aforos se corresponde con la del Ayuntamiento) y con letras las construcciones muestreadas.

| <i>Intersecciones analizadas</i>        | <i>Edificaciones muestreadas</i>                 |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 4. Gran Vía-Vara de Rey                 | A. Puente de Piedra                              |
| 5. Pérez Galdós-Vara de Rey             | B. Edificio intersección Sagasta -Portales       |
| 8. Portales-Sagasta                     | C. Muralla del Revellín                          |
| 9. Muro de la Mata-Sagasta              | D. Gran Vía nº 47                                |
| 10. Miguel Villanueva-Avda. de La Rioja | E. Gran Vía nº 28                                |
| 11. Gran Vía-San Antón                  | F. Edificio intersección Gran Vía-Rep. Argentina |
| 12. Avda. de Portugal-Víctor Pradera    | G. Vara de Rey nº 14-16                          |
| 13. Gran Vía-Víctor Pradera             | H. Vara de Rey nº 24                             |
| 15. Gran Vía-Murrieta                   |                                                  |
| 35. Comandancia-General Urrutia         |                                                  |
| 41. Pte. de Piedra-San Francisco        |                                                  |
| 49. Jorge Vigón-Juan XXIII-Belchite     |                                                  |

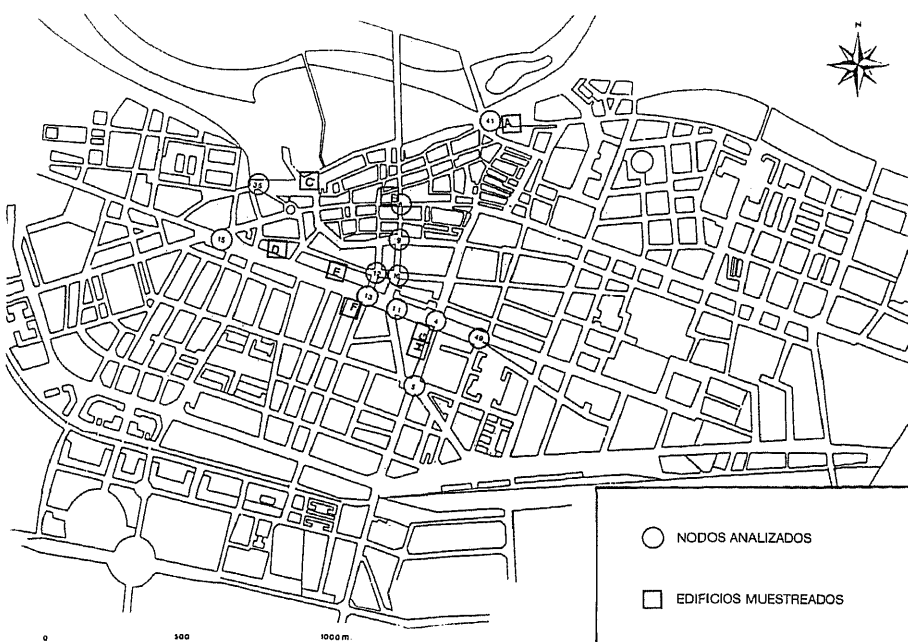


Figura 1: Localización de los aforos y de las construcciones muestreadas.

### 3. ANÁLISIS DEL TRÁFICO URBANO EN LOGROÑO

#### 3.1. Método

El análisis del tráfico en los puntos en que se centra este trabajo se hizo utilizando las siguientes fuentes:

— *Aforos automáticos*; de los que únicamente se obtienen datos de dos direcciones circulatorias.

— *Aforos manuales*; que corresponden a intersecciones de movimientos complejos en los que se recogen todas las direcciones posibles y cuyos datos fueron explotados en profundidad en Pascual, N. (1993).

— *Mapa sonoro de Logroño*, cuya información se encuentra en el Ayuntamiento de Logroño. En los mapas de isofónicas se agrupan las vías urbanas en función de los decibelios (DBA) que se registraron durante el período de medición (de 8:00 a 22:00 horas y de 22:00 a 8:00 horas). Como en este caso interesaba destacar el efecto del tráfico se hizo hincapié en las mediciones diurnas. Las líneas isofónicas se alargaban en el sentido de las vías más importantes y, sobre todo, en la parte correspondiente al centro de la ciudad. Estos resultados coincidían con las intensidades medias más elevadas obtenidas en los aforos. Los puntos aforados registraban entre 65 y 75 DBA.

— *Tasa de habitantes por vehículo (hab./vh.)* en cada una de las manzanas urbanas que configuran el plano de la ciudad (Figura 2). Con las tramas más oscuras aparecen las manzanas en las que la tasa de motorización es más elevada (es decir, el número de habitantes por vehículo es más bajo). En definitiva, en este plano se refleja claramente dónde están los vehículos (Pascual, N., 1994).

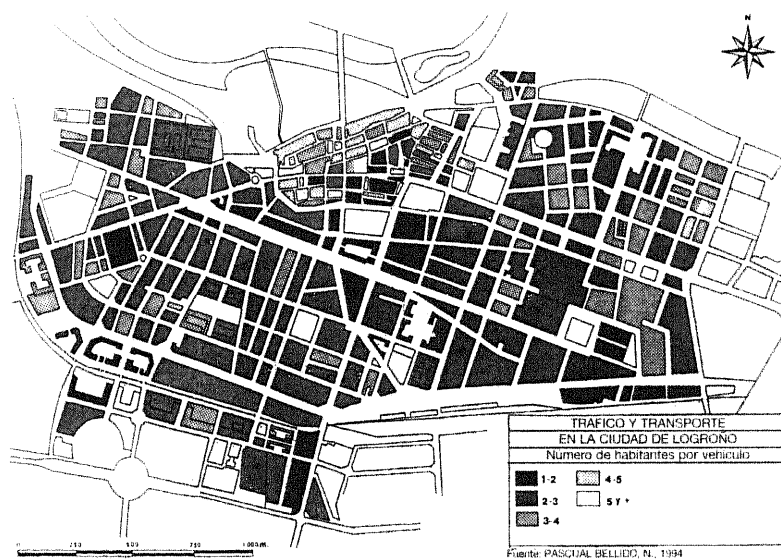


Figura 2: Tasa de habitantes por vehículo en cada una de las manzanas urbanas que configuran el plano de la ciudad.

En cada punto de muestreo se contabilizó el movimiento de los vehículos a lo largo de una semana presentándose los datos referidos a vehículos por hora. Este conjunto de datos nos permitió conocer tres parámetros de interés:

1. *La intensidad media diaria* como promedio de tráfico semanal (I.M.D.)
2. *La intensidad media de vehículos en días laborables* (I.M.V.D.L.)
3. *La intensidad media de vehículos en días festivos* (I.M.V.D.F.).

Con los horarios elegidos para los muestreos se intentan reflejar las características del tráfico en distintas situaciones. Conociendo previamente el funcionamiento de la ciudad se seleccionaron tres períodos de tiempo: de 13h. a 14h., de 16h. a 17h., y de 18h. a 19h. La primera y la última franja corresponden a fases de alta intensidad de tráfico y la segunda a un período de intensidad más suave (Pascual, N., 1994). Las horas de intensidad de tráfico más bajas se detectan al finalizar el día, a partir de las 22:00 horas. Se ha considerado que este horario, al no estar vinculado al período de funcionamiento y actividad normal de la ciudad, carece de interés. Por ello, se ha elegido una franja horaria de intensidad baja de tráfico, aunque incorporada al horario habitual de actividad laboral que abarcaría, en este caso, desde las 7:00 horas a las 20:00 horas.

La distribución semanal del tráfico en las intersecciones permite diferenciar los nodos con un comportamiento positivo o negativo a medida que se avanza hacia el fin de semana.

El análisis de la circulación en las avenidas más importantes permitió conocer el tráfico desde una perspectiva espacial más amplia. La información se recogió a lo largo de una semana desde las 7:00h. hasta las 24:00h. Los aforadores se situaron en los siguientes puntos:

- Gran Vía
- Vara de Rey-Avda. de Madrid
- República Argentina
- Puente de Piedra-Calle San Francisco

Toda la información obtenida ha sido reflejada en una serie de gráficos que hacen más rápida y sencilla su lectura.

### **3.2. Evolución del crecimiento de la ciudad de Logroño**

Logroño, como otras ciudades españolas de tamaño medio, ha experimentado en las últimas décadas transformaciones en su potencial demográfico-económico, y cambios en el plano y diseño urbano. Ello ha repercutido en el incremento considerable de la movilidad intra e interurbana que, a su vez, ha favorecido la multiplicación de las conexiones e intercambios entre los diferentes sectores que constituyen

este «modesto» subsistema urbano. Hay tres circunstancias que sirven de catalizadoras a este proceso de transformación; por una parte, su excelente localización en el eje del Ebro, por otra, su condición de capital, y, por último, la entrada en funcionamiento a principios de los años setenta del Polo de Desarrollo. La rápida expansión de la ciudad en las décadas de los años sesenta y setenta sirvió para articular la red viaria y el plano urbano tal y como lo conocemos en la actualidad. Sin duda, la verdadera y rápida expansión comenzó a partir del traslado de la vía férrea a su localización actual (desde la actual Gran Vía se trasladó hacia el sur, en la Avda. de Lobete).

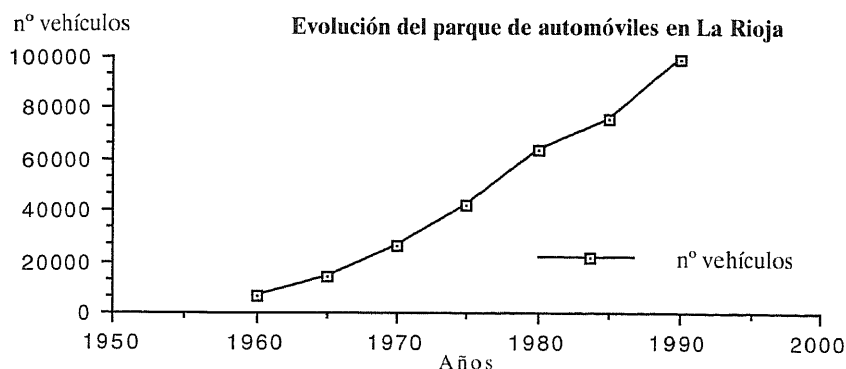
En nuestros días el crecimiento no se manifiesta tan espectacular como en épocas anteriores. La década de los años ochenta se caracterizó por su atonía y crisis en todos los sectores, aunque a partir de 1985 y, gracias al sector industrial, se inició una reactivación que produjo un crecimiento autosostenido (Climent, E., 1992). Rebasado de nuevo el ferrocarril, la ciudad sigue una tendencia a la expansión hacia el sur, por una parte, al valle del río Iregua, donde reside una población de renta alta en urbanizaciones y casas unifamiliares y, por otra, en la prolongación en fecha más reciente de la calle de Chile que, una vez conectada con la vía de Circunvalación, ha pasado a convertirse en un distribuidor urbano de primer orden por su alto grado de accesibilidad (Pascual, N., 1993). A estas dos hay que añadir la expansión por el su-este, concretamente en el barrio de La Estrella, y el suelo residencial previsto en el nuevo *Plan General de Ordenación Urbana en el polígono industrial de Cascajos*. En la zona oeste de la ciudad se aprecia una mezcla de usos. Una vez absorbido el barrio de Yagüe, construido en los años cincuenta y que acoge a una población fundamentalmente obrera, se alternan áreas residenciales con pequeñas industrias. En el este, a lo largo de la carretera de Zaragoza, se han instalado preferentemente complejos industriales, de igual modo que en la margen izquierda del río Ebro, en el norte de la ciudad (Pascual, N., 1993).

### 3.3. Evolución del parque de automóviles

La concentración de un alto porcentaje de la población de la Comunidad en la capital, así como la incorporación a la misma de los habitantes de su entorno para abastecerse de bienes y servicios, convierten el transporte comarcal en una necesidad de primer orden.

El modesto papel de la capital riojana no impide que por ella circule un volumen considerable de vehículos. Efectivamente, a la vez que la ciudad se expansionaba y crecía en población y poder económico, iba aumentando el número de vehículos. De 1960 a 1991 el parque de automóviles de La Rioja ha pasado de 6.365 unidades a 99.124 (Gráfico 1). El incremento del parque a partir de los años ochenta es espectacular sobre todo a finales de la década.

Gráfico 1

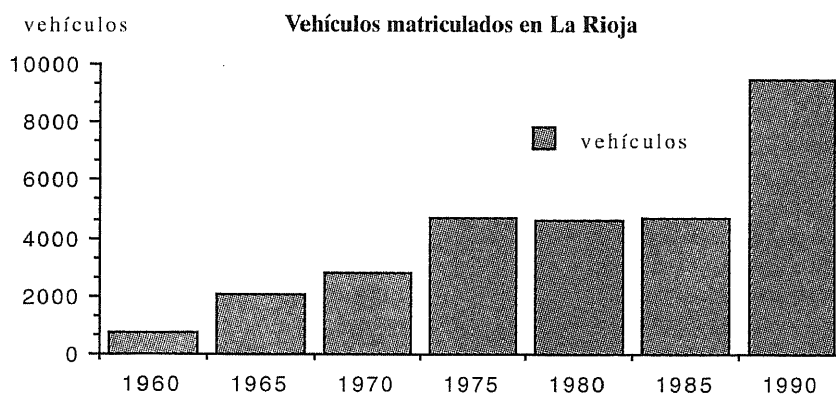


Fuente: Anuario Estadístico General de la Dirección General de Tráfico, 1991.

El número de vehículos por 1.000 habitantes es de 382, lo que sitúa a la Rioja en el puesto 21 con respecto al resto de las provincias españolas. Para España en 1991 este índice alcanzaba los 430 vh./1.000 hab. Del volumen total de vehículos de la Comunidad, el 48% se encuentra empadronado en Logroño, donde para 1992 la ratio habitantes/vehículo era de 2,54 y el número de vehículos por 1.000 habitantes de 392 (Pascual, N., 1994).

En el Gráfico 2 donde se representa la tendencia de las matriculaciones también queda palpable este proceso ascendente tras el amesetamiento producido entre 1975 y 1985 en relación con la crisis energética y económica que afectó a todo el país: entre 1960 y 1991 el incremento de las matriculaciones ha sido de 1.158%.

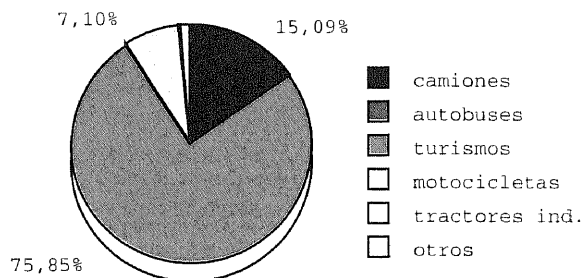
Gráfico 2



Fuente: Anuario Estadístico General de la Dirección General de Tráfico, 1991.

Gráfico 3

**Parque Nacional del Automóvil de 1991**



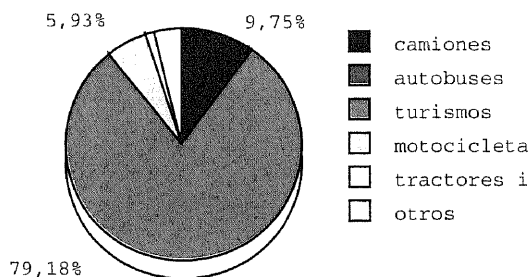
Fuente: Anuario Estadístico General de la Dirección General de Tráfico, 1991.

Por otro lado, hay que resaltar que del total de vehículos empadronados en la capital riojana, el 79,17% son turismos y el resto se reparte entre los demás grupos. Como ocurre para el resto del país el peso de los vehículos de turismo es muy superior con respecto al resto (Gráficos 3 y 4). Este es uno de los aspectos que más preocupa en relación con el mantenimiento de la calidad ambiental en las áreas urbanas; los vehículos de turismo son los mayores consumidores de espacio y los agentes contaminantes más activos, tanto por las emisiones de gases como por los ruidos que generan.

El incremento desmesurado del parque, el uso indiscriminado del vehículo privado incluso en desplazamientos cortos, y su desigual reparto espacio-temporal en el interior urbano, generan desequilibrios en su funcionamiento, lo que pone de manifiesto la necesidad de analizar la problemática que afecta a numerosas ciudades medias españolas, que han visto descender los niveles de accesibilidad y de calidad ambiental y hacerse cada vez más difíciles los flujos de personas y mercancías (Pascual, N., 1994).

Gráfico 4

**Parque automóvil de Logroño**



Fuente: Censo de vehículos de Logroño, 1991 y elaboración propia.

La marcha por caminos separados de la planificación urbana y de la planificación de las infraestructuras de transporte ha podido ser la causante de estos desajustes en núcleos en los que, en principio, no se pensó que pudiesen sufrir los males de las grandes ciudades. «Para muchos el planeamiento del transporte se limitaba a actuar sobre los diferentes medios de moverse, mientras que el planeamiento urbano lo hacía sobre los usos del suelo sin conexión mutua. El primero de ellos ha prevalecido, en lo que a actuación se refiere, sobre el segundo, invirtiendo un orden que era más racional» (Herrero, A., Menéndez, F., Molina, E., Puig-Pey, P. y Rubio, J., 1980). Hay que tener en cuenta que las carreteras dependían del Ministerio, mientras que el planeamiento urbano era competencia municipal y se podía conectar en arterias urbanas.

### 3.4. Funcionamiento del tráfico

La localización de Logroño en el sector centro-oeste de la Depresión del Ebro ha favorecido su caracterización como ciudad de paso y de encrucijada de caminos (las vías paralelas al Ebro la comunican con el denominado eje económico del Ebro; por otro lado, su conexión con las vías del Pirineo le permitieron incorporarse al Camino de Santiago y, por último, hacia el sur la ciudad se conecta con la Meseta a través de Soria, aunque con mayores dificultades topográficas).

Apoyándose en estas vías tradicionales la ciudad moderna se ha articulado de manera que los dos ejes principales que la vertebran han servido de directrices para la configuración de las avenidas más importantes (de norte a sur el eje con entrada por la Carretera de Pamplona y salida por la de Soria y de este a oeste el eje con entrada por la Carretera de Zaragoza y salida por la de Burgos).

El esquema viario de Logroño no sigue un modelo radioconcéntrico puro (en Pascual, N., 1993, puede verse el grafo de la red). A partir del Casco Antiguo el diseño del viario es el resultado, por una parte, de la combinación de las formas de crecimiento de la ciudad (yuxtaposición, ensanches, crecimiento a «saltos», etc.) que caracterizan a sus etapas evolutivas (etapa pre-industrial, industrial o post-industrial o fases de juventud, madurez y vejez) y, por otra, de los avances tecnológicos en materia de transporte que, en cada estadio evolutivo, tratarán de ofertar la mayor accesibilidad posible a la red. En definitiva, se trata de la combinación entre planificación urbana y planificación del transporte. La falta de coordinación entre ambas actuaciones es, para muchos autores, la causa principal de los problemas de congestión con los que hoy se enfrentan las ciudades de nuestro país. Uno de los elementos que mayor singularidad otorga al modelo actual de la ciudad de Logroño es la expansión urbana en cinturones sucesivos de edificación. Esto ha contribuido al desarrollo de un esquema semiconcéntrico al que se ajustan todas las vías, salvo las de acceso que conectan con la red nacional, comarcal o local siguiendo un modelo, grosso modo, radial (Pascual, N., 1994). La amplia difusión del modelo radioconcéntrico hace que hoy se incluyan en él todos aquellos en los que el esquema básico responda a las funciones de **circunvalar** y **penetrar**: grandes vías urbanas que penetran hasta el centro y que quedan unidas en los accesos por anillos circunvalatorios.

Si bien, como ya se ha puesto de manifiesto, la red de Logroño no se ajusta al modelo radioconcéntrico, hay que señalar que comparte con él sus funciones características: «conectar, circunvalar, distribuir y penetrar» (Puig-Pey, P., 1993). Las vías secundarias conectan con las grandes arterias que penetran hasta el centro de la ciudad y con vías que actúan como anillos circunvalatorios dentro del casco urbano; estas vías se encargan de la distribución del tráfico interior. A su vez, las arterias importantes (Vara de Rey, Gran Vía, Avda. La Paz, etc.) conectan con los accesos (Nacional 232 dirección Zaragoza y Burgos, Nacional 111 a Soria) y con el anillo circunvalatorio de la periferia urbana impidiendo que el tráfico de paso atraviese la ciudad. La mayor parte de los vehículos que se desplazan al centro en días laborables proceden de la periferia urbana y de la comarca de Logroño.

Según se desprende de la tabla 1, las intersecciones de máxima intensidad y de intensidad muy elevada, se sitúan en los nodos estratégicos desde el punto de vista de su localización en la red arterial. Son las vías más importantes que, además, conectan con las salidas/entradas a la ciudad. Así encontramos la intersección Gran Vía-Vara de Rey (nodo 4), como la más transitada tanto en hora punta como en hora valle. Gran Vía desde esta conexión hacia el oeste y Vara de Rey, tanto en su contacto con Gran Vía como en su contacto con la Carretera de Circunvalación. Vara de Rey y Gran Vía son los ejes más importantes de la ciudad.

#### 3.4.1. *Vara de Rey*

Sin lugar a dudas, la principal vía de la ciudad es Vara de Rey y su prolongación por la Avda. de Madrid. Su trayecto sigue una orientación norte-sur y divide la ciudad en dos mitades constituyéndose en el eje vertebrador de la misma. Desde sus orígenes su urbanización se llevó a cabo dotándola de amplitud y de características morfo-estructurales que permiten el tránsito rodado cómodo, aún soportando las intensidades medias de vehículos diarias más elevadas de la ciudad (Tabla 1). En ella se establecieron las clases sociales acomodadas y la mayor parte de la actividad terciaria.

Vara de Rey conecta el sector sur con el centro urbano y sirve de canalizador de todo el tráfico procedente de la Carretera de Soria. Recibe, por otro lado, aportes de todos los distribuidores urbanos en su recorrido más meridional y pierde parte de su volumen en el contacto con arterias de rango similar hacia el norte de la ciudad (Gran Vía, Jorge Vigón,...). En el Gráfico 5 se indica la evolución del tráfico a lo largo de esta arteria. Los volúmenes recogidos son más importantes en el sector meridional que en el septentrional. Sin embargo, la punta que más nos interesa destacar es la que se localiza en su conexión con Gran Vía. Se constata una pérdida de tráfico en este punto, pero hay que tener en cuenta el desvío de una parte de éste hacia Gran Vía y Jorge Vigón. Interesa resaltar, desde el punto de vista ambiental, que existe un flujo importante de vehículos que acceden o salen del centro (tanto con motivo de la realización de compras, como con motivo de la realización de gestiones privadas) y que contribuyen a generar contaminación, a pesar de la amplitud de las vías.

Tabla 1: Dinámica semanal del tráfico (v.h.)

| Nodos | H.P.M.* | H.P.T. | H.LL. | Descenso<br>H.P.M./H.LL.(%) | Descenso<br>H.P.T./H.LL.(%) |
|-------|---------|--------|-------|-----------------------------|-----------------------------|
| 4     | 2634    | 2489   | 1743  | 34                          | 30                          |
| 5     | 2290    | 2015   | 1522  | 34                          | 25                          |
| 8     | 749     | 564    | 428   | 43                          | 24                          |
| 9     | 961     | 901    | 660   | 31                          | 27                          |
| 10    | 1161    | 953    | 661   | 43                          | 31                          |
| 11    | 2254    | 1972   | 1314  | 42                          | 33                          |
| 12    | 1207    | 983    | 717   | 41                          | 27                          |
| 13    | 1983    | 1194   | 917   | 54                          | 23                          |
| 15    | 2003    | 1771   | 1412  | 30                          | 20                          |
| 35    | 985     | 795    | 652   | 34                          | 18                          |
| 41    | 1488    | 1181   | 1093  | 27                          | 7                           |
| 49    | 1070    | 895    | 744   | 30                          | 19                          |

Fuente: Pascual, N., 1994

\*- H.P.M.- Hora punta Mañana

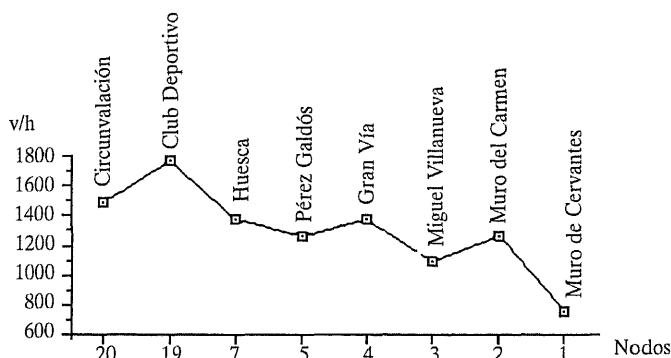
H.P.T. Hora Punta Tarde.

H.LL. Hora Llana

Durante los días laborables pueden diferenciarse en Vara de Rey tres franjas horarias en las que el tráfico se comporta de forma diferente (Gráfico 6). La primera, con mayor intensidad de tráfico y que corresponde a los períodos de entrada y salida del trabajo, se sitúa a las 8:00 horas y desde las 14:00 a las 15:00 horas. La segunda, con intensidad de tráfico intermedia, va desde las 9:00 a las 14:00 horas. Finalmente, una tercera franja, que abarca desde las 17:00 a las 23:00 horas, donde se comprueba cómo el tráfico va descendiendo de forma paulatina, alcanzándose el mínimo de circulación a las 24:00 horas.

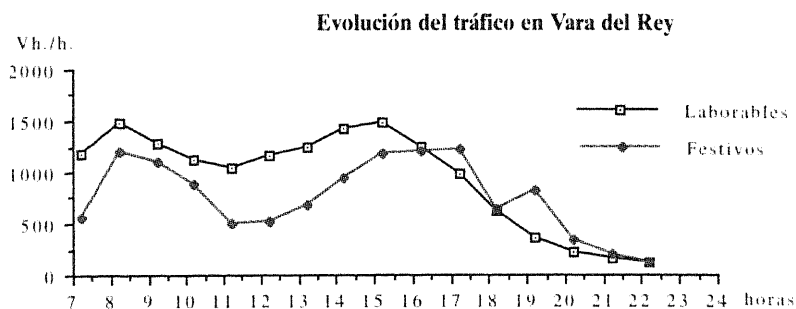
Gráfico 5

**Evolución del tráfico a lo largo de Vara de Rey**



Fuente: Pascual, N., 1994.

Gráfico 6



Fuente: Pascual, N., 1994.

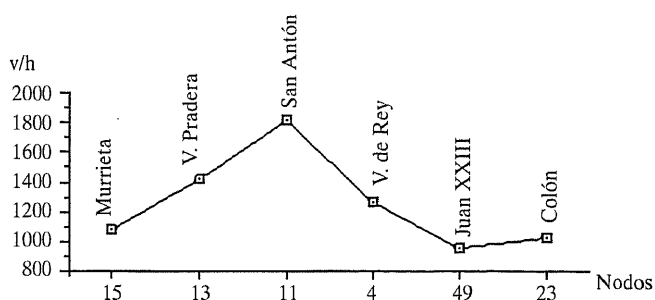
### 3.4.2. Gran Vía

Es la vía más importante en el sector occidental de la ciudad y se prolonga hacia el oeste por Gonzalo de Berceo. Sigue una trayectoria este-oeste y recoge buena parte de los vehículos procedentes del oeste de la ciudad y del sur una vez que dejan Vara de Rey (por Carretera de Soria), además de permitir el acceso de los vehículos al centro urbano. Articula, por lo tanto, el centro moderno de la ciudad. Estructuralmente es la vía mejor dotada, tiene 45m. de anchura y cuenta con dos carriles unidireccionales y una calzada central de doble sentido. El nuevo trazado del ferrocarril se recoge en el Plan de Alineaciones de 1947, lo que indica que hasta bien avanzado el siglo éste circuló por Gran Vía. Hasta 1958 no comenzaron las obras para el nuevo trazado, que se inauguró el 21-IX-1962. Como acceso a ella se abrieron vías de cierta importancia (Miguel Villanueva, Avda. de La Rioja, Víctor Pradera o Avda. de Portugal en el límite con el Casco Antiguo).

Analizando el gráfico 7 correspondiente a la hora punta puede observarse una mayor carga de tráfico en su tramo más occidental. En la intersección con Marqués de Murrieta vienen a desviarse aproximadamente 1.500 v./h., cifra que se incrementa hasta alcanzar una media de 1.800 v./h. a la altura de la Avda de La Rioja y San Antón. A partir de este punto se produce un importante descenso que continúa por Jorge Vigón. Este descenso tiene una explicación clara si tenemos en cuenta que en la intersección de Gran Vía con Vara de Rey se produce una desviación importante de vehículos hacia esta última arteria.

Hasta fechas recientes, el mayor volumen de vehículos se contabilizó en el este de Gran Vía en su contacto con Vara de Rey pero, al construirse el nudo de Chile (intersección Gran Vía-Chile), el acceso de los vehículos desde el área de influencia de la ciudad por este sector se ha convertido en una alternativa fundamental (salvo para los vehículos procedentes del Valle del Iregua que, lógicamente, siguen utilizando Vara de Rey).

Gráfico 7

**Evolución del tráfico a lo largo de Gran Vía (H.P.)**

Fuente: Pascual, N., 1994.

**3.4.3. Chile**

Se trata de una arteria urbanizada a partir del traslado de la vía del ferrocarril a su emplazamiento actual. En realidad, como ya se ha puesto de manifiesto en párrafos precedentes, el traslado del ferrocarril ha constituido la intervención urbanística de mayor importancia en las etapas recientes del desarrollo de la capital riojana. Estructuralmente, Chile es un eje bien dotado (tiene aproximadamente 25m. de anchura) y permite la distribución cómoda de los vehículos. No existen problemas de estacionamiento al existir vados residenciales suficientes. La movilidad en torno a este sector está impulsada no sólo por el peso de la población joven, sino también por la importante superficie dedicada a suelo dotacional (sanidad, enseñanza, administración,...). No existen datos pormenorizados como en los casos anteriores y sólo se cuenta con volúmenes globales. La media de vehículos en hora punta es de 1.100 y cada día atraviesan por el nudo Chile-Avda. Club Deportivo con dirección a Logroño 11.100 vehículos. Estos datos dan una idea clara de su importancia.

A estas arterias de primer orden hay que añadir los puntos de muestreo correspondientes a República Argentina-Gran Vía y Pte. de Piedra-San Francisco pues, aunque son dos vías de categoría inferior, también en ellas se han detectado alteraciones en algunos de sus edificios cuya explicación parece estar directamente relacionada con la circulación rodada.

**3.4.4. República Argentina**

Está orientada de norte a sur (es paralela a Vara de Rey), discurre por el centro-oeste de la ciudad y conecta Gran Vía con la Avda. del Club Deportivo. Sin estar estructuralmente preparada para soportar fuertes niveles de tráfico (su anchura no supera los 20m.), es un camino habitualmente utilizado para los desplazamientos entre el centro-oeste de la ciudad y la periferia sur. No obstante, hay que tener en cuenta que la reciente remodelación de Chile ha supuesto un descenso en el volumen del

tráfico de paso por esta vía; sin embargo, la posibilidad de estacionar los vehículos dentro del centro funcional, ejerce un poder de atracción muy fuerte que hace que el flujo de tráfico siga siendo importante. El principal inconveniente que presenta esta arteria es su falta de conexión directa con la Circunvalación sur. Este hecho supone que los vehículos que la eligen como itinerario de salida hacia el sur tengan que desviarse por la Avda. del Club Deportivo e incorporarse a Vara de Rey, arteria que, como ya se vió, presenta importantes problemas de fluidez de tráfico.

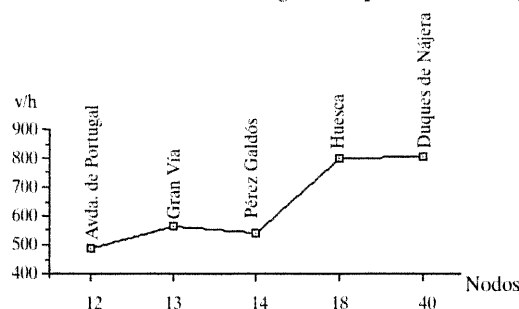
En el gráfico 8, correspondiente a la evolución del tráfico en hora punta, se observa cómo su volumen se incrementa de norte a sur desde Avda. de Portugal en el límite del casco antiguo hasta alcanzar su máximo en Duques de Nájera. A pesar de lo que pudiera parecer, Gran Vía no tiene una intensidad de vehículos elevada en su conexión con República Argentina. El peso de Vara de Rey y de la propia Gran Vía hacia el oeste, hacen que el volumen de tráfico en este punto (Gran Vía-República Argentina) se vea superado hacia la calle de Huesca y, sobre todo, hacia Duques de Nájera que funciona como una ronda que circunvala el sur del casco urbano.

### 3.4.5. Puente de Piedra

El gráfico correspondiente al Pte. de Piedra (Gráfico 9) tiene una intensidad media de vehículos inferior a la registrada en los gráficos anteriores. Sin embargo, es necesario recordar que en este sector de la ciudad se localizan una serie de empresas que, si bien no constituyen un verdadero polígono industrial como ocurre en el este de la ciudad (polígono industrial de Cantabria), generan un volumen de desplazamientos nada desdeñable al que se añaden los vehículos que se incorporan a la ciudad desde los municipios vecinos de Álava. En este zona se han detectado importantes alteraciones en el material de construcción de algunos edificios (Hospital Provincial, viviendas localizadas junto a la Avda. de Viana) que se han relacionado con el tráfico y, sobre todo, con los vehículos pesados que transitan por esta zona (se ha constatado la presencia frecuente de camiones de cierto tonelaje durante el horario laboral).

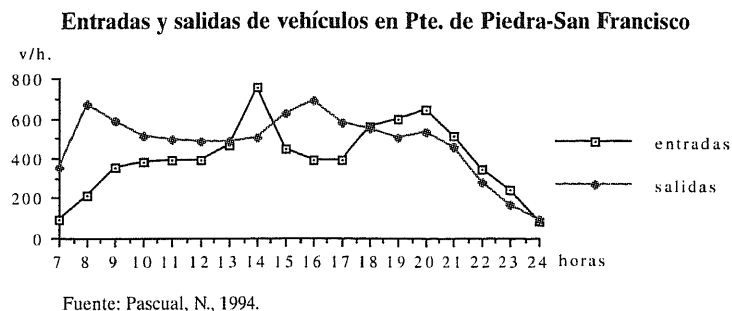
Gráfico 8

#### Evolución del tráfico a lo largo de República de la Argentina (H.P.)



Fuente: Pascual, N., 1994.

Gráfico 9



#### 3.4.6. El tráfico en el Casco Antiguo de Logroño

El centro histórico de Logroño no constituye una excepción con respecto a otras ciudades de características similares. Se localiza al norte de la ciudad adosado al río Ebro y constituye un bloque más o menos compacto de dimensiones reducidas de acuerdo con el tamaño total de la ciudad. Morfológicamente destaca no sólo por su compacidad sino también por su tipología edificatoria caracterizada por manzanas de tamaño pequeño e irregulares en sus formas. El diseño del viario no permite el flujo cómodo del tráfico por la estrechez y el zigzaguo de algunas de sus vías. No obstante, los vehículos siguen circulando con densidades muy bajas en el interior del mismo y superiores en sus límites y es necesario reseñar la existencia de una serie de ejes cuyo papel es fundamental en la distribución y dinámica del tráfico urbano general (Pascual, N., 1994).

##### 3.4.6.1. Sagasta

Sagasta, es el eje que atraviesa el núcleo antiguo de norte a sur, sirviendo de canal de comunicación entre las edificaciones e instalaciones industriales localizadas al otro lado del río y el centro urbano y permitiendo también el acceso de los vehículos procedentes de los municipios navarros y alaveses del entorno.

Sagasta, junto con Vara de Rey y, salvando sus diferencias morfológicas e infraestructurales, es la única arteria que permite el acceso a la ciudad con una orientación similar (las vías orientadas este-oeste o a la inversa son mucho más numerosas y están mejor repartidas en el espacio que las orientadas norte-sur). Durante el siglo pasado destacó como distribuidor de primer orden, pero aún en la actualidad sigue ocupando un papel relevante en el conjunto de la circulación urbana a pesar de sus modestas dimensiones.

##### 3.4.6.2. Bretón de los Herreros y Avenida de Portugal

En los límites del Centro Histórico hay dos vías que juegan un papel importante en la distribución del tráfico. Son las vías perimetrales de Bretón de los Herreros

y Avda. de Portugal. Son arterias unidireccionales que siguen el trazado de las antiguas murallas y que comunican Vara de Rey con Murrieta. Facilitan por lo tanto el tránsito por el interior del centro funcional y la incorporación rápida a vías de mayor rango en tramos que estuvieron ocupados por los pasos a nivel del ferrocarril en su trazado antiguo. La reserva de tramos de estacionamiento vigilado (S.A.V.) ha potenciado la utilización de estos colectores por su comodidad y proximidad al centro de negocios y comercial, pero con ello pueden incrementarse los problemas de congestión y contaminación.

### 3.4.7. *El tráfico en el centro de Logroño*

El tráfico en la zona centro de Logroño se caracteriza por la elevada intensidad de tráfico en las vías perimetrales del anillo central definido por Gran Vía, Jorge Vigón, Vara de Rey y Avda. de la Paz; por la fluidez baja en algunos puntos interiores y por una presión importante sobre el sistema de aparcamiento (en el Casco Antiguo hay una media de 38 estacionamientos por hectárea, cuando la media para toda la ciudad es de 70 plazas/Ha.). Los vehículos desplazados hacia el centro lo hacen atraídos por las vías mejor equipadas desde el punto de vista infraestructural, así como por las posibilidades de estacionamiento, reduciéndose al mínimo el tiempo de traslado a pie hasta su destino. A la congestión generada en el Casco Antiguo, cuyo viario no está preparado para soportar los volúmenes de tráfico actuales, se añade la que se produce en determinadas bandas horarias en estas vías bien equipadas, puesto que sus características animan al conductor a transitar por ellas.

Debido a su situación estratégica en el plano, el centro funcional (C.B.D.) se ha convertido en un área codiciada para la instalación de las actividades directivas del Terciario superior y comerciales. La escasez de suelo y el elevado coste del mismo han favorecido su abandono por parte de la población quedando el uso residencial muy reducido (conviene aclarar que dentro del C.B.D. logroñés hay edificios dedicados casi en su totalidad a uso residencial y constituyen hitos importantes dentro del mismo por su envergadura y, en general, por sus características morfológicas). Hay que hablar, por lo tanto, de cierta especialización funcional que reserva un elevado porcentaje del Terciario al centro (actividad comercial, banca, administración,...) y del uso mezclado o mixto en el resto del casco urbano. En el C.B.D. las gestiones y las compras son los motivos más importantes de generación de viajes. Si bien la intensidad de circulación desciende durante la tarde, la capacidad de atracción del centro propicia el mantenimiento de volúmenes importantes incluso durante este período (motivo fundamental «compras»). Este hecho se deja sentir sobre manera en la zona comercial del Casco Antiguo, así como en las franjas comerciales localizadas en San Antón, Juan XXIII-Calvo Sotelo-Doctores Castroviejo.

Dentro de la subunidad que constituye el centro, la movilidad es mayor en los nodos localizados con proximidad a Gran Vía y Vara de Rey, especialmente en Muro de la Mata-Vara de Rey, Vara de Rey-Miguel Villanueva, Gran Vía-San Antón y Gran Vía-Víctor Pradera. De hecho, puede distinguirse una unidad más pequeña dentro del área central que es la que absorbe la mayor parte de los flujos que con-

fluyen en el centro (Pascual, N., 1994). La accesibilidad se transmite por inercia desde los nodos más centrales hasta los inmediatamente contiguos. Estos nodos se encuentran en la isocrona 30 segundos y cuentan con las intensidades medias de vehículos más elevadas del área de estudio (junto, claro está, con las registradas en los nodos que conectan con las principales entradas/salidas de la ciudad).

A partir de esta subzona la accesibilidad se transmite por difusión desde ella, siendo esta difusión más fuerte hacia el este (Jorge Vigón, Avda. de Colón) y hacia el sur (San Antón, República Argentina, Pérez Galdós) que hacia otros puntos.

En definitiva, el centro constituye un freno importante para los desplazamientos a pesar de que lo surcan los colectores urbanos de mayor importancia. Precisamente la atracción que suponen para los conductores las características físicas de estas vías, así como la oferta de estacionamientos dentro de ellas (en superficie el S.A.V. y subterráneos los aparcamientos de la Plaza de la Paz entre Vara de Rey y Avda. de La Rioja y el de Gran Vía) contribuyen a que se incrementen las intensidades medias, así como a agravar la congestión y los posibles efectos negativos de la contaminación, que revierten directamente sobre la calidad ambiental del entorno (Pascual, N., 1994).

#### **4. FOCOS DE EMISIÓN EN LA CIUDAD DE LOGROÑO Y TIPOS DE CONTAMINANTES**

En la ciudad de Logroño es el tráfico el principal foco de emisión de contaminantes. La industria y la calefacción, también contribuyen aunque en menor proporción a la contaminación del aire.

En general, las industrias se distribuyen en polígonos cercanos a Logroño, salvo El Sequero que se encuentra a 17Km. entre los municipios de Arrúbal y Agoncillo. Estos polígonos constituyen una orla periférica que bordea la ciudad: al noreste el Polígono de Cantabria; al oeste San Lázaro y Tejerías; en la carretera de circunvalación el Polígono de Cascajos; y finalmente establecimientos industriales al sureste en Avda. de Lobete y junto a la margen izquierda del Ebro.

Los principales contaminantes emitidos por las calefacciones son: partículas sólidas, anhídrido sulfuroso, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno. Los combustibles sólidos son más contaminantes que los líquidos y, a su vez, éstos más que los gaseosos (Zuazo, 1994). La ventaja de los combustibles gaseosos es que contienen menos azufre y mejores condiciones de combustión. En Logroño, la calefacción doméstica se nutre principalmente de gas natural. Es el sistema de energía mayoritario en los edificios de nueva construcción y la alternativa preferida en pisos que no disponían de calefacción.

El transporte, es el sector que más influye en la contaminación ambiental de Logroño. Como señala Zuazo (1994), en las emisiones que despiden los vehículos, hay que tener en cuenta los siguientes aspectos:

1) El tipo de carburante que los alimenta. Así, el gasóleo tiene más azufre (aproximadamente el 0,2% en peso) que la gasolina (0,03%) según datos obtenidos de Cullis y Hirschler (1980) en Warneck (1987) y produce menos emisiones de monóxido de carbono, aunque las emisiones de partículas son mayores. Por otra parte, el uso de gasolina sin plomo, evita el aporte de este elemento tóxico a la atmósfera.

2) La antigüedad del parque de vehículos porque las emisiones aumentan con la edad del vehículo.

3) Su reglaje, ya que un vehículo que no tiene un buen reglaje contamina mucho más.

4) El régimen de circulación en la ciudad. Son los continuos arranques y paradas, los que producen mayor contaminación. En Logroño, los semáforos están bien coordinados aunque los giros a la izquierda, bastante frecuentes, entorpecen en hora punta la fluidez del tráfico, con los consiguientes arranques y paradas.

Los principales productos que componen los contaminantes emitidos por el tráfico, tanto ligero como pesado, son:

- Monóxido de carbono.
- Óxidos de nitrógeno.
- Hidrocarburos.
- Plomo.
- Partículas finas.
- Dióxido de carbono.
- Dióxido de azufre.

## **5. CONTAMINANTES QUE INFLUYEN EN LA ALTERACIÓN DEL MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN**

El aumento de población y de vehículos provoca mayor concentración en el aire de contaminantes gaseosos y material particulado atmosférico.

En la velocidad de alteración de la piedra y materiales de construcción influyen el tipo de contaminantes (tiene más importancia el tipo de contaminante que su cantidad) y factores tales como el tipo de piedra, su orientación y su protección respecto al lavado. Así, si el azufre llega a la piedra en forma de sulfato ácido ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) es más agresivo que si llega en forma tamponada ( $\text{SO}_4\text{Ca} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Del mismo modo, si el yeso se deposita en una zona mojada donde el agua está acidificada por otros contaminantes, es más agresivo que si se deposita en una zona seca o sin aporte de contaminantes susceptibles de catalizar el proceso; en este caso sólo se produce depósito, A. Alastuey (com. pers.).

De los contaminantes emitidos por los vehículos, los anhídridos sulfuroso y sulfúrico, óxidos nitroso y nítrico, anhídrido carbónico e impurezas sólidas y líquidas, juegan un papel activo en la alteración del material de construcción.

El agua de la atmósfera disuelve los gases. Las disoluciones ácidas que se forman actúan de forma agresiva sobre el material de construcción. Se producen reacciones químicas, a través de las cuales contaminantes primarios como el  $\text{SO}_2$  y óxidos de nitrógeno, se oxidan y pasan a ser contaminantes secundarios: ácido sulfúrico, sulfatos, ácido nítrico y nitratos. La frecuencia de estas reacciones depende de fenómenos meteorológicos tales como: intensidad de la radiación solar, humedad absoluta y relativa, presencia de nubes y de otras sustancias atmosféricas: ozono, hidrocarburos, partículas de hollín...

El azufre se emite a la atmósfera bajo todas las formas posibles, desde  $\text{SO}_2$  hasta la forma reducida de  $\text{S}^2$ , que se transforma rápidamente a  $\text{SO}_2$  mediante reacciones de oxidación. El origen del  $\text{SO}_2$  puede ser natural o antropogénico. En el caso de Logroño la fuente principal de  $\text{SO}_2$  es la combustión de carburantes fósiles, por oxidación de los compuestos sulfatados presentes en estos durante la combustión.

Durante su estancia en la atmósfera, el  $\text{SO}_2$  sufre una serie de reacciones complejas de oxidación que todavía no son totalmente conocidas. Básicamente se puede distinguir entre oxidación en vía seca y en vía acuosa, siendo en ambos casos la vida media del  $\text{SO}_2$  en la atmósfera de 2 a 4 días (Warneck, 1987).

En condiciones de oxidación seca, el  $\text{SO}_2$  se transforma en  $\text{SO}_3$  por procesos de fotooxidación y por reacciones iniciadas por radicales, siendo el más importante el OH. En este caso la extracción del  $\text{SO}_2$  se produce por deposición seca. El  $\text{SO}_3$  producido puede reaccionar con el agua para formar ácido sulfúrico.

En condiciones acuosas, en presencia de niebla y nubes, el  $\text{SO}_2$  se disuelve en agua transformándose en  $\text{SO}_3$  y  $\text{HSO}_3^-$  que se transforman en  $\text{SO}_4^{2-}$  por reacción con  $\text{O}_3$ ,  $\text{O}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}_2$ . El  $\text{SO}_4^{2-}$  puede depositarse en forma ácida, o bien puede neutralizarse con otros iones disueltos en el agua, como por ejemplo el  $\text{Ca}^{2+}$ .

La reacción de oxidación del  $\text{SO}_2$  es muy importante en la superficie de los aerosoles, principalmente en aquellos de origen antropogénico, como las cenizas volantes. En este caso la reacción se cataliza por la presencia de iones de metales pesados y otros productos orgánicos.

El ácido sulfúrico es un compuesto muy agresivo para las areniscas calcáreas de la mayoría de los edificios históricos de Logroño. La sulfatación de la piedra calcárea conduce a la formación de yeso y por tanto de costras sulfatadas.

El ácido nítrico presente en la atmósfera es muy dañino para los edificios de piedra. Los ácidos nitroso y nítrico se forman debido a la absorción de NO y  $\text{NO}_2$  por el agua de las nubes, con la consiguiente transformación a ácidos nitroso ( $\text{HNO}_2$ ) y nítrico ( $\text{HNO}_3$ ). Su acción prolongada afecta a la piedra, convirtiendo el carbonato cálcico de la calcita en nitrato cálcico soluble. En atmósferas húmedas, la acción catalítica del  $\text{NO}_2$  oxida el  $\text{SO}_2$ , con lo que aumenta la corrosión de la piedra calcárea.

Para comprender el daño que produce el  $\text{CO}_2$  en las calizas hay que tener en cuenta, por un lado, la disolución del  $\text{CO}_2$  en agua, y por otra parte la acción de esta solución ácida. La solución ácida, que se origina por disolución del  $\text{CO}_2$  en agua de lluvia, disuelve el carbonato cálcico de las calizas y forma el bicarbonato cálcico soluble. La cantidad de  $\text{CO}_3\text{Ca}$  (calcita) disuelto depende de la temperatura del agua y de la presión parcial del  $\text{CO}_2$  en el aire. A mayor presión parcial del  $\text{CO}_2$  aumenta el  $\text{CO}_2$  disuelto y a mayor temperatura del agua disminuye el  $\text{CO}_2$  disuelto. Esta lenta reacción de disolución tiene lugar sólo en presencia de agua, es decir, en aquellas partes del edificio que están en contacto directo con el agua de lluvia. Las consecuencias de estas reacciones son: disolución de relieves, exfoliación y separación de fragmentos.

### **5.1. Acción indirecta de los contaminantes**

El biodeterioro también juega un papel activo en la formación de las costras sulfatadas. Así, las bacterias sulfurosas oxidan el  $\text{SO}_2$  a  $\text{SO}_3$ , favoreciendo la formación de yeso en la piedra y por lo tanto la aparición de costras. Este tipo de ataque se incrementa debido a la mayor proporción del  $\text{SO}_2$  en la atmósfera.

La interacción entre la piedra de los monumentos y los aerosoles atmosféricos depende de la forma en que el agua de lluvia moja las superficies y de la rugosidad de la superficie de la piedra. El aerosol es atrapado en la rugosidad de la superficie y, generalmente, ni el remolino de aire ni el flujo de agua son capaces de removerlo. De esta manera se ennegrece de forma generalizada y los procesos de disolución y sulfatación afectan por completo a la superficie expuesta.

Los óxidos metálicos de elementos pesados, procedentes de emisiones contaminantes, pueden actuar como catalizadores en reacciones de alteración de la piedra. El vanadio, manganeso y cobre probablemente influyen en la oxidación del  $\text{SO}_2$  a  $\text{SO}_3$  y en el paso de este a ácido sulfúrico con la consecuente sulfatación de la piedra.

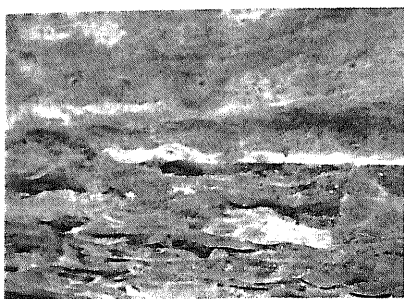
## **6. EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN EN LAS CONSTRUCCIONES**

Destacamos dos efectos derivados de la acción de la contaminación atmosférica: el ensuciamiento de edificaciones y monumentos y la corrosión de los materiales empleados en la construcción.

A continuación se describen las formas de alteración macroscópicas y microscópicas identificadas en las construcciones, así como los procesos y mecanismos que las generan.

### **6.1. Formas de alteración macroscópicas**

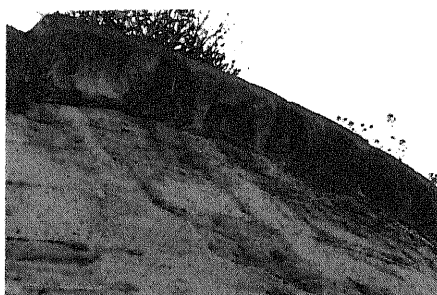
Incluyen modificaciones de la piedra u otros materiales de construcción así como los rasgos que enmascaran la superficie original externa.



*Foto 1: Puente de Piedra.  
Costras de sulfatación.*



*Foto 2: Puente de Piedra.  
Detalle de la costra.*



*Foto 3: Muralla del Revellín.  
Costras negras de sulfatación.*



*Foto 4: Pátina negra de suciedad  
en el edificio situado en la intersección  
Sagasta-Portales.*



*Foto 5: Pátina negra de suciedad  
que alterna con zonas de lavado  
en el edificio situado en la intersección  
Gran Vía-República Argentina.*

Las formas de alteración más espectaculares debidas a la contaminación ambiental son: ennegrecimiento superficial y costras sulfatadas.

Las costras negras de sulfatación están muy desarrolladas en los puntos de muestreo A (Puente de Piedra) y C (Muralla del Revellín) (fotografías 1, 2 y 3). Corresponden a construcciones de los siglos XII y XIII edificadas con sillares de arenisca calcárea del Terciario continental sobre el que se asienta Logroño.

En los demás edificios testificados, construidos en los siglos XIX y XX, la pátina negra que es de suciedad y solidaria con la superficie expuesta alterna con zonas de lavado (fotografías 4 y 5). Ocasionalmente y en zonas protegidas de la lluvia hay ampollas en la pátina, que si siguen su evolución terminan formando costras; es el primer estadio de formación de las costras.

Si hay costras sulfatadas la superficie de la piedra es rugosa y el interior está en estos casos arenizado. En el interior de la costra, la piedra es de color blanco-gris en lugar del amarillo original; este cambio de color se ha atribuido a la corrosión de los minerales originales y a la cristalización del yeso. En sección transversal, la costra se divide en láminas paralelas entre sí y paralelas a la superficie expuesta.

La rugosidad superficial de las costras atrapa depósitos de polvo y partículas contaminantes tales como elementos pesados y partículas carbonosas, que le hacen adquirir color negro.

La evolución de las costras implica la formación de ampollas, descamación, fracturación, desplazación y arenización. Estas formas de alteración se desarrollan como consecuencia de los procesos que dan lugar a las costras (ver sección 6.3).

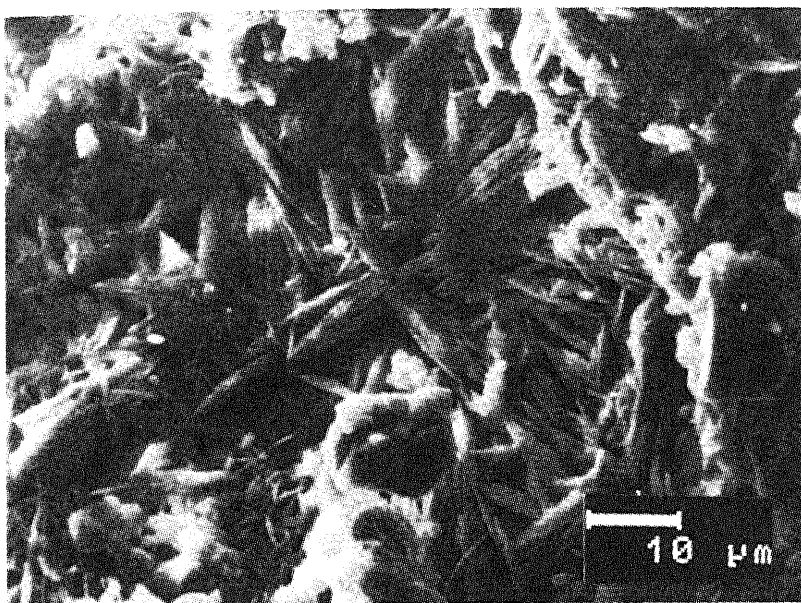
El ennegrecimiento superficial se produce por depósito de contaminantes y puede evolucionar a la formación de la costra sulfatada.

## **6.2. Formas de alteración microscópicas**

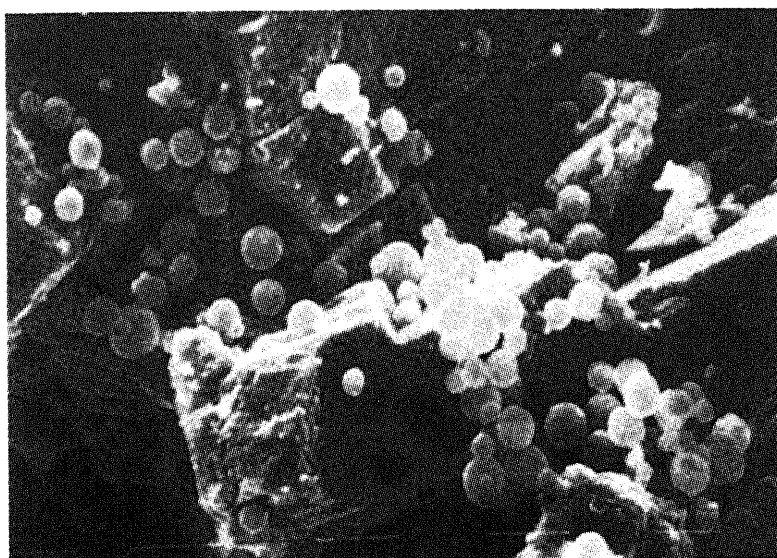
El examen con el microscopio óptico, indica que la roca no alterada está formada por granos de cuarzo, feldespato, calcita y mica unidos por cemento de calcita ( $\text{CaCO}_3$ ). El cemento tiene textura micrítica parcialmente recristalizada a esparita. Entre los granos hay también fósiles y ooides. Los minerales accesorios de la roca son turmalina, zircón y óxidos de hierro. El análisis microscópico reveló que en las costras el cemento original de carbonato está reemplazado por yeso (microfotografía 6). También se observó que la densidad de microfracturas en las costras es elevada. Por el contrario, en la roca de cantera no se detectaron ni microfracturas ni cemento de yeso.

Mediante la técnica de difracción de rayos-X se comprobó que las costras contienen yeso y otras sales como halita ( $\text{NaCl}$ ) y thenardita ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ).

Por microscopía electrónica de barrido, en las costras se detectan microesferas porosas (microfotografía 7) cuyos espectros obtenidos por dispersión de energía de rayos-X muestran que contiene azufre y hierro junto con bario, plomo y estroncio.



*Foto 6: Entramado de cristales de yeso con hábito tabular y lenticular. Este es el desarrollo típico del yeso en las costras de alteración de las areniscas calcáreas de Logroño. Se observan gran cantidad de microporos.*



*Foto 7: Cristales bien desarrollados de calcita con esferas de cenizas volantes.*

Estas microesferas, que son partículas carbonosas residuos de la combustión urbana, actúan de catalizadores en reacciones que conducen a la alteración de la piedra, debido en parte a su gran superficie específica y en parte a las impurezas metálicas que contienen (Camuffo et al., 1990).

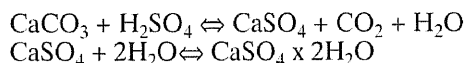
El estudio de la costra mediante microscopía electrónica de barrido, nos permite caracterizar su zona externa de la zona de contacto con el sustrato:

1) Zona externa de la costra: formada por ampollas cuyo grado de alteración va desde abultadas a estalladas. El mineral mayoritario es el yeso. La ampollas estalladas dejan al descubierto el sustrato carbonatado. En el sustrato de yeso hay hilos de cloruro potásico. Hay trazas de fósforo, vanadio, manganeso, zinc y plomo. Los minerales neoformados son yeso y silvina. Abundan las esferas de cenizas volantes en cuya composición se encuentran titanio y calcita. Estas cenizas tienen importancia ya que en su superficie se puede producir la oxidación de  $\text{SO}_2$  a  $\text{SO}_4^{2-}$ .

2) Zona de contacto con el sustrato: con textura de huecos poligonales dejados por los cristales al desprenderse. El yeso está empujando y desplazando a los minerales. Los huecos están tapizados por yeso lenticular. Los cristales de cuarzo, dolomita y feldespatos tienen figuras de corrosión y disolución. El yeso, que está formando parte del cemento de la roca, ocupa el lugar que previamente ocupaba la calcita.

### 6.3. Procesos y mecanismos que controlan las formas de alteración

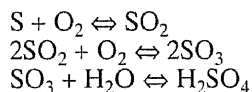
Mediante el proceso de sulfatación, la calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) primaria de la roca se transforma en yeso ( $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ ) según estas reacciones:



Existe acuerdo en que las costras se forman por la reacción entre el calcio liberado de los carbonatos de la piedra, el  $\text{SO}_2$  del aire y el  $\text{H}_2\text{O}$  (Camuffo et al., 1982; Amoroso et al., 1983; Skoulikidis, 1988 y Katsanos et al., 1989).

En la piedra ornamental de Logroño, la fuente de calcio para la formación del yeso es la propia roca, pero con respecto al azufre el origen no está tan claro. Se considera que, probablemente sea tan importante la acumulación de azufre debida a la actividad de microorganismos como el aporte de azufre debido a la polución ambiental (Pavía et al., 1994). Los microorganismos pueden concentrar el azufre disperso en la roca o procedente de morteros bastardos y contaminación atmosférica.

En la atmósfera el azufre del aire contaminado se oxida y se combina con el agua dando lugar a ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) según estas reacciones:



En estas ecuaciones únicamente se ha considerado el caso de deposición en vía seca, simplificándose bastante ya que sólo se indica la oxidación por  $O_2$ . El resumen de las reacciones de oxidación se puede consultar en las tablas de Warneck (1987).

En las zonas de la piedra húmeda y protegida, donde se ha depositado material particulado antropogénico, se favorece la transformación del  $SO_2$  y la formación de  $SO_4^{2-}$  en solución. En estas condiciones acidificadas se favorece la disolución del  $CO_3Ca$  y la cristalización de yeso por la reacción entre el  $SO_4^{2-}$  y el  $Ca^{2+}$  disueltos. La disolución de la calcita deja granos sueltos de sílice, arcilla, feldespatos, etc. Esto provoca que en las costras la roca esté arenizada y a la vez que la calcita precipite en otros lados de la costra. El color blanco que adquiere la roca se lo proporciona el yeso.

El sulfato cálcico anhidro cuando toma dos moléculas de agua se transforma a yeso. El yeso, que al hidratarse y secarse cambia de volumen, provoca tensiones en las paredes de los poros que lo contienen ya que varía la presión que ejerce sobre la roca que lo rodea. Estas tensiones causan la fatiga del material y la aparición de fisuras (Caro, 1994). Destacamos dos efectos derivados de su mecanismo de alteración: por una parte se abren nuevas vías para que avance el frente salino y por otra se agrandan las fisuras existentes. Además de las fisuras por cambio de volumen durante la cristalización, se generan grietas de disolución del yeso (mucho más soluble que la calcita) que, como en el caso de las fisuras, favorece el avance del frente ácido.

La cristalización del yeso que forma las costras va acompañada de cierta disolución del cemento de calcita de la roca. La disolución del cemento de calcita da lugar a arenización de la roca. La calcita disuelta puede precipitar en la superficie de la piedra dando lugar a depósitos de calcita en forma de láminas finas, impermeables y frágiles de textura lisa. La impermeabilidad de estos depósitos da lugar a la formación de ampollas que cuando estallan generan escamas.

## 7. RESULTADOS

### 7.1. Estudio del tráfico

— La evolución del tráfico en el interior urbano está muy influenciada por los horarios impuestos por la jornada laboral. Los mayores volúmenes circulatorios coinciden con los horarios de entrada y, o salida del trabajo.

— En Logroño existen problemas de movilidad en el área central, tanto en el centro funcional como en el centro histórico que se localizan de forma contigua y solapada. Estos problemas se relacionan con el propio entramado viario y con el proceso de terciarización y pérdida de peso relativa de la función residencial. A ello hay que añadir que en Logroño se utiliza el vehículo privado incluso para desplazamientos muy cortos. De hecho, la mayor parte de los ciudadanos no está dispuesta a estacionar su vehículo a más de 30m. de su lugar de destino (Pascual, N., 1994).

— La intensidad media de vehículos recogida en hora punta mañana alcanza los 1.900v./h. en los nodos localizados en dicha área. Los nodos que soportan una carga mayor son los localizados en Gran Vía y Vara de Rey donde se superan los 2.200v./h. y las intensidades medias más bajas corresponden a los nodos localizados en las vías perimetrales del Casco Antiguo donde se registran 800v./h.

— En los nodos contiguos a la zona de mayor accesibilidad confluyen intensidades medias de vehículos importantes y accesibilidades medias y bajas, lo que conduce a pensar en problemas relacionados con la congestión, al ser incapaz el viario de canalizar cómodamente el tráfico que se dirige o sale del centro. Esta incapacidad no se debe tanto a lo inadecuado de su trazado como a la proximidad de los grandes colectores e incluso la posibilidad de *estacionar el vehículo que atraen y animan* a los conductores a circular por ellas, incrementándose la intensidad de vehículos durante las horas punta (Pascual, N., 1994). La congestión viene acompañada de un incremento del nivel de ruidos y de la contaminación, que convierten a este espacio urbano en una de las áreas más frágiles desde el punto de vista medioambiental.

— La terciarización de la ciudad (especialmente de su área central) ha conllevado un incremento considerable del número de viajes con destino al centro y ha originado problemas de movilidad como consecuencia de la coincidencia de los tráficos de paso y de origen o destino por motivo de trabajo, compras, escuela, etc.

— En los distribuidores primarios y, sobre todo en los gráficos correspondientes a la evolución del tráfico a lo largo de su recorrido, se pudo comprobar cómo las mayores intensidades correspondían a los nodos que conectaban con alguna de las principales entradas/salidas de la ciudad. Cuesta menos tiempo desplazarse de un extremo a otro de la ciudad que dirigirse hacia el centro, aunque en los trayectos se mezclen vías de primer orden y vías secundarias (Pascual, N., 1994).

— El S.A.V. contribuye al deterioro de la calidad ambiental del centro como consecuencia de la contaminación que incrementa sus efectos gracias a las características del viario y a la tipología edificatoria.

## **7.2. Consecuencias de la contaminación atmosférica en las construcciones**

— La principal consecuencia derivada de la interacción entre las edificaciones de Logroño y los agentes contaminantes es la formación de pátinas negras y costras negras de sulfatación. Se originan sobre construcciones situadas en zonas con elevada intensidad de tráfico rodado.

— El ennegrecimiento de las construcciones está producido por partículas carbonosas y otros contaminantes como elementos pesados que se fijan y acumulan sobre piedra, material artificial, hormigón, mortero y ladrillo. Por microscopía electrónica de barrido se han identificado esferas de cenizas volantes en la superficie de las pátinas y costras.

— El ataque del dióxido de azufre es el principal responsable en la formación de las costras de alteración. En su desarrollo destacamos el papel del ácido sulfúrico que se forma a partir del  $\text{SO}_2$  de la atmósfera. Dicha acción llega a producir yeso sobre la piedra calcárea de Logroño.

— La pátina negra de suciedad de las fachadas es una película fuertemente adherida al sustrato, solidaria con la superficie expuesta. Las costras sulfatadas tienen la superficie externa rugosa y el interior arenizado. Dicha arenización, que implica el desprendimiento de granos por descementación, se produce por disolución de los carbonatos que forman el cemento de la roca, cuya solubilidad aumenta con el contenido de  $\text{CO}_2$ .

## 8. CONCLUSIONES

El incremento de la tasa de motorización y, por consiguiente, de la movilidad ha producido un descenso de la calidad de las condiciones ambientales en determinados sectores de la ciudad. Sería ridículo establecer comparaciones entre los efectos nocivos del tráfico en un núcleo urbano de grandes dimensiones y los producidos en una ciudad como Logroño, pero no se puede obviar el alcance de las consecuencias negativas de estos hechos, ni la necesidad de tomar medidas para su control.

La polución atmosférica, generada principalmente por el tráfico, causa en los edificios de Logroño la pátina negra de suciedad y la formación de costras negras sulfatadas, sobre todo en zonas húmedas y resguardadas de la lluvia. Favorecen su desarrollo el aumento de la presión del  $\text{CO}_2$  del medio y otros contaminantes como los anhídridos sulfuroso y sulfúrico.

Este estudio coincide en sus resultados con las recomendaciones del Plan General de Ordenación Urbana, aprobado en 1992, que concede mayor importancia a los aspectos ambientales. El Plan considera el viario, no como un punto crucial del planeamiento, sino como un elemento más secundario (los proyectos de peatonalización constituyen un buen ejemplo de ello). En todas sus propuestas está patente la idea de revisar la circulación para que el mayor volumen de tráfico se canalice a través de la red principal definida. De este modo, se evita el tráfico de paso por zonas residenciales y conflictivas, en las que la congestión y contaminación se convierten en una barrera que frena el desenvolvimiento de las actividades urbanas cotidianas.

## AGRADECIMIENTOS

Nuestro más sincero agradecimiento a los Doctores Félix Pérez-Lorente, Ángel Pueyo Campos y Andrés Alastuey Urós, por su ayuda en la corrección y mejora del contenido de este trabajo.

## 9. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Amoroso, G., Fassina, V., 1993. *Stone Decay and conservation*. Ed. Elsevier, 141-154.
- Camuffo, D., Del Monte, M., Sabbioni, C., 1982. Origin and growth mechanisms of the sulphated crusts on urban limestone. *Water, Air and Soil Pollution*. (19), 351-359.

- Camuffo, D., Bernardi, A., 1990. *Atmospheric pollution and deterioration of monuments. Analytical Methodologies for the Investigation of Damaged Stones*. Ed. F. Veniales & U. Zezza.
- Caro, S., 1994. *Piedra, ladrillo y mortero: Características y alteración*. Alfaro, Calahorra y Logroño. Ciencias de la Tierra. I.E.R. (16). 322p.
- Climent, E., 1992. *El proceso de industrialización de La Rioja*. Instituto de Estudios Riojanos. Logroño.
- Cullis, C. F. y Hirschler, M. M., 1980. »Atmospheric sulfur: natural an man-made sources«. *Atmos. Environ.* 14, 1.263-1.278.
- De Francisco, E., Miró, C., y Puig-Pey, P., 1980. «Algunos problemas de transporte en ciudades medias españolas». *Ciudad y Territorio*. (2), 55-63. Madrid.
- Herrero, A., Menéndez, F., Molina, E., Puig-Pey, P. y Rubio, J., 1980. «Consideraciones generales en torno a la política de transporte urbano». *Ciudad y Territorio*. (2), 7-17. Madrid.
- Higueras, A., 1989. «La ciudad como fenómeno ecológico». *Geographicalia*. (26), 155-163. Zaragoza.
- Katsanos, N., Karaiskakis, G., 1989. Rate and mechanism of action of atmospheric SO<sub>2</sub> on limestone and marbles. *European Cultural Heritage*, (2,1), 11-14.
- Pascual, N., 1993. «Organización y densidad del tráfico en una ciudad de tamaño medio: el caso de Logroño». *Berceo*. (124), 165-177. Logroño.
- Pascual, N., 1994. *Tráfico y transporte en la comarca de Logroño. El modelo de funcionamiento de la red urbana: una aplicación de la Teoría de Grafos al análisis de la conectividad, la accesibilidad, la dinámica y la distribución espacial de los flujos de tráfico en la ciudad*. Memoria de Licenciatura. Inédita. I.E.R.
- Pavía, S., Caro, S., Pérez, F., Duffy, A., 1994. More about gypsum crusts on historic buildings (Gysum crusts on calcareous sandstone from La Rioja, Northern Spain). En «International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediiterranean Basin». Ed. V. Fassina and F. Zezza, 585-588.
- Pavía, S., 1994. *Material de construcción antiguo de Logroño y La Rioja Alta: Petrografía, propiedades físicas, geología y alteración*. Ciencias de la Tierra. I.E.R. (17). 247p.
- Potrykowski, M. y Taylor, Z., 1984. *Geografía del Transporte*. Ariel Geografía. Barcelona.
- Puig-Pey, P., 1993. «Actualidad y limitaciones funcionales del modelo radio-concéntrico». *Movilidad y territorio en las grandes ciudades: el papel de la red viaria*, (VV.AA.). M.O.P.T. y Medio Ambiente. Madrid.
- Sanz Alduán, A., 1994. «Calmar el tráfico, domesticar el automóvil. Posibilidades del diseño urbano». *Ciudad y Territorio*. (100-101), 397-409. Madrid.
- Skoulidikis, Th., 1988. Acidic attack and sulfation of stone monuments. *European Cultural Heritage*, (2, 3), 9-17.
- Warneck, P., 1987. *Chemistry of the Natural Atmosphere*. International Geophysics Series, 41. Academic Press Inc., 757 pp.
- Zuazo, P., 1994. «Contaminación atmosférica en el medio urbano», Curso de Gestión Ambiental en la Administración Local, Logroño. Inédito.