

INFORME SOBRE EL METRO LIGERO DE GRANADA

ANEXO 3: LAS OPORTUNIDADES URBANÍSTICAS DE LA LÍNEA METROPOLITANA N-S SOBRE EL SOTERRAMIENTO DEL TRAMO CENTRAL



C.1. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN AMBIENTAL DE DIVERSOS ESCENARIOS DE MOVILIDAD.

C.1. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN AMBIENTAL DE DIVERSOS ESCENARIOS DE MOVILIDAD EN EL CNO. DE RONDA DE GRANADA

Índice

Resumen: planteamiento y conclusión general.

- 1. Metodología: hipótesis, escenarios e indicadores.**
- 2. Informes sobre la calidad del aire.**
 - 2.1. Informe sobre la calidad del aire: alteraciones en la composición de la atmósfera.**
 - 2.2. Informe sobre la calidad del aire: el ruido¹.**
- 3. Evaluación comparativa de la incidencia ambiental de los escenarios.**
- 4. Conclusiones finales.**
- 5. Referencias bibliográficas.**

¹ Este apartado sobre el “Ruido” ha sido elaborado por los Profesores Titulares del Departamento de Física Aplicada de la Universidad de Granada, D. Diego Pablo Ruiz Padillo y D. Jerónimo Vida Manzano, ambos constituyen la sección departamental, Unidad Ambiental de Física Aplicada (UAFA).

Resumen: planteamiento y conclusión general.

Planteamiento: este informe valora la incidencia ambiental del nuevo modo de transporte, el metro ligero a su paso por el Cno. de Ronda, contrastando una serie de escenarios (incluida la situación actual) que suponen diferentes modos de organización de la sección viaria, derivados de la conjugación de opciones en superficie o en subterráneo.

Las alternativas planteadas son comparadas mediante la evaluación de cuatro criterios ambientales básicos, representados por 8 indicadores, seleccionados por su relevancia ambiental, tanto en las relaciones generales entre transporte y medio ambiente, como en la particular problemática del medio ambiente urbano de la aglomeración urbana de Granada, que destaca por su negativa situación en parámetros como la contaminación acústica y química frente a otras ciudades andaluzas (ver informes sobre calidad del aire). Los indicadores elaborados se apoyan en datos e informaciones provenientes, esencialmente, de los trabajos realizados hasta el momento para el trazado del Metro Ligero de Granada (Ayuntamiento de Andalucía: Estudio Informativo, 2002; Anteproyecto, 2003), así como también en algunas estadísticas (Agenda Local 21 de Granada, 2003; Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía) y en algunos estándares genéricos (p.ej.: CE, Delft, 2003) que permiten hacer extrapolaciones a los escenarios diseñados.

En la metodología (apartado 1) se desglosan, por un lado los escenarios dibujados (ver secciones), y las hipótesis previstas para cada uno de ellos, y por otro, el “modus operandi” a la hora de definir y calcular los indicadores aplicados a cada uno de los escenarios apuntados, que son finalmente contrastados en el apartado 3 (evaluación comparativa de la incidencia ambiental de los escenarios).

Conclusión general: La comparación final de escenarios no es determinante respecto a las posibilidades que ofrece cada opción, más bien es un modelo de valoración tendencial del medio ambiente urbano en función de que se acentúen, más o menos, determinadas posibilidades (restricción, al tráfico, coordinación del transporte público, dotación de espacios libres, ...).

La consecución de una cierta calidad ambiental no depende tanto de una opción subterránea o una contraria superficial, sino más bien de cómo se proyecte de forma integral la sección urbana o escenario, en cada caso. Así, a veces hay un cierto paralelismo entre los escenarios B (metro ligero en superficie) y E (metro ligero subterráneo +bus-bici-peatón), ya que ambos escenarios, sobre todo el segundo significaría una mayor renovación del medio ambiente urbano.

Si la comparación de escenarios sugiere que la calidad ambiental dependerá en buena medida de aquel escenario que incida más en la organización física de la ciudad, parece lógico pensar que el escenario E (subterráneo+bus-bici-peatón) es el que ofrece más ventajas y posibilidades: conjugación urbanística en superficie, mayor diversidad de modos de movilidad, mayor eficiencia superficial y mayor fiabilidad del metro ligero subterráneo. Consiguientemente, este escenario podría contribuir progresivamente, con una adecuada gestión complementaria de la movilidad, a una más intensa regeneración del medio ambiente urbano, ya que estratégicamente permite muchas más opciones para una gestión integral de la movilidad y la calidad ambiental.

1. METODOLOGÍA: HIPÓTESIS, ESCENARIOS E INDICADORES.

1.1. Definición de escenarios e hipótesis

La primera tarea necesaria a fin de caracterizar el escenario correspondiente a la situación actual, ha sido dividir en cuatro tramos el eje en cuestión de principio a fin, desde el final de la Avda. del Sur hasta el inicio de la Avda. de América, siendo cada tramo descrito por su correspondiente sección tipo. La valoración de los cuatro tramos ha servido para optar por extrapolar el tramo 3º al conjunto del eje viario que constituye el Cno. de Ronda, de forma que este tramo representa al escenario de la situación actual y por ende la base comparativa sobre la que referenciar el comportamiento de los diversos indicadores en los distintos escenarios. La elección del citado tramo (entre Recogidas y Alhamar), se hace fundamentalmente porque su sección tipo de 24 m. es la más estrecha del Cno. de Ronda, que en otros tramos llega a superar los 30 m. (p.ej. en el tramo 2º) o incluso los 35 m.; por consiguiente, las opciones alternativas se ajustan siempre a este tramo con una sección más estrecha. Concretamente, se han definido los siguientes escenarios:

- A. Situación actual:** que se refiere a la organización vigente de la traza del Cno. de Ronda, caracterizado por una sección de 24 m. de anchura (de fachada a fachada) correspondiente al tramo entre Recogidas y Alhamar.
- B. Metro Ligero en Superficie:** que plantea un trazado con plataforma reservada, pero con prioridad en los cruces del metro respecto al automóvil.
- C. Híbrido (Anteproyecto):** sería una propuesta cercana a la del anteproyecto, que supone un escenario híbrido, ya que alterna a lo largo del Cno de Ronda, tramos en superficie y tramos en subterráneo, lo que supone un 16 % en superficie y el resto entre rampas y subterráneo, lo que nos lleva a considerar un 84% del trazado en subterráneo.
- D. Metro Ligero Subterráneo+Situación Actual en Superficie:** supondría un trazado subterráneo en todo el eje, manteniendo en superficie la actual organización de la sección tipo transversal del Cno. de Ronda.
- E. Metro Ligero Subterráneo+Bus-Bici-Peaton:** el trazado sería subterráneo, lo que permitiría aprovechar la situación, para liberar la sección de carriles de tráfico a favor de un incremento de las superficies, peatonal, de verde urbano y de transporte público (carril bus).

Una vez establecidos los escenarios, explicamos las hipótesis formuladas, una principal y transversal (aplicada al conjunto de criterios e indicadores), y otra parcial y sectorial, sólo aplicada a la evaluación de la calidad ambiental del aire (ruido, contaminantes), de forma que la primera sería una hipótesis sobre la captación de la demanda de viajeros, mientras que la segunda sería sobre la reducción (eliminación) viaria de carriles para el tráfico rodado, considerando que esta relativa supresión viaria fuese equivalente o directamente proporcional a una reducción del flujo de vehículos privados.

1.2. Hipótesis sobre la captación de la demanda de viajeros

Los escenarios son evaluados a partir, fundamentalmente, de las hipótesis de reducción del tráfico privado que se darían en los escenarios planteados, lo cual a su vez deriva de las hipótesis de captación de demanda de viajes que maneja el Estudio Informativo (moderada,

intermedia y optimista). Así, sobre la base de la Intensidad Media Diaria (IMD) de vehículos en el Cno. de Ronda, al que caracterizamos de forma unitaria mediante las cifras correspondientes al tramo 3º (aforo de 2000, incluido en Estudio Informativo), se aplican unos porcentajes de reducción del flujo -en coherencia con las captaciones previstas-, adoptándose **las siguientes hipótesis para los escenarios alternativos al “A” (situación actual):**

En el escenario B se contempla una reducción de la IMD de entre el 10 y el 12 %, como consecuencia de una captación moderada (10 %) o intermedia (12 %) de captación de viajes en el tramo considerado. En este caso, a la hora de aplicar los indicadores se toma el valor más alto del 12%.

En el escenario C se contempla una reducción del 10 %, o sea, una captación moderada o más restrictiva, ya que la alternancia entre subterráneo y superficie, podría generar mayores dificultades para mantener la regularidad en la velocidad comercial, lo que acabaría redundando en la capacidad de carga del sistema.

En los escenarios D y E, los dos “subterráneos” en la totalidad del eje, el primero sin alterar la sección actual, y el segundo proponiendo un reparto alternativo de la sección, serían los más eficientes y por tanto con mayor capacidad de atracción; el primero porque podría conseguir una velocidad comercial más alta (superior a los 22 Km/h. que se prevé en superficie) al no verse afectado por las interrupciones del tráfico privado; y el segundo, porque añadiría un carril reservado para el BUS, lo que podría garantizar una velocidad comercial considerablemente superior a los 12 Km/h., que tienen actualmente los autobuses urbanos de Granada.

Finalmente, es necesario aclarar que los porcentajes de captación de la demanda propuestos por el Estudio Informativo, que dan pie a las hipótesis anteriores, son los proyectados para el horizonte temporal más inmediato de los considerados, esto es 2007 (en general, con presupuestos más o menos concordantes con los del Estudio Informativo del Metro Ligero de Málaga, 2002), con lo que la velocidad comercial en superficie o en subterráneo del metro ligero, junto a los datos recientes de capacidad de carga de viajeros del autobús urbano en el eje de estudio, son variables esenciales para plantear diferentes niveles de reducción del tráfico privado, y consecuentemente las ventajas y desventajas ambientales de cada escenario, en relación al ruido, aire, eficiencia superficial, congestión, etc.. Asimismo otros criterios de valoración, como el verde urbano o el efecto barrera, están vinculados a los diversos repartos de la sección propuestos.

1.3. Hipótesis sobre la reducción viaria de carriles para el tráfico

Esta hipótesis, tienen un carácter parcial, o sea, que no se aplica al conjunto de indicadores, sino tan sólo a la evaluación de la calidad ambiental del aire (ruido y contaminantes químicos) en la que como ya se ha dicho se desarrollan sendos informes parciales, dada la importancia de estas dos variables ambientales.

En los dos casos se aplica esta hipótesis, que considera que la supresión de carriles para el tráfico rodado fuese equivalente o directamente proporcional a una reducción del flujo de vehículos privados. Se plantea, por consiguiente, una visión a más largo plazo del escenario urbano, que necesariamente se verá abocado a la generación de forma interactiva de: un incremento progresivo de captación de la demanda por el metro ligero y el transporte público en su conjunto, políticas de restricción al tráfico privado, y reasignación a otra vías paralelas (C/Arabial y C/Pedro Antonio de Alarcón) de un porcentaje de los flujos de tráfico que

actualmente soporta el Cno. de Ronda, y que no podrá seguir soportando en un escenario de eliminación del 50 % de la capacidad viaria (carriles para el tráfico rodado).

Además, el interés de valorar los escenarios desde esta hipótesis para estos aspectos concretos, estriba en el hecho de que tanto para el nivel de presión sonora como para el de emisiones de contaminación, no se alcanzarían niveles más satisfactorios o incluso deseables, de acuerdo a las normativas nacionales o europeas, hasta que no se consiga una reducción del tráfico de entre el 40 y el 50 %.

1.4. Criterios e indicadores

Los criterios considerados en esta evaluación tienen una perspectiva global vinculada a los efectos ambientales genéricos de la movilidad, así como a otra más particular, relativa al medio ambiente urbano en el que se propone la inserción del proyecto. Asimismo, la selección y el diseño final de los indicadores aplicados está mediatizado por la disponibilidad de información precisa y relevante, lo que no siempre sucede, y por la posibilidad de alcanzar resultados que apoyen las hipótesis de forma razonablemente rigurosa y lógica.

Son cuatro los criterios principales:

- **A. La calidad ambiental del aire**, que indaga en la presión acústica, y en la contaminación química de la atmósfera como consecuencia del tráfico.
- **B. La eficiencia en la utilización de recursos**, que valora el uso de la energía de las diferentes opciones y la capacidad de transportar viajeros por superficie viaria utilizada.
- **C. La integración urbana**, que valora las posibilidades para el incremento de las superficies peatonal y de verde urbano, así como también la incidencia del efecto barrera.
- **D. La afección al tráfico**, que tiene en cuenta, primero, la reducción y/o eliminación de carriles/superficie viaria para el tráfico de vehículos, y segundo, derivado de lo anterior el nivel de servicio o la congestión que puede provocar cada alternativa.

Consiguientemente, la calidad, la eficiencia, la integración y la afección, son criterios ambientales que permiten aproximarse a unas tendencias que seguiría el medio ambiente urbano, en función de que se apueste de forma más o menos acentuada por un determinado modelo de desarrollo y organización física de la ciudad, como consecuencia de la implantación de este nuevo sistema de transporte público (más o menos verde, reducción de la contaminación, regeneración urbana...).

1.4.1 Diseño y condicionantes de los indicadores aplicados

Una vez presentados los escenarios a evaluar y los argumentos que soportan a las hipótesis y los criterios considerados, se trata de obtener indicadores (primero en valores absolutos), reducibles a valores relativos o porcentajes que permitan confrontar los diferentes escenarios, poniendo de manifiesto de forma tendencial las ventajas e inconvenientes que podrían suponer. Queda claro que en la definición de los indicadores han influido diversos factores relativos a la información disponible, los objetivos planteados y la validez metodológica, lo que se ha traducido finalmente en la definición de los siguientes:

- **1. Nivel de presión sonora continua o equivalente (decibelios)**, que sirve para caracterizar el ruido del Cno. de Ronda como consecuencia del tráfico según las diferentes hipótesis que arroja cada escenario (ver informe parcial).

- **2. Nivel de concentración (en microgramos por metro cúbico) de Dióxido de Nitrógeno.** En este caso, el indicador establece una relación más o menos proporcional entre los porcentajes de reducción del tráfico, según cada escenario, y la reducción del nivel de concentración de contaminantes. Asumiendo que las hipótesis de reducción del tráfico serían equivalentes a la disminución relativa de carriles para el tráfico rodado en cada alternativa.
- **3. Eficiencia superficial de la movilidad en la ocupación de suelo (viajeros día/m²),** que significa la cantidad de viajeros por metro cuadrado ocupado, en modos públicos y privados, que serían transportados en cada uno de los escenarios previstos. **Los viajeros transportados por cada modo que asumimos serían:**
 - o **para el vehículo privado,** serían los correspondientes a los flujos de IMD (multiplicado siempre cada vehículos por el estándar de ocupación de 1,25);
 - o **para el metro ligero,** tanto en superficie como en subterráneo derivan de las hipótesis de captación intermedia, que para las paradas previstas en el Cno. de Ronda oscilan entre los 9.500 y los 16.000 viajeros día, con lo que el valor medio que se asume es de 12.750 viajeros día (ver Anejo 5, Estudio Informativo del Metro Ligero de Granada, 2002);
 - o **para el Carril-Bus,** tenemos en cuenta también datos de los trabajos del Estudio Informativo (Documento Resumen de Explotación de los trabajos de campo en transporte público en la ciudad de Granada, 2003). Así, después de ver las líneas de autobús que operan en el Cno. de Ronda (líneas 4, 5, 6, 10, 11 y 22) que transportan el 41,1 % de los viajeros en autobús urbano, asumimos el número de viajeros que utilizan la línea 11 a su paso por las paradas del Cno. de Ronda, 2935 viajeros día, y esta cifra la incrementamos en un 10 % (3.228,5 viajeros día), ya que el Carril-Bus dotaría de mayor regularidad, fiabilidad y velocidad comercial (12 Km/h., actualmente) a la línea, lo que acabaría redundando en un incremento de la captación de viajeros por parte del autobús.
- **4. Eficiencia en el consumo de energía del vehículo privado (Gj/veh.-Km.)** por escenarios, en este caso se aplican los estándares del estudio de CE-Delft, 2003 (ver referencias bibliográficas), del que tomamos un valor intermedio de 3,66 Mj/Km para el vehículo privado. De esta forma expresamos al final el indicador en GigaJuios/Veh.-Km, tras poner en relación el citado estándar, la IMD correspondiente a cada escenario y la longitud total del Camino de Ronda (3.103m.).
- **5. La superficie de zona verde y peatonal (m²),** vendría dada directamente por la suma de las superficies ocupadas por las “medianas verdes” previstas en las diversas secciones (escenarios), más la superficie peatonal correspondiente a las aceras y además la superficie de estancia prevista para las estaciones (paradas) superficiales o subterráneas. La longitud de la mediana en todos los casos se hace sobre la base de los tramos actualmente implantados en el eje en cuestión (medición sobre el plano catastral 1:2.000), lo que da un valor de 2.836 m² que se aplica también a la longitud de las aceras.
- **6. El efecto barrera** sería la suma por escenarios de los productos obtenidos en cada modo, al multiplicar el número de calzadas por la frecuencia, y todo ello multiplicado

a su vez por la anchura de la calzada a cruzar de cada escenario, y dividido finalmente por 1000 (**Modo Metro Ligero (Carriles*Frecuencia Vehículos/minuto) + (Modo Vehículo Privado)+(...) *Anchura de Calzada/1000**). Las frecuencias son derivadas en cada modo asumiendo:

- **para el vehículo privado**, dividiríamos la Intensidad Media Horaria de vehículos de cada escenario por 60’;
 - **para el Metro Ligero en Superficie**, tras asumir frecuencias de 1 tranvía cada cuatro minutos, tendríamos 0,25/minuto;
 - **para el Bus, asumimos**, tras valorar al igual que el caso anterior, los trabajos del Estudio Informativo, 1 autobús cada 8 minutos, lo que nos da 0,12/minuto.
- **7. La congestión (intensidad/capacidad viaria del escenario)**, sería la relación entre la intensidad de tráfico, según los escenarios de reducción del mismo (IMD) asumidos y la capacidad viaria que tendría cada escenario (número de carriles para el tráfico rodado). De forma que asumimos para cada escenario (De la Hoz y Pozueta, 1989; MOPT, 1993) las siguientes capacidades: **escenario A, 2000 veh./hora; escenario B, 800 veh./hora; escenario C, 1.680 veh./hora; escenario D, 2000 veh./hora; escenario E, 800veh./hora.**
- **8. La afección a la capacidad viaria (reducción porcentual del número de carriles para el tráfico rodado)**, sería la pérdida relativa de superficie viaria para el tráfico rodado como consecuencia de la supresión de carriles.

Un vez descritos los criterios y sus correspondientes indicadores pasamos a mostrar las secciones por tramos del Cno. de Ronda, las secciones que se proponen para cada escenario, y los datos asociados al cálculo de diversos indicadores.

Tabla 1. Tráfico y Características Urbanas de los TRAMOS del Cno. de Ronda.

TRAMO	Tráfico (IMD)	Uso del suelo	Sección (m) (*)	Altura viviendas (**)	Densidad de Población (Hab./Ha) (**)
1º	18.290 dirección Málaga 10.395 dirección Motril TOTAL: 28.685	Residencial plurifamiliar en bloques abiertos+ Equipamientos deportivos y espacios libres con media/ alta intensidad comercial	4 carriles (dos por sentido) a4/p2/c8,5/m2/c5, 3/p2/a3,5 TOTAL: 26,8	6	250-350
2º	21.932 16.370 TOTAL: 38.302	Residencial plurifamiliar en patio de manzana con elevada intensidad comercial y de servicios	4 carriles (dos por sentido) a4/p2/c6/m1,8/c5, 75/p+vs+p7/a4 TOTAL : 30,55	6/8	500-850
3º	22.998 21.694 TOTAL: 44.692	Residencial plurifamiliar en patio de manzana con elevada intensidad comercial y de servicios.	4 carriles (dos por sentido) a3,1/c8/m1/c8/p1, 8/a3,1 TOTAL: 24	8/10	550-900
4º	25.958 17.757 TOTAL: 43.715	Residencial plurifamiliar en bloque abierto con media/alta intensidad comercial	4 carriles (dos por sentido) a3,8//p1,8/c8,6/m 1,5/c6,4/p+vs+p5. 5 TOTAL: 30,6	6	250-550

(*)Reparto de la sección tipo de la vía del tramo en cuestión:

a=acera, p=aparcamiento, c= calzada, m= mediana, vs=vía de servicio, B=bus, b=bici, M=metro. Medición sobre plano digital catastral 1:2.000.

(**)Valor dominante a lo largo de la vía

Tabla 2. Reducción del N° de carriles/sup.viaria para el tráfico rodado por TRAMOS (hipótesis de reducción de la IMD en proporción equivalente a la reducción superficial de carriles para el tráfico rodado).

ESCENARIOS	A	B	C	D	E
TRAMO 1º (entre Avda. del Sur y Gabriel Miró, 608m)	0 %	50 %	34,54 % (420mx2c)	0 %	50 %
TRAMO 2º (entre Gabriel Miró y Emp. Eugenia, 975m)	0 %	50 %	0 %	0 %	50 %
TRAMO 3º (entre Emp. Eugenia y Alhamar, 740m)	0 %	50 %	25,67 % (380mx2c)	0 %	50 %
TRAMO 4º (entre Alhamar y Cruz de Lagos, 780m)	0 %	50 %	14,74 % (230mx2c)	0 %	50 %
Longitud Total: 3.103 m.	0 %	50 %	16,60 % (1.030mx2c)	0 %	50 %

Tabla 3. Escenarios con variación de la IMD sobre las dos hipótesis (captación de la demanda y disminución del tráfico equivalente a la reducción de carriles para el tráfico rodado).

Escenarios		Tráfico (IMD)	Uso del suelo	Sección (m) (*)	Altura viviendas (**)	Densidad de Población (Hab./Ha) (**)
A	SITUACIÓN ACTUAL (caracterizada por Tramo 3°)	22.998 21.694 TOTAL: 44.692	Residencial plurifamiliar en patio de manzana con elevada intensidad comercial y de servicios	4 carriles (dos por sentido) a3,1/c8/m1/c8/p1,8/a3,1 TOTAL: 24	8/10	550-900
B	METRO LIGERO EN SUPERFICIE	Reducción 12/52% (***) respecto a la situación actual	Ídem.	<u>Pierde 2 carriles</u> 2 carriles (1 por sentido) a3,5/p1,8/c3,5/m0,5/M7/m0,5/c3,5/a3,5 TOTAL: 24	8/10	550-900
C	HÍBRIDO	Reducción del 10%/ variable según tramos	–	<u>Alternaría las secciones de los escenarios A y B (según anteproyecto)</u>	–	–
D	SUBTERRÁNEO +SITUACIÓN ACTUAL EN SUPERFICIE	Reducción 15/55% respecto a la situación actual	Ídem.	4 carriles (dos por sentido) a3,1/c8/m1/c8/p1,8/a3,1 TOTAL: 24	8/10	550-900
E	SUBTERRÁNEO +BUS-PEATÓN-BICI EN SUPERFICIE	Reducción 15/55% respecto a la situación actual	Ídem.	<u>Pierde 2 carriles</u> 2 carriles (1 por sentido) a4/B4/m0,5/c6,5/m0,5/p2/m0,5/b2/a4 TOTAL: 24	8/10	550-900

(*) Reparto de la sección tipo de la vía del tramo en cuestión: **a**=acera, **p**=aparcamiento, **c**= calzada, **m**= mediana, **vs**=vía de servicio, **B**=bus, **b**=bici, **M**=metro. Medición sobre plano digital catastral 1:2.000. (**) Valor dominante a lo largo de la vía. (***) El primer porcentaje corresponde a hipótesis de captación de la demanda y el segundo porcentaje a la disminución del tráfico equivalente a la reducción superficial de carriles para el tráfico rodado.

Tabla 4. Variación de la IMD por escenarios sobre la hipótesis de captación de la demanda de viajeros.

Escenarios	IMD Actual	Reducción (%)	IMD Futura
A	44692	0	44692
B	44692	12	39329
C	44692	10	40223
D	44692	15	37988
E	44692	15	37988

SECCIONES POR TRAMOS

Figura 1. Sección Tramo A del Cno. de Ronda.

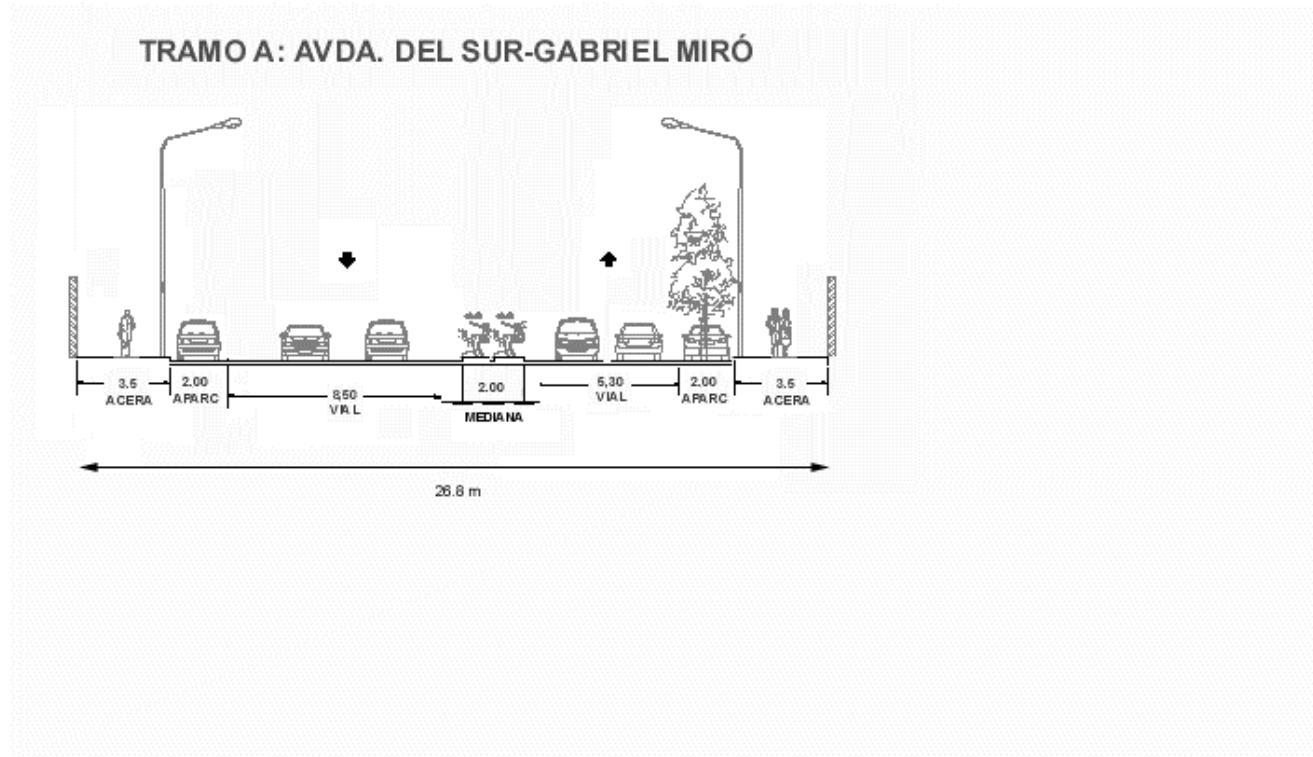


Figura 2. Sección Tramo B del Cno. de Ronda.

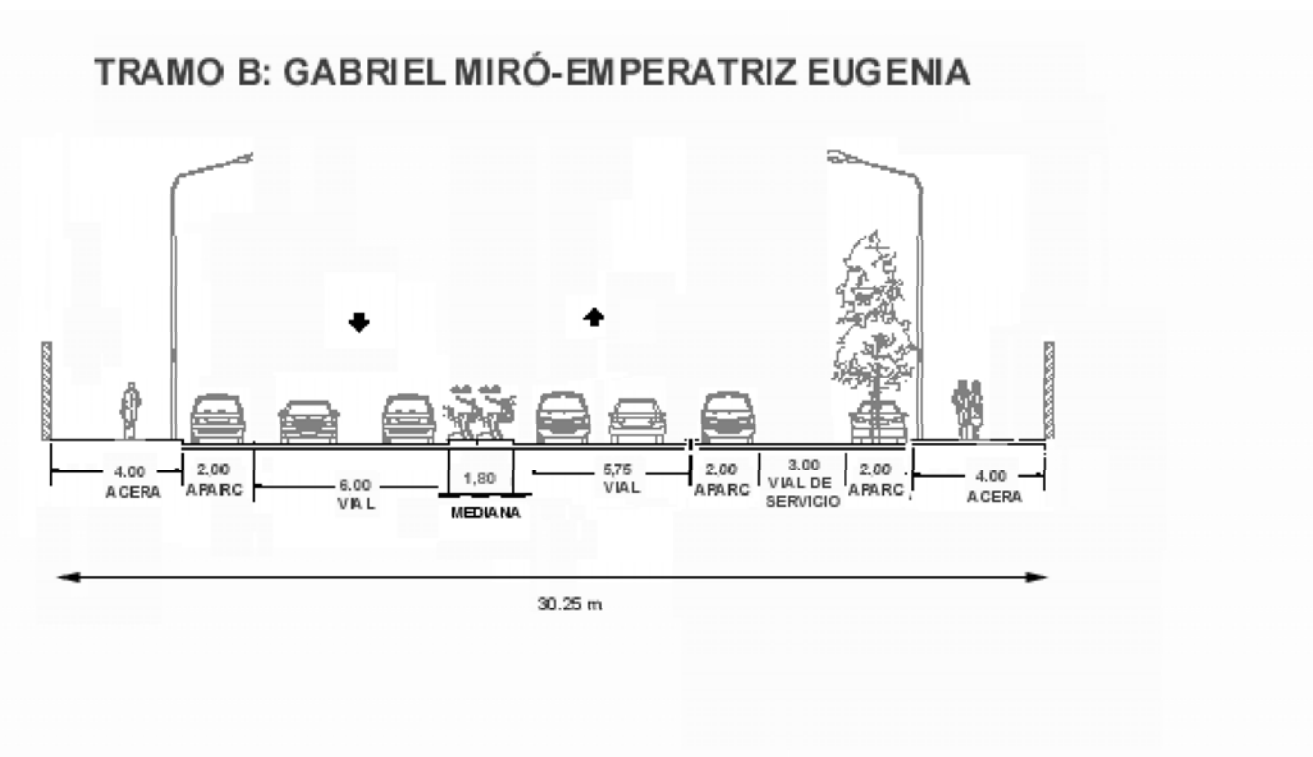


Figura 3. Sección Tramo C del Cno. de Ronda.

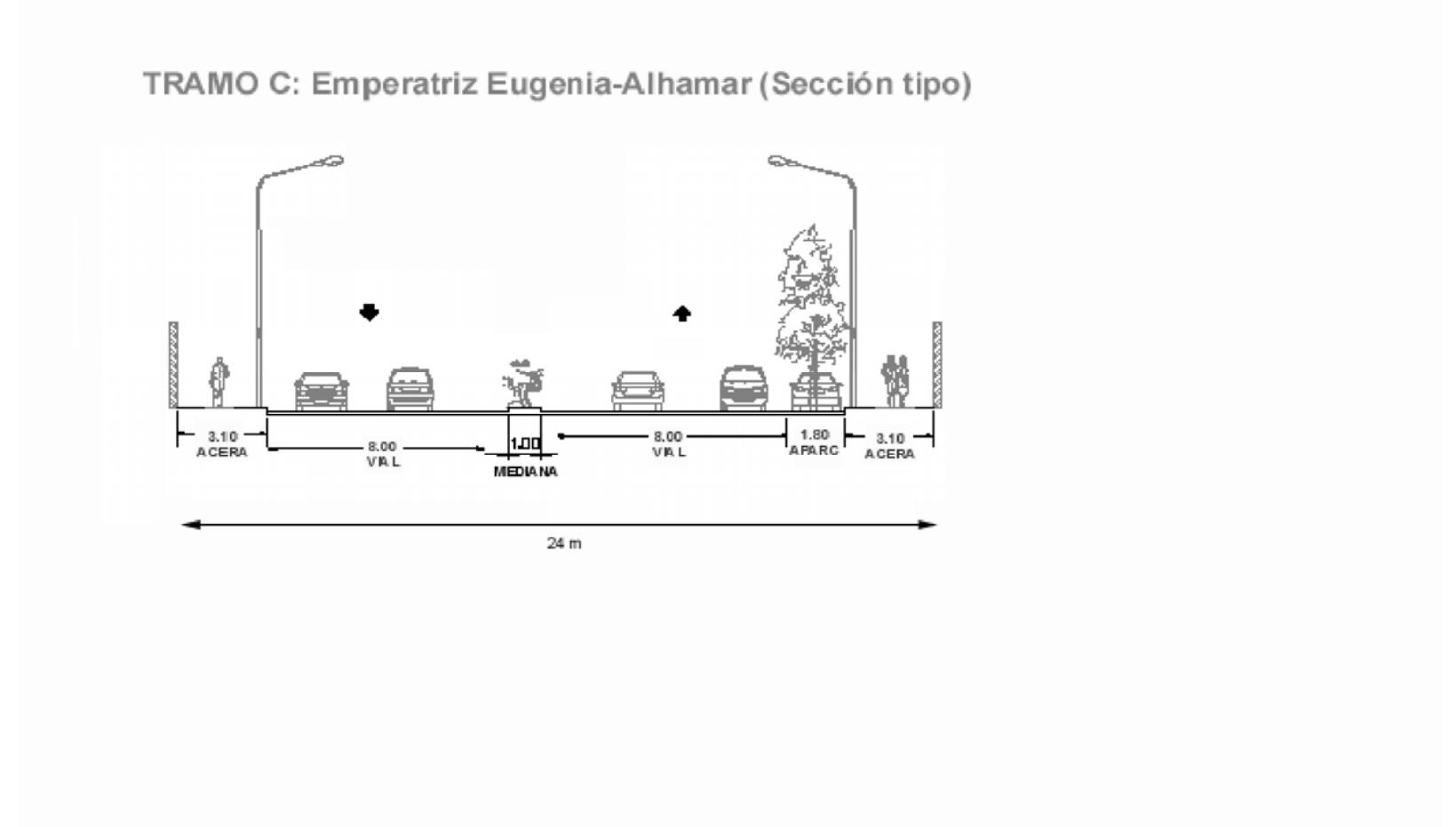
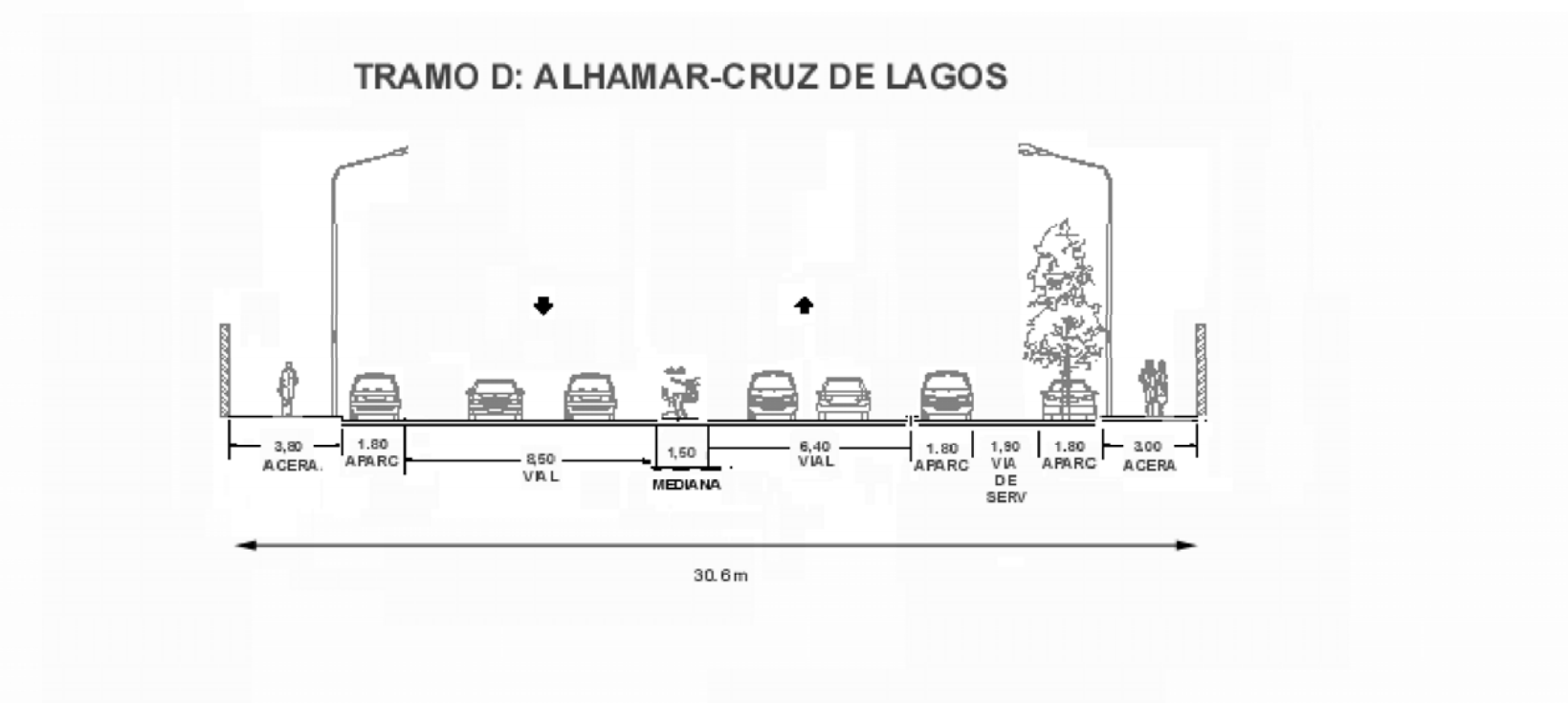


Figura 4. Sección Tramo D del Cno. de Ronda.



SECCIONES / ESCENARIOS

Figura 5. Escenario A: Situación Actual (caracterizada por el tramo C del Cno. de Ronda).

TRAMO C: Emperatriz Eugenia-Alhamar (Sección tipo)

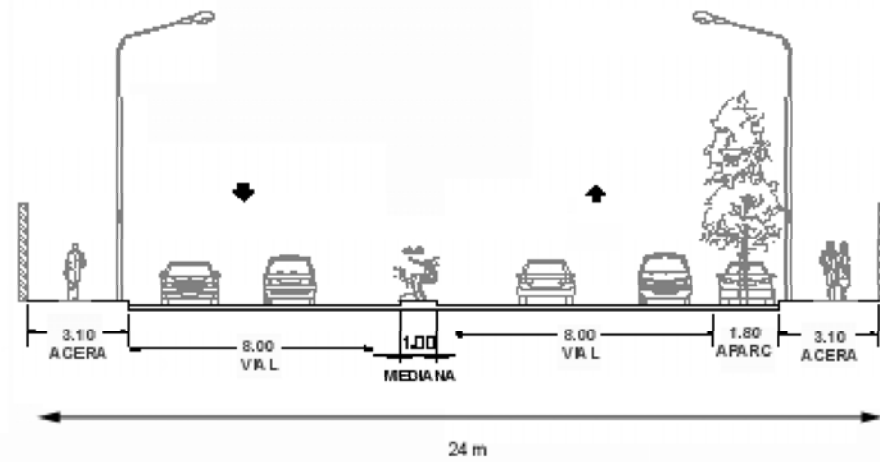
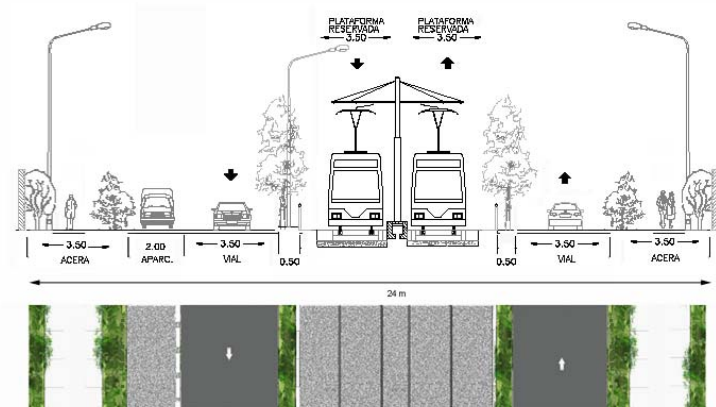


Figura 6. Escenario B: Metro Ligero en Superficie.

Metro ligero con plataforma reservada



ESCENARIO C: HÍBRIDO (SOBRE LA BASE DEL ANTEPROYECTO, ALTERNANDO SECCIONES DE LOS ESCENARIOS A Y B)

ESCENARIO D: METRO LIGERO SUBTERRÁNEO+SITUACIÓN ACTUAL EN SUPERFICIE (SECCIÓN ESCENARIO A: SITUACIÓN ACTUAL)

Figura 7. Escenario E.: Metro Ligero Subterráneo+Bus-Bici-Peaton.

METRO LIGERO SUBTERRÁNEO+CARRIL BUS-CARRIL BICI+AMPLIACIÓN DE ACERAS

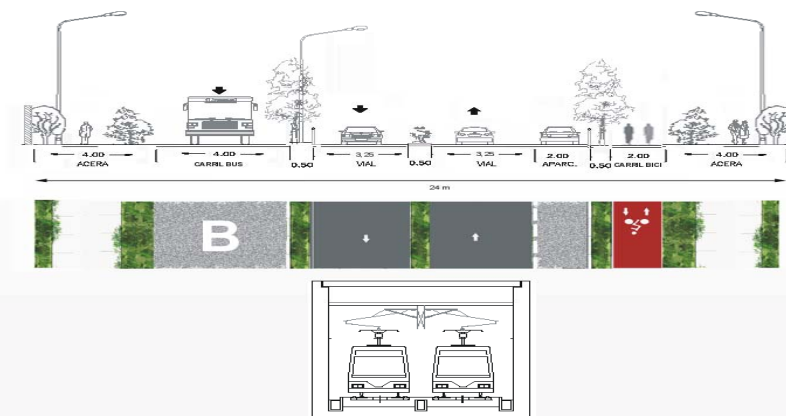


Figura 8. Plano del entorno del Cno. de Ronda: tramos de las secciones y verde urbano.

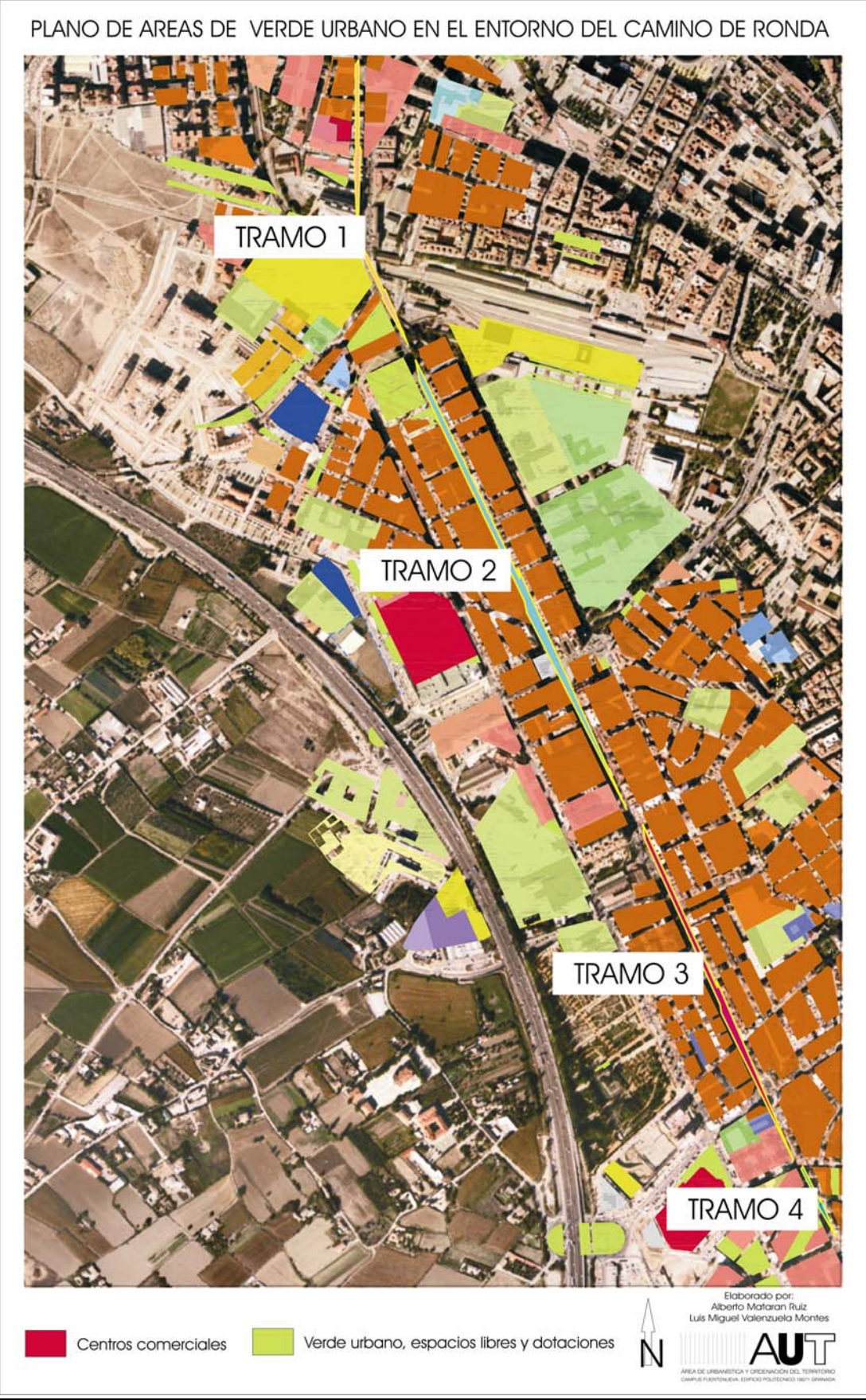


Tabla 5. Estadísticas Asociadas al Cálculo de la Eficiencia Superficial Modal: Viajeros día/Modo.

Escenarios	Viajeros día Tráfico (Vehículo Privado)	Viajeros día Metro Ligero (Superficie y Subterráneo)	Viajeros día Superficie Carril-Bus	Indicador (Viajeros día/Superficie)
A Situación Actual (caracterizada por tramo 3°)	55.865	–	–	1,12
B Metro Ligero en Superficie (plataforma reservada)	49.161,25	12.750	–	1,42
C Híbrido: alternando superficie y subterráneo (anteproyecto)	50.278,75	12.750	–	0,98
D Subterráneo +Situación actual en superficie	47.485	12.750	–	0,80
E Subterráneo+Bus-Peaton-Bici en superficie	47.485	12.750	3.228,5	1.16

Tabla 6. Estadísticas Asociadas al Cálculo de la Eficiencia Superficial Modal: superficie por calzada modal (m²).

Escenarios	Superficie Carril Tráfico (vehículo Privado)	Superficie Metro Ligero en Superficie (Flujo)	Superficie Metro Ligero Subterráneo	Superficie Carril-Bus
A Situación Actual (caracterizada por tramo 3°)	49.648 m ²	–	–	–
B Metro Ligero en Superficie (plataforma reservada)	21.721	21.721	–	–
C Híbrido: alternando superficie y subterráneo (anteproyecto)	40.378	7.210	16.584	–
D Subterráneo +Situación actual en superficie	49.648	–	24.824	
E Subterráneo+Bus-Peaton-Bici en superficie	20.169,50	–	24.824	12.412

Tabla 7. Estadísticas Asociadas al Cálculo del Efecto Barrera.

Escenarios	N° de Carriles por modo	Frecuencia (Flujo)	Anchura Calzada	Indicador del Efecto Barrera
A Situación Actual (caracterizada por tramo 3°)	4/Tráfico	31/minuto	17,8m.	2,20
B Metro Ligero en Superficie (plataforma reservada)	2/Tráfico 2/Tranvía	27,3/minuto 0,25/minuto	17m.	0,93
C Híbrido: alternando superficie y subterráneo (anteproyecto)	4/Tráfico (84%) 2/Tráfico (16%) 2/Tranvía	27,9/minuto 0,25/minuto	17,8m.	1,66
D Subterráneo +Situación actual en superficie	4/Tráfico	26,36/minuto	17,8m.	1,87
E Subterráneo+Bus- Peatón-Bici en superficie	2/Tráfico 2/Tranvía 1/Bus	26,36/minuto 0,25/minuto 0,12/miuto	16m.	0.85

Tabla 8. Distribución de Viajes en Líneas Urbanas de Autobús de Granada.

Línea	Viajes	% de viajes urbanos
LINEA 1	5782	5,4%
LINEA 3	8579	8,1%
LINEA 4	11942	11,2%
LINEA 5	7196	6,8%
LINEA 6	3980	3,7%
LINEA 7	7498	7,1%
LINEA 8	14627	13,8%
LINEA 9	9812	9,2%
LINEA 10	5830	5,5%
LINEA 11	12072	11,4%
LINEA 13	366	0,3%
LINEA F	405	0,4%
LINEA C	4479	4,2%
LINEA U	4899	4,6%
LINEA 20	2998	2,8%
LINEA 22	2662	2,5%
LINEA 23	---	---
LINEA 30	836	0,8%
LINEA 31	942	0,9%
LINEA 32	1414	1,3%
LINEA 33	---	---
TOTAL URBANOS	106320	100%

Fuente: Estudio Informativo y Anteproyecto de la Línea de Metro Ligero de Granada, Documento Resumen de Explotación de los Trabajos de Campo en Transporte Público en la Ciudad de Granada (Julio, 2003).

Tabla 9. Estadísticas Asociadas al Cálculo de la Superficie Verde y Peatonal (incluyendo la estancial).

Escenarios	Medianas de Verde	Superficie Verde (m²)	Anchura/Sup. Acera (m²)	Sup. Estancia (m² -4 paradas)	Superficie Peatonal+Estancial (m²)	Superficie Total: Verde+Peatonal+ Estancial ((m²)
A Situación Actual (caracterizada por tramo 3°)	1x2.836 m	2.836	2x3,10 / 17.299	-	17.299	20.135
B Metro Ligero en Superficie (plataforma reservada)	2x0,50x2836	2.836	2x3,50 / 19.852	4x40x12x2= 1.920 (4 estaciones. superficiales)	23.692	26.528
C Híbrido: alternando superficie y subterráneo (anteproyecto)	1x2.836	2.836	2x3,50 / 19.852	2x40x12x20= 1920 (2 estaciones superficiales) + 2x60x4x2= 960 (2 estaciones subterráneas)	22.732	25.568
D Subterráneo +Situación actual en superficie	1x2.836	2.836	2x3,10 / 17.299,60	4x60x4x2= 1.920 (4 estaciones superficiales)	19.219,60	22.055,60
E Subterráneo+Bus- Peatón-Bici en superficie	3x0,50x2.836	4.254	2x4 / 22.688	4x60x4x2= 1.920 (4 estaciones superficiales)	24.608	28.862

2. INFORMES SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE

INTRODUCCIÓN

Cuando se está hablando de una intervención sobre el medio ambiente urbano, una de las principales cuestiones a considerar será la calidad del aire; esta afirmación es válida desde el momento en el que las ciudades comienzan a tener un ambiente atmosférico insano fruto de altos niveles de inmisión de contaminantes, debidos a la interacción generalmente sinérgica de numerosas fuentes de emisión en el ecosistema urbano-industrial, de determinadas condiciones climatológicas y de una estructura urbana con un diseño y una planificación no demasiado sensibles a cuestiones ambientales relevantes, como el ruido. En cualquier caso, a lo largo de este informe nos referiremos a la calidad del aire en un sentido amplio, tal y como plantea la Ley 7/1994 de Protección Ambiental de Andalucía:

*“Se entiende por calidad del aire la adecuación a niveles de contaminación atmosférica, cualesquiera que sean las causas que la produzcan, que garanticen que las **materias o formas de energía**, incluidos los posibles ruidos y vibraciones, presentes en el aire no impliquen molestia grave, riesgo a daño inmediato o diferido, para las personas y para los bienes de cualquier naturaleza.”*

2.1. INFORME SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE: ALTERACIONES EN LA COMPOSICIÓN DE LA ATMÓSFERA.

2.1.1. Alteraciones en la composición de la atmósfera: importancia del problema.

Nos disponemos a abordar ahora el concepto de calidad del aire desde la perspectiva de las características que lo hacen respirable, es decir, adecuado para el ecosistema urbano y, sobre todo, para sus principales sujetos, las personas.

Los elementos que conforman esa masa atmosférica que llamamos aire, le confieren las características que lo hacen respirable. Los ciclos naturales que gobiernan las concentraciones de estas sustancias, se ven alterados progresivamente por la actividad humana. **Normalmente las principales alteraciones se producen sobre las concentraciones de los compuestos que se encuentran de forma natural en el aire, o sobre la composición total de dicho aire**, introduciendo en este caso otros compuestos extraños, generalmente tóxicos que afectan gravemente al recurso que respiramos. Así, el conocimiento de estas graves afecciones ha supuesto que alrededor del 20% de la ciudadanía andaluza considere este tipo de contaminación atmosférica como el problema ambiental más importante, tanto a nivel global como a nivel local (Instituto de Estudios Sociales de Andalucía, 2003), aunque este porcentaje queda en sexto lugar ya que es superado en esos dos niveles (local y global) por cuestiones como el ruido o la erosión. Si bien, según el Ecobarómetro de 2003 (Consejería de Medio Ambiente) un 31,1 % de la ciudadanía andaluza cree que el calentamiento global derivado de ese efecto invernadero es uno de los principales problemas globales

Si a la importancia general del problema se le une la circunstancia particular de que **el tráfico es la principal actividad responsable de esas alteraciones atmosféricas en las ciudades**, se justifica de forma clara la inclusión de este apartado en el Informe sobre el metro ligero. Aunque dados los altos costos que suponen un análisis completo de la contaminación atmosférica, no vamos a llegar al nivel de precisión aplicado en el caso de las emisiones sonoras, dónde se ha dispuesto de datos recogidos periódicamente mediante sonómetros portátiles. De este modo vamos a considerar únicamente el análisis de una serie de estudios

previos, que serán combinados con los datos que aportan las estaciones meteorológicas que tiene instaladas en Granada la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. Así mismo, tendremos en cuenta algunos estándares de emisión que permiten hacer ciertas valoraciones respecto a los gases más problemáticos, sobre todo por su incidencia en la salud local.

2.1.2. El transporte como principal contribuyente de la contaminación atmosférica en Granada

Si bien en general está justificada la inclusión de este estudio sobre contaminación atmosférica en un análisis ambiental de la movilidad urbana, en el caso de Granada la justificación es mucho mayor, ya que el volumen de tráfico es el principal factor responsable de que en nuestra ciudad la atmósfera esté altamente contaminada y de que se emitan altas cantidades de gases que producen el llamado “efecto invernadero”.

Así en la Agenda 21 Local (Hernández del Águila, *et al.*, 2003) se concluye que. “Se puede decir que el aire de Granada no es de una calidad buena, todo lo contrario, se dan superaciones importantes de los valores límite y guía en la mayor parte de los contaminantes medidos (...)”. Esta afirmación del Diagnóstico Ambiental de la Agenda 21 Local del Ayuntamiento de Granada (Hernández del Águila, *et al.*, 2003) está basada en una serie de datos suministrados por la Consejería de Medio Ambiente, cuyas gráficas más significativas incluimos en este informe, ya que han sido utilizadas para hacer algunas estimaciones comparativas de los escenarios de implantación del metro ligero que se contrastan en este informe de carácter ambiental, considerando el año 2000 como referencia última, ya que es también el año del aforo de tráfico que se utiliza en el Estudio Informativo del Metro Ligero de Granada, cuyos datos dan pie a las hipótesis (escenarios) consideradas en este informe. Así, en primer lugar, la tabla siguiente del Informe de Medio Ambiente de 2000 de dicha Consejería de Medio Ambiente, demuestra claramente la **mala situación de Granada respecto a otras ciudades del entorno con mayor número de habitantes y con mayor actividad industrial.**

Para la obtención de la mayor parte de los datos que comentamos en este informe (incluidos los que han dado lugar a la tabla anterior), la Consejería de Medio Ambiente tiene **tres instalaciones de medida en la capital, una en la Avenida de Cádiz (Justo al final del Camino de Ronda), otra en la Avenida de la Constitución y otra que se encontraba en el Camino de Ronda hasta el año 2001 en que fue trasladada a la zona Norte, junto a la Carretera de Jaén.** Las dos primeras, junto con la del Camino de Ronda nos aportan datos relativos a zonas con altos niveles de tráfico, por lo que las medidas de inmisión serán similares a las que se producen en otros lugares de la ciudad que soporten niveles de tráfico también parecidos, como las saturadas intersecciones entre las entradas a la ciudad y el Camino de Ronda, calle que pasa por ser el objeto principal de nuestro estudio.

Tabla 10. Clasificación de las zonas de Andalucía según objetivos de calidad de+l aire.

ZONAS	Valores Límites							
	SO2			PM10		NO2		Pb
	Horario	Diario	Anual	Diario	Anual	Horario	Anual	Anual
	Salud Humana	Salud Humana	Ecosist	Salud Humana	Salud Humana	Salud Humana	Salud Humana	Salud Humana
Sevilla	3	3		2	1	2	2	3
Córdoba	3	3		1	1	3	2	3
Málaga	3	3		2	2	3	2	3
Costa del Sol	3	3		2	2	3	3	3
Granada	3	3		2	2	2	1	3
Núcleos de 50.000-250.000 hab.	3	3		2	2	3	3	3
Zona Industrial de Huelva	3	3		1	1	3	3	3
Zona Industrial de Algeciras	3	3		1	1	3	3	3
Zona Industrial Alcalá de Guadaira	3	3		1	1	3	3	3
Zona Industrial de Bailen	3	3		1	1	3	3	3
Zona Industrial de Puente Nuevo	3	3		2	3	3	3	3
Zona Industrial de Carboneras	3	3		3	3	3	3	3
Areas Forestales y Espacios Naturales	3	3	3	3	3	3	3	3
Zonas Agrícolas	3	3	3	3	3	3	3	3

Fuente: Modificada del Informe de Medio Ambiente 2000 (Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía).

- **Categoría 1:** formada por aquellos puntos en donde la evaluación del contaminante analizado sobrepasa el valor límite más el margen de tolerancia en la forma definida.
- **Categoría 2:** formada por aquellos puntos en donde la evaluación del contaminante analizado se encuentra entre el valor límite y el valor límite más el margen de tolerancia, en la forma definida.
- **Categoría 3:** el resto de zonas, es decir, aquellas donde la evaluación del contaminante analizado se encuentra por debajo del valor límite en la forma definida.

Las tres siguientes gráficas del monóxido de carbono medido en la cabina de la Avenida de Cádiz, constituyen la justificación más clara de que el tráfico es el responsable de la mayor parte de la contaminación atmosférica de la ciudad de Granada. Así, la evolución diaria determina **picos en las horas con mayor tráfico en los días laborables (figura 9)**, algo que no ocurre en los días de fiesta (figura 10); mientras que la evolución semanal incluye **valles durante los domingos**, cuando disminuye sensiblemente el nivel de tráfico (figura 11).

Figura 9.

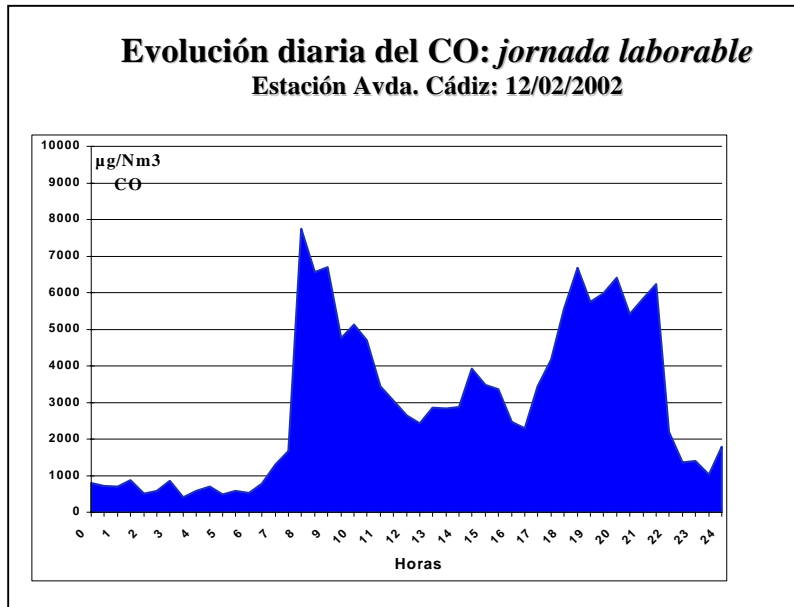


Figura 10.

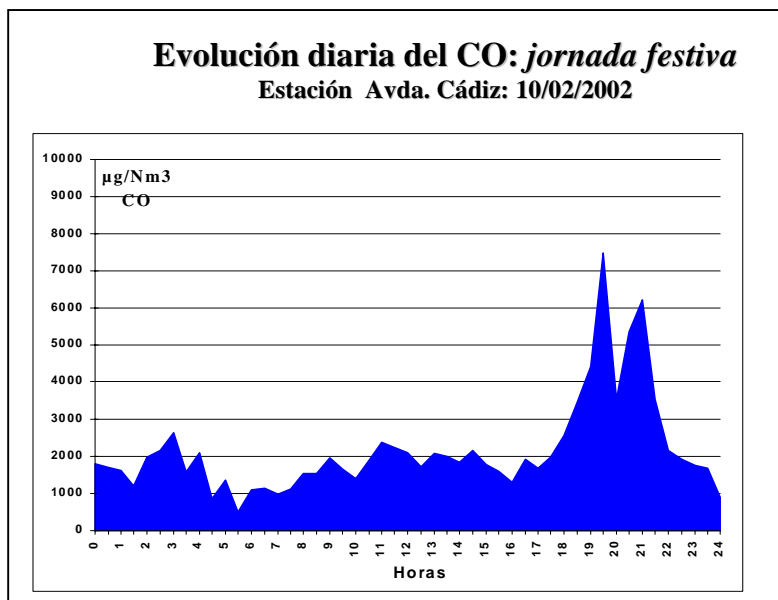
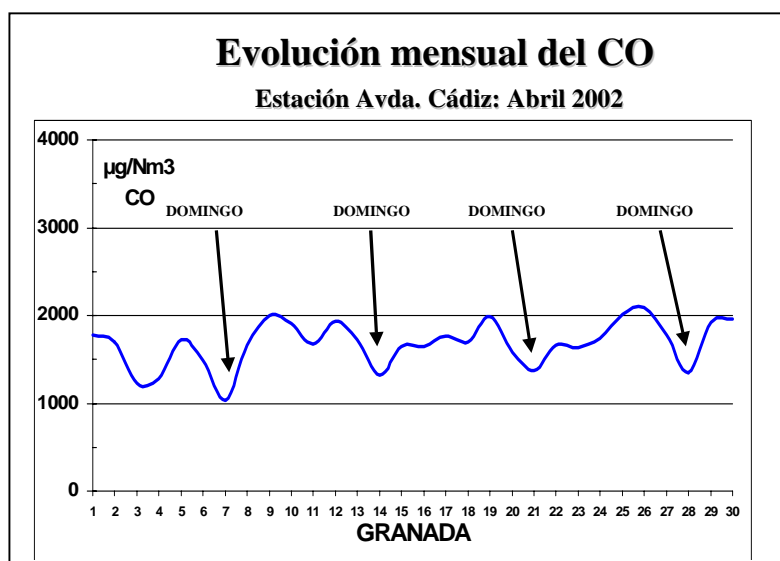


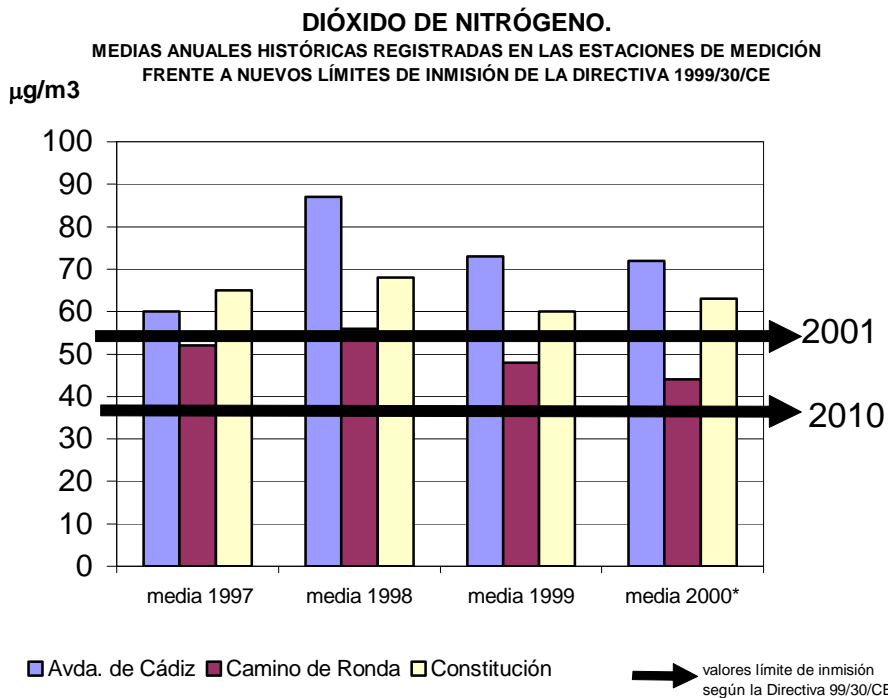
Figura 11.



Fuente: Diagnóstico Ambiental Agenda Local 21 de Granada (Hernández del Águila, *et al*, 2003).

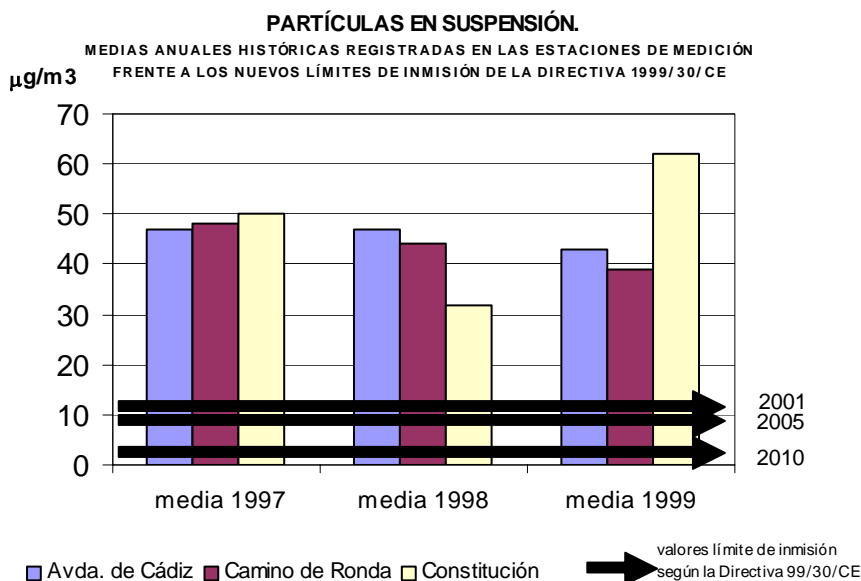
Siguiendo con el análisis anterior, tal y como se puede observar en la mayoría de las figuras que vamos a mostrar a lo largo de este informe, existen importantes incumplimientos de la legislación, la mayoría detectados en la zona de la Avenida de Cádiz y en la Avenida de la Constitución, que son lugares muy transitados; mientras que la cabina que había instalada en el Camino de Ronda recogió datos importantes, pero suponemos que la menor densidad de tráfico supuso picos menores que en la cabina existente en la intersección de esta calle con la Avenida de Cádiz al adentrarse en el populoso barrio del Zaidín. Esta relación más o menos directa entre la densidad de tráfico y la contaminación por partículas en suspensión y dióxido de nitrógeno, nos hace pensar que cualquier actuación que reduzca el tráfico reducirá las medias de inmisión de los contaminantes con una cierta proporcionalidad, y a lo mejor, bajando hasta los valores límite que vamos a considerar en este estudio, y que son los horizontes temporales de las últimas directivas europeas en la materia: La Directiva 96/62/CE del Consejo de 27 de septiembre sobre Evaluación y Gestión de la Calidad del Aire Ambiente que dio lugar posteriormente a la **Directiva 1999/30/CE relativa a los valores límite de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno, partículas y plomo en el aire ambiente.**

Figura 12.



Fuente: Informes de Contaminación Atmosférica de la Consejería de Medio Ambiente y Agenda Local 21 de Granada. (*) La cabina de Camino de Ronda se traslada a Granada Norte.

Figura 13.



Fuente: Informes de Contaminación Atmosférica de la Consejería de Medio Ambiente y Agenda Local 21 de Granada.

21.3. Aproximación a la distribución urbana de la contaminación.

Este análisis de los lugares más contaminados nos lleva a considerar la **importancia de peatonalizar o rediseñar las principales intersecciones aprovechando la colocación de estaciones de metro ligero**, con la intención de reducir el colapso de vehículos y el peligro de la alta contaminación excesivamente localizada que estos producen, tal y como

demostraremos más adelante. Por lo tanto, una vez argumentada la relación entre el tráfico y la contaminación atmosférica, con la intención de ahondar un poco más en el problema de nuestra capital, nos disponemos a valorar los datos recopilados, por EGMASA (1998), sobre las partículas en suspensión y el dióxido de nitrógeno, para el conjunto de la ciudad y no sólo tomando los datos emitidos por las tres cabinas de medida que utiliza habitualmente la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía.

Los siguientes **mapas de contaminación por dióxido de nitrógeno** fueron elaborados para toda la ciudad, como decíamos, en el marco del "Estudio Piloto de la Contaminación Atmosférica en Granada", desarrollado por EGMASA (1998) en colaboración con la Consejería de Medio Ambiente, el grupo LED de la Universidad de París VII, el ERLAP (European Reference Laboratory for Air Pollution) del Centro de Investigación del ISPRA (Italia) y el grupo POM de la Universidad de Toulouse III. La elaboración de los dos primeros mapas se produjo en diferentes condiciones atmosféricas, de manera que el primero se elaboró en condiciones favorables para la dispersión (periodo ciclónico) y el segundo en un periodo de estabilidad o anticiclónico que produce una mayor inmisión de contaminantes. El tercer mapa sería una comparativa entre los dos primeros, y permite confirmar la existencia de determinadas zonas con mayores niveles de contaminación.

Figura 14. Distribución municipal del dióxido de nitrógeno en periodos ciclónicos (Fuente: EGMASA, 1998).

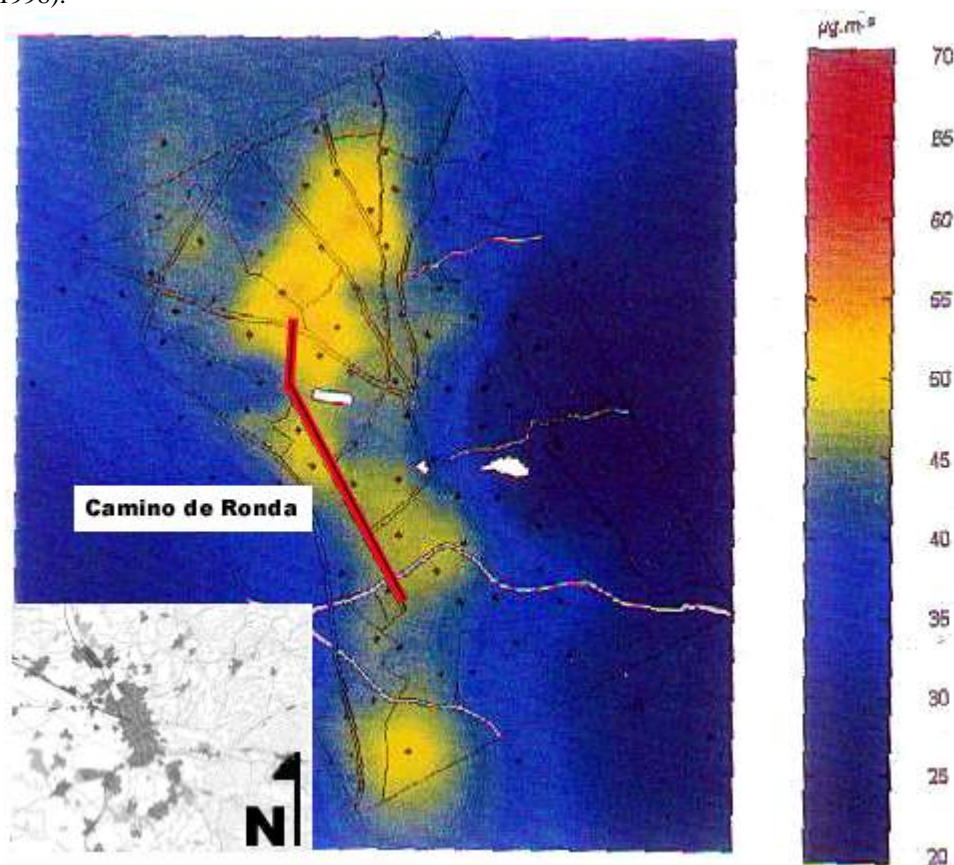


Figura 15. Distribución municipal del dióxido de nitrógeno en periodos anticiclónicos
(Fuente: EGMASA, 1998).

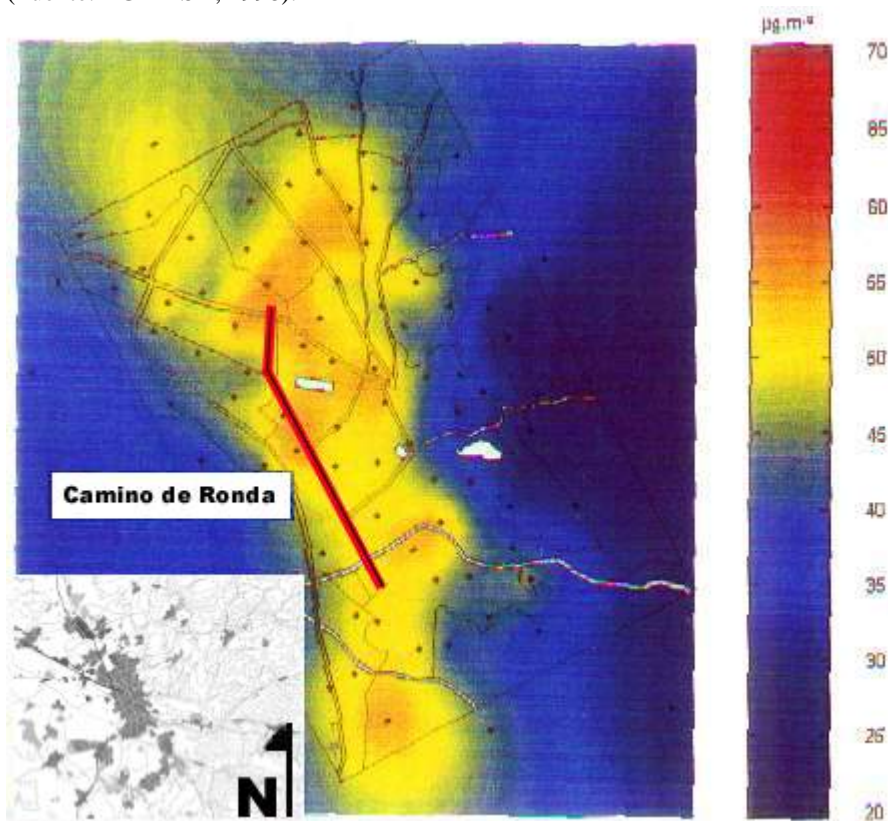
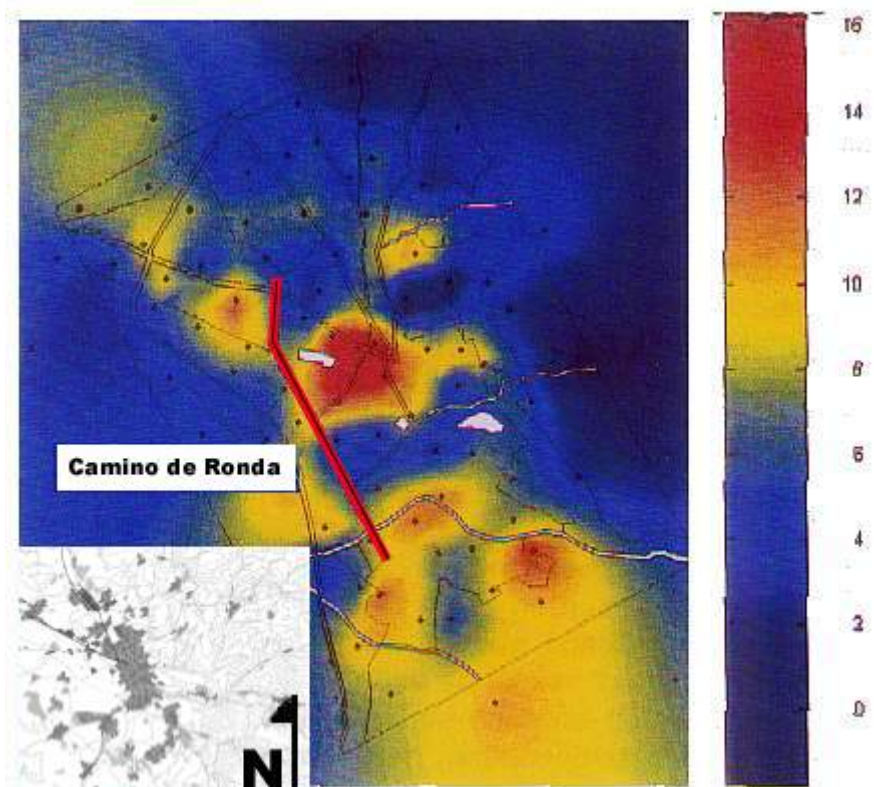


Figura 16. Diferencia entre la distribución en periodos ciclónicos y anticiclónicos
(Fuente:EGMASA,1998).



En los tres mapas aparece el Camino de Ronda como una zona altamente contaminada, aunque será en el segundo mapa en el que se demuestre claramente que frente a una contaminación distribuida por toda la calle, será marcada la tendencia a que los **altos niveles de contaminación coincidan sobre todo con las intersecciones con mayor tráfico como la que existe a la altura de la Calle Méndez Núñez,** algo que coincide con el análisis de las estaciones que presentamos posteriormente. Esas cabinas de la Junta de Andalucía, situadas en puntos de alta saturación de tráfico midieron incluso mayores niveles de contaminación de los que se señalan en los planos anteriores para dichas zonas. Por lo tanto, con altos niveles de tráfico las medias anuales de inmisión son todavía más preocupantes que las mediciones temporales, lo que justifica la peligrosidad de concentrar el tráfico en determinadas zonas. Por último, las zonas de color rojo del tercer mapa describen los lugares más contaminados, que coinciden con las zonas de mayor producción por un lado, que serán las más saturadas de tráfico como las intersecciones o entradas del centro, entre las cuales se encuentra esta de Méndez Núñez. Así mismo, esas manchas rojas determinan zonas de acumulación, existiendo una gran mancha roja en el norte de la ciudad, que corresponde a la acumulación de los contaminantes del área metropolitana en esta zona, lo cual supone que aunque reduzcamos la contaminación de una calle o una serie de lugares muy afectados, **si mantenemos la densidad total de tráfico seguirán existiendo niveles altos de contaminación sobre zonas altamente pobladas como esta del norte.**

Este análisis geográfico de la contaminación ha demostrado que **la situación topográfica y climatológica de Granada también determinan junto con el tráfico la existencia de altos niveles de contaminación,** que se ven incrementados en determinados puntos por un urbanismo que ha permitido la construcción de **edificios de gran altura para calles excesivamente estrechas, dificultándose aún más la dispersión de los contaminantes atmosféricos.**

Para terminar con este epígrafe cabe destacar de nuevo que la mayor parte de estos contaminantes proviene del tráfico, que encuentra problemas para discurrir por esta trama urbana, como los encuentra este sistema urbano para la depuración de los contaminantes que dicho tráfico crea. De este modo, se podría afirmar algo que se viene diciendo desde hace mucho tiempo en nuestra ciudad: **la estructura urbana no está preparada para absorber los altos niveles de tráfico que actualmente circulan por las calles de Granada, incluyendo las principales arterias como el Camino de Ronda.** Por lo tanto, la única solución viable sería la disminución del tráfico proponiendo nuevos métodos de transporte, restringiendo los accesos y reduciendo el espacio dedicado a los automóviles, sobre todo en determinadas zonas con edificios altos y rodeadas de calles sinuosas como el Camino de Ronda. En cualquier caso, el problema del tráfico debe tener una solución integral, ya que si se trasladan flujos de unas calles a otras similares (eje: restricción del centro para cargar el Camino de Ronda), probablemente sigamos teniendo los mismos problemas de contaminación, ya que los máximos se localizarán en otras zonas concretas y los contaminantes difundirán produciendo niveles inadmisibles en gran parte del área urbana.

2.1.4. Contaminación atmosférica y movilidad: hipótesis y evaluación de escenarios.

Una vez mostrada la situación de nuestra ciudad respecto a la contaminación atmosférica y tras haber argumentado las dificultades para elaborar modelos predictivos que evalúen la incidencia de una nueva organización local del transporte, nos disponemos a realizar una evaluación de los cinco escenarios (secciones e hipótesis) que se proponen para el metro ligero (a su paso por el Cno. de Ronda) en este informe de carácter ambiental. Sin embargo,

debido al carácter de este tipo de contaminación atmosférica y a la escasez de medios para elaborar este estudio, no hemos diferenciado entre los distintos periodos de tiempo, centrándonos en datos anuales, frente a la mayor certeza de los modelos apoyados en estudios horarios, diarios y mensuales (Hickman, 1999). Esto es debido a que los factores que interaccionan (temperatura, humedad,...) son numerosos y además los datos de partida con los que contamos no son excesivamente fiables, de manera que el estudio debe asumir simplicidad para no caer en graves errores. **Así mismo, la decisión de simplificar el estudio guarda relación con nuestra intención casi única de comparar alternativas mediante la utilización de ciertos indicadores, que en este caso puede ser el NO₂ sobre todo, y en cierta medida las partículas en suspensión medidas como PM₁₀.**

Considerando que los datos de la IMD (aforos de tráfico, 2000) usados en el Estudio Informativo del Metro Ligero de Granada (2002), fueron tomados entre el 1 de enero y el 6 de marzo de 2000, para nuestro análisis utilizaremos los datos de contaminación atmosférica que suministraba la estación que la Consejería de Medio Ambiente tenía situada en el Camino de Ronda hasta Diciembre de 1999. Sin embargo, para considerar las variaciones que se pudieran producir en 2000, y debido a la similitud de situaciones (en lo que respecta a volumen de tráfico y altura de edificios) también haremos algunas referencias a la estación de la Avenida de Cádiz. Los datos de la Avenida de la Constitución serán considerados, ya que casi siempre marcan los máximos de contaminación, lo cual puede servir de idea para plantearse el verdadero impacto en las zonas más saturadas de tráfico y la necesidad de un transporte público eficaz en metro ligero.

A tenor de las valoraciones y premisas anteriores y en consonancia con las hipótesis, procuramos **una simulación siguiendo un modelo simple de relación lineal que permite obtener un orden de magnitud de las alteraciones que se pueden producir según las diferentes alternativas, de esta forma presentamos en la tabla 11** los cinco escenarios evaluados en este informe, con una descripción esquemática de sus características principales, incluyendo el volumen de tráfico que será reducido primero por la hipótesis de captación de flujos de viajeros por parte del nuevo transporte público y considerando otra hipótesis también valorada en el informe parcial sobre el ruido, esto es, que la reducción de la capacidad viaria para el tráfico rodado fuese equivalente o directamente proporcional a una reducción del flujo de vehículos privados.

Por tanto, considerando que **la disminución de la contaminación será debida principalmente a la disminución de la cantidad de vehículos que atraviesan la zona en cuestión**, podría suceder bien, que sean durante las horas punta donde más claramente se noten estas las restricciones al tráfico, con una eficaz política integral de gestión de la movilidad urbana, o bien, **se corre el peligro real de dilatar esos atascos durante un mayor número de horas**, con lo que los máximos alcanzarán niveles inferiores (algo importante para la salud de las personas), pero existirá un nivel medio importante, con numerosos picos determinados por la extensión de los atascos. En el mismo sentido, la disminución de la contaminación media en una calle, dependerá también de la cantidad de contaminación que se produzca en otras calles, de manera que si esa dilatación de los atascos se produce también en el espacio, **colapsando las arterias adyacentes, el volumen de contaminación media puede incluso incrementarse** (los vehículos producen una mayor contaminación cuando están en un atasco que cuando circulan de manera más dinámica), disminuyendo la calidad ambiental de una zona aún mayor de la ciudad, e incrementando las concentraciones en el lugar de acumulación natural de la ciudad: la zona norte.

Por lo tanto, teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, cobra sentido para nuestra hipótesis (dada la cantidad de datos necesarios y factores físicos y espaciales interactuantes) sencilla de una relación lineal entre la reducción del tráfico y la disminución de la contaminación atmosférica, el que se detecte cuál debería ser la reducción del tráfico aproximada que permitiría alcanzar los límites que plantean las directivas europeas sobre contaminación atmosférica que citábamos al principio de este apartado. De ahí que como hacemos en el otro informe parcial dedicado a la calidad del aire sobre el ruido, conjugemos de forma progresiva las dos hipótesis de reducción del tráfico privado, yendo de una previsible menor reducción por captación de la demanda (entre el 10 y el 15%) a una muy considerable mayor reducción (en torno al 50%), si la restricción superficial al tráfico supusiese una reducción equivalente del flujo de vehículos.

Tabla 11. Escenarios para la predicción de niveles sonoros sobre las dos hipótesis: captación de la demanda y disminución del tráfico equivalente a la reducción e carriles rodado.

Escenarios	Tráfico (IMD)	Uso del suelo	Sección (m) (*)	Altura viviendas (**)	Densidad de Población (Hab./Ha) (**)
A	SITUACIÓN ACTUAL (caracterizada por Tramo 3°) 22.998 21.694 TOTAL: 44.692	Residencial plurifamiliar en patio de manzana con elevada intensidad comercial y de servicios	4 carriles (dos por sentido) a3,1/c8/m1/c8/p1,8/a3,1 TOTAL: 24	8/10	550-900
B	METRO LIGERO EN SUPERFICIE Reducción 12/52% (***) respecto a la situación actual	Ídem.	<u>Pierde 2 carriles</u> 2 carriles (1 por sentido) a3,5/p1,8/c3,5/m0,5/M7/m0,5/c3,5/a3,5 TOTAL: 24	8/10	550-900
C	HÍBRIDO Reducción del 10%/ variable según tramos	–	<u>Alternaría las secciones de los escenarios A y B (según anteproyecto)</u>	–	–
D	SUBTERRÁNEO +SITUACIÓN ACTUAL EN SUPERFICIE Reducción 15/55% respecto a la situación actual	Ídem.	4 carriles (dos por sentido) a3,1/c8/m1/c8/p1,8/a3,1 TOTAL: 24	8/10	550-900
E	SUBTERRÁNEO +BUS-PEATÓN-BICI EN SUPERFICIE Reducción 15/55% respecto a la situación actual	Ídem.	<u>Pierde 2 carriles</u> 2 carriles (1 por sentido) a4/B4/m0,5/c6,5/m0,5/p2/m0,5/b2/a4 TOTAL: 24	8/10	550-900

(*) Reparto de la sección tipo de la vía del tramo en cuestión: a=acera, p=aparcamiento, c= calzada, m= mediana, vs=vía de servicio, B=bus, b=bici, M=metro. Medición sobre plano digital catastral 1:2.000. (**) Valor dominante a lo largo de la vía. (***) El primer porcentaje corresponde a hipótesis de captación de la demanda y el segundo porcentaje a la disminución del tráfico equivalente a la reducción superficial de carriles para el tráfico rodado.

Figura 12. Estándares de emisiones (NOx) para diferentes modos de transporte urbano (Fuente, CE-Delft, 2003).

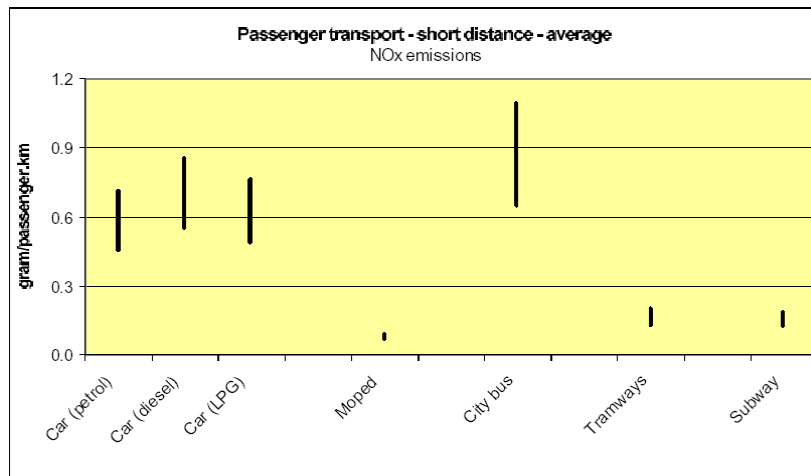


Figura 13. Estándares de emisiones (PM10) para diferentes modos de transporte urbano (Fuente, CE-Delft, 2003).

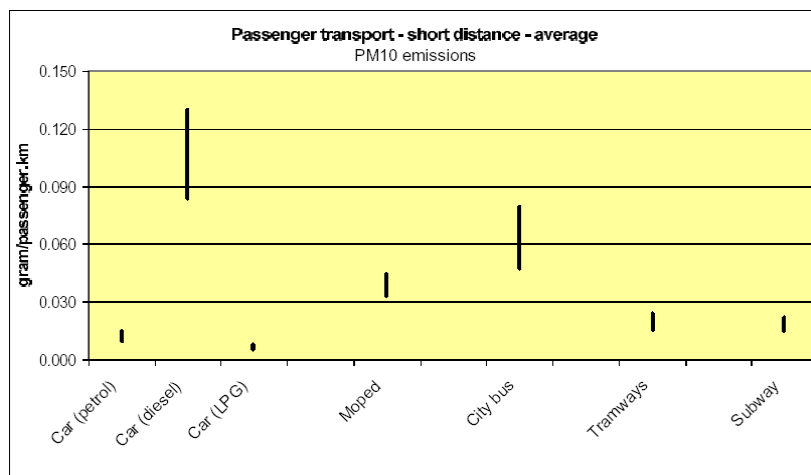
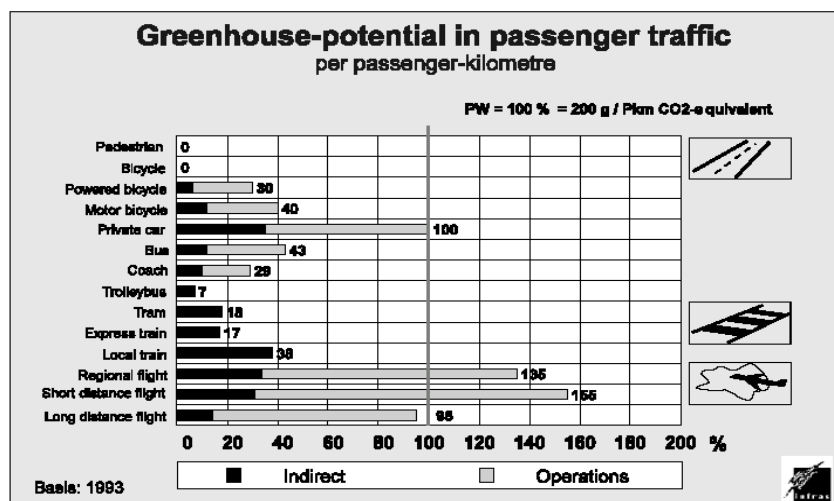


Figura 14. Potencial de contribución al efecto invernadero de diferentes modos de transporte urbano (Fuente, INFRAS, 1997).



Por último resulta oportuno, antes de proceder a la descripción del contexto particular que evaluamos, mostrar una serie de estándares que ponen de manifiesto las diferencias entre modos de transporte respecto a su contribución potencial a la contaminación y al efecto invernadero, ya que sobre esta base genérica estadística (figuras 12 a 14) cabe plantear bastantes reflexiones en torno a las alternativas en un medio urbano concreto a la hora de evaluar, planificar y gestionar la movilidad, o más exactamente, el reparto modal de la misma.

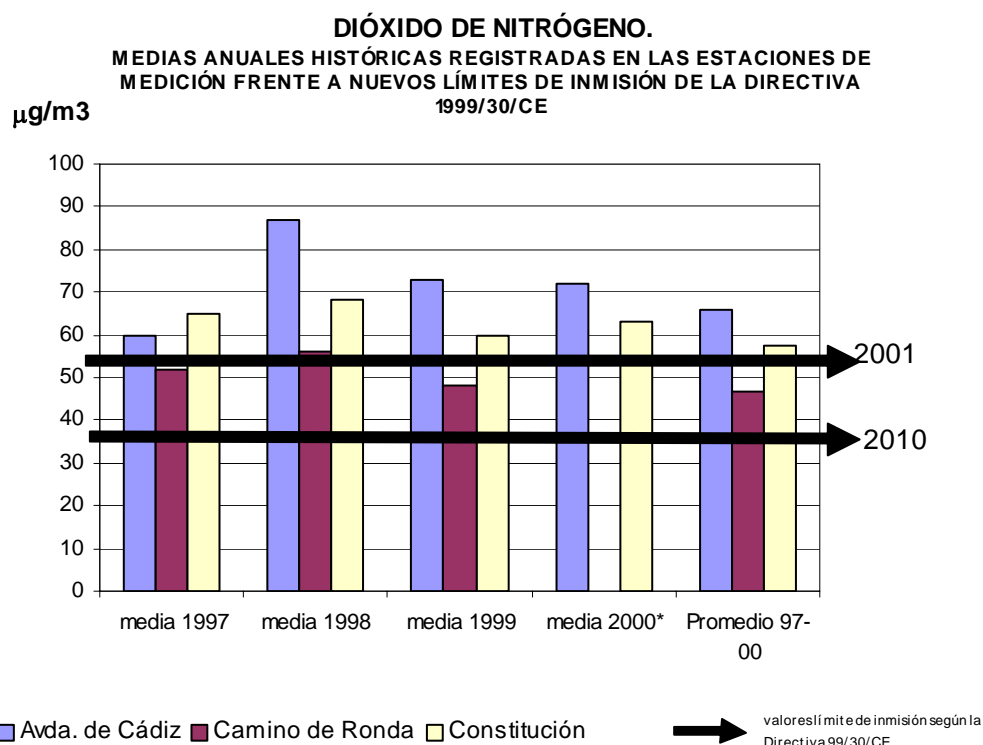
2.1.4.1. Análisis por escenarios de las dos hipótesis.

Escenario A: Situación actual

Esta será la situación que se va a tomar como referencia para analizar todas las alternativas. La idea será considerar el año 2000 para que así sea comparable con los datos de tráfico descritos en el anteproyecto, si bien en lo que respecta a los datos de contaminación, a parte del análisis realizado en la introducción de este capítulo, se va a considerar una media de tres años (1998-1999-2000) para que así los resultados tengan una mayor adecuación a la realidad, tratando de reducir las posibles interacciones de otra serie de fenómenos ajenos al tráfico, pero importantes para la contaminación atmosférica.

Así mismo, como ya se hizo al principio, se va a hacer referencia a los valores límites de inmisión de la Directiva 1999/30 que marcan en cierta medida los objetivos que deben ser cumplidos en los próximos años (horizontes temporales de 2001, 2005 y 2010).

Figura 15.



Fuente: Modificado de Informes de Contaminación Atmosférica de la Consejería de Medio Ambiente y Agenda Local 21 de Granada. (*) La cabina de Camino de Ronda se traslada a Granada Norte.

Escenario B: Metro Ligerero en Superficie

Tabla 12. Valores de las Partículas en Suspensión en el Escenario B sobre las dos hipótesis.

Cabina / PS Escenario B ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Promedio 97-99	Hipótesis CD (*) -12%	Hipótesis RT (**) -52%
Avda. de Cádiz	45,67	40,19	21,92
Camino de Ronda	39,3	34,58	18,86
Constitución	43,2	38,02	20,74

(*) CD= hipótesis sobre la captación de la demanda;

(**) RT= hipótesis sobre la disminución del tráfico equivalente a la reducción superficial de carriles para el tráfico rodado.

Tabla 13. Valores del Dióxido de Nitrógeno en el Escenario B sobre las dos hipótesis.

Cabina/ NO ₂ Escenario B ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Promedio 97-00	Hipótesis CD - 12%	Hipótesis RT -52%
Avda. de Cádiz	73	64,24	35,04
Camino de Ronda	52	45,76	24,96
Constitución	64	56,32	30,72

Figura 16.

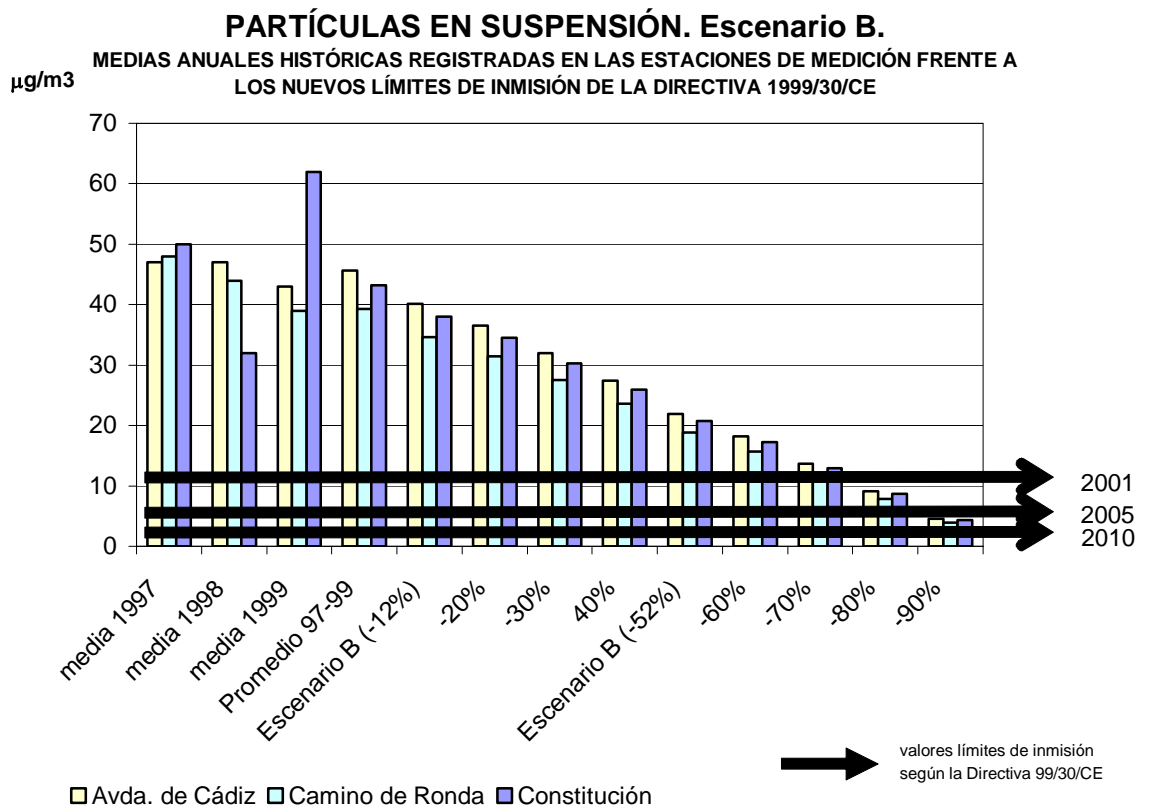
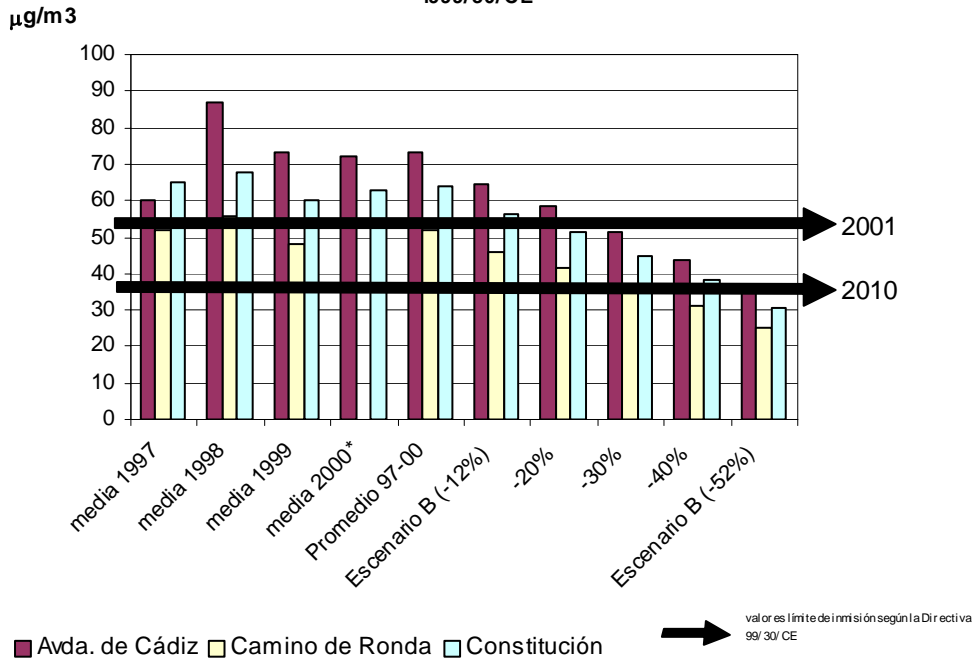


Figura 17.

DIÓXIDO DE NITRÓGENO. Escenario B.
MEDIAS ANUALES HISTÓRICAS REGISTRADAS EN LAS ESTACIONES DE MEDICIÓN FRENTE A NUEVOS LÍMITES DE INMISIÓN DE LA DIRECTIVA 1999/30/CE



Fuente: Modificado de Informes de Contaminación Atmosférica de la Consejería de Medio Ambiente y Agenda Local 21 de Granada. (*) La cabina de Camino de Ronda se traslada a Granada Norte.

Escenario C: Híbrido (Anteproyecto)

Tabla 14. Valores de las Partículas en Suspensión en el Escenario C sobre las dos hipótesis.

Cabina / PS Escenario C (µg/m³)	Promedio 97-99	Hipótesis CF -10%	Hipótesis RT -50%
Avda. de Cádiz	45,67	41,1	22,83
Camino de Ronda	39,3	35,37	19,65
Constitución	43,2	38,88	21,6

Tabla 15. Valores del Dióxido de Nitrógeno en el Escenario C sobre las dos hipótesis.

Cabina/ NO ₂ Escenario C (µg/m³)	Promedio 97-00	Hipótesis CF - 10%	Hipótesis RT -50%
Avda. de Cádiz	73	65,7	36,5
Camino de Ronda	52	46,8	26
Constitución	64	57,6	32

Figura 18.

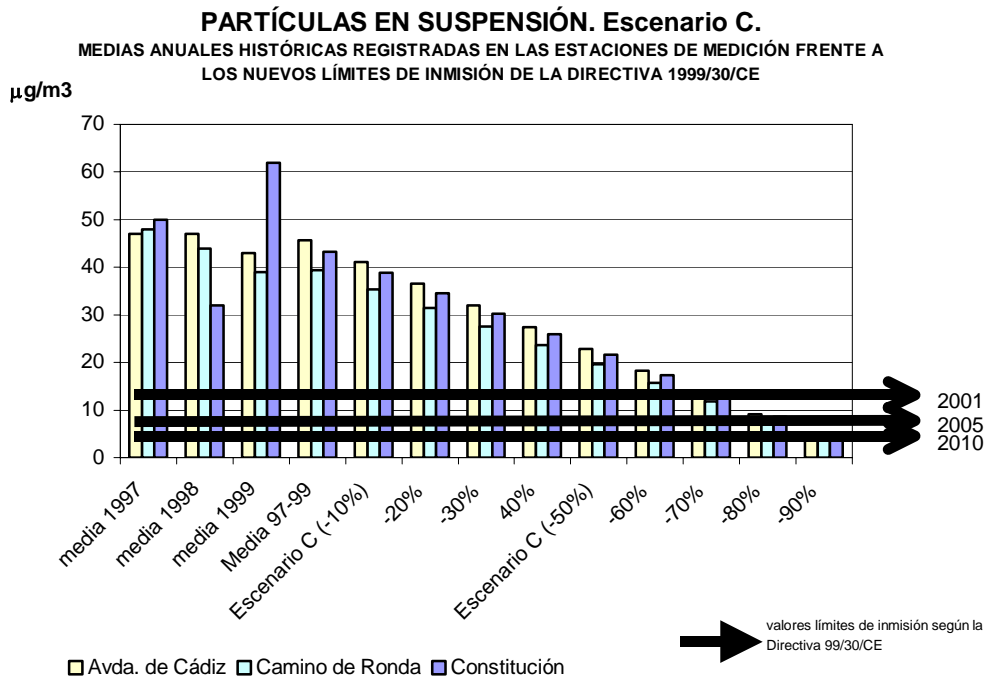
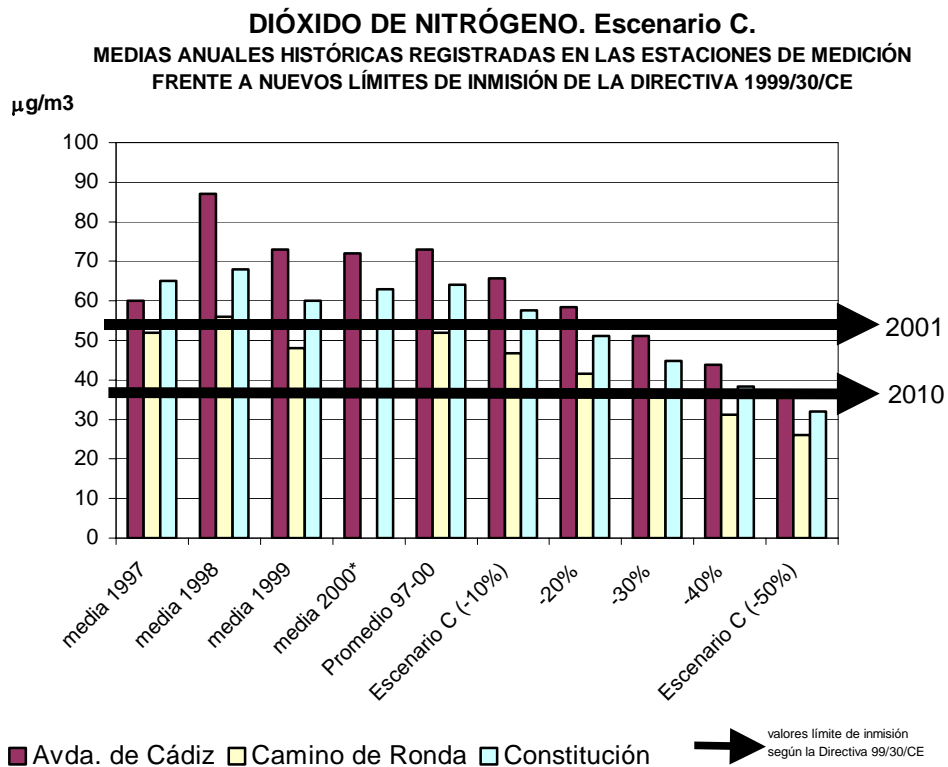


Figura 19



Fuente: Modificado de Informes de Contaminación Atmosférica de la Consejería de Medio Ambiente y Agenda Local 21 de Granada. (*) La cabina de Camino de Ronda se traslada a Granada Norte.

Escenario D: Subterráneo + Situación Actual en Superficie

Tabla 16. Valores de las Partículas en Suspensión en el Escenario D sobre las dos hipótesis.

Cabina / PS Escenario D ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Promedio 97-99	Hipótesis CF -15%	Hipótesis RT -55%
Avda. de Cádiz	45,66667	38,81667	20,55
Camino de Ronda	39,3	33,405	17,685
Constitución	43,2	36,72	19,44

Tabla 17. Valores del Dióxido de Nitrógeno en el Escenario D sobre las dos hipótesis.

Cabina/ NO ₂ Escenario D ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Promedio 97-00	Hipótesis CF - 15%	Hipótesis RT -55%
Avda. de Cádiz	73	62,05	32,85
Camino de Ronda	52	44,2	23,4
Constitución	64	54,4	28,8

Figura 20.

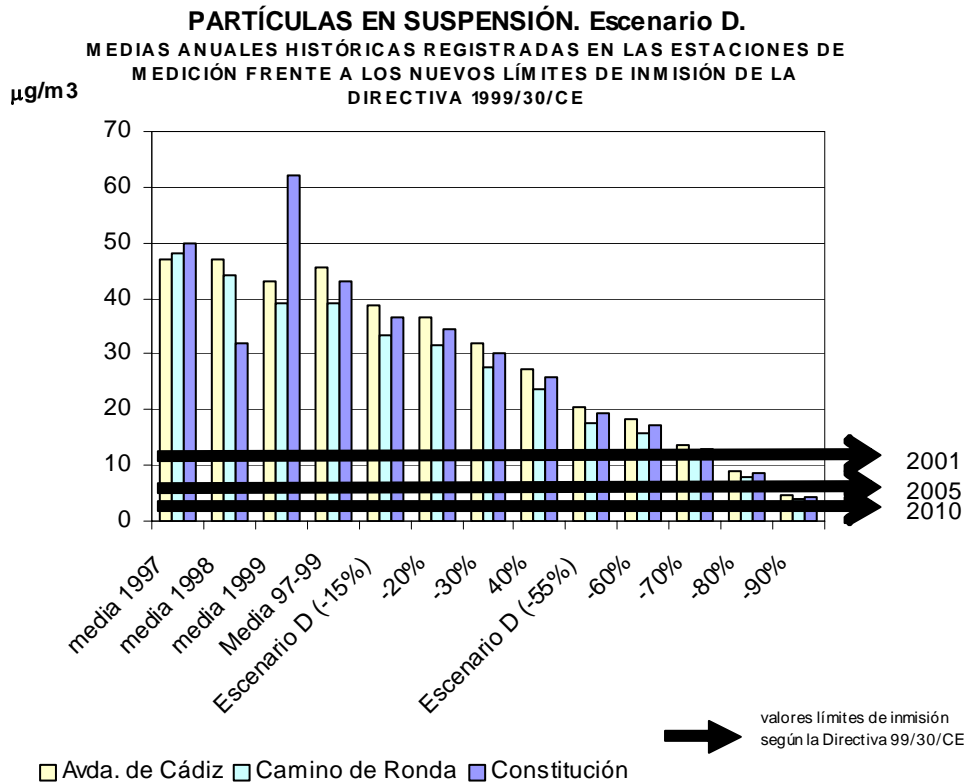
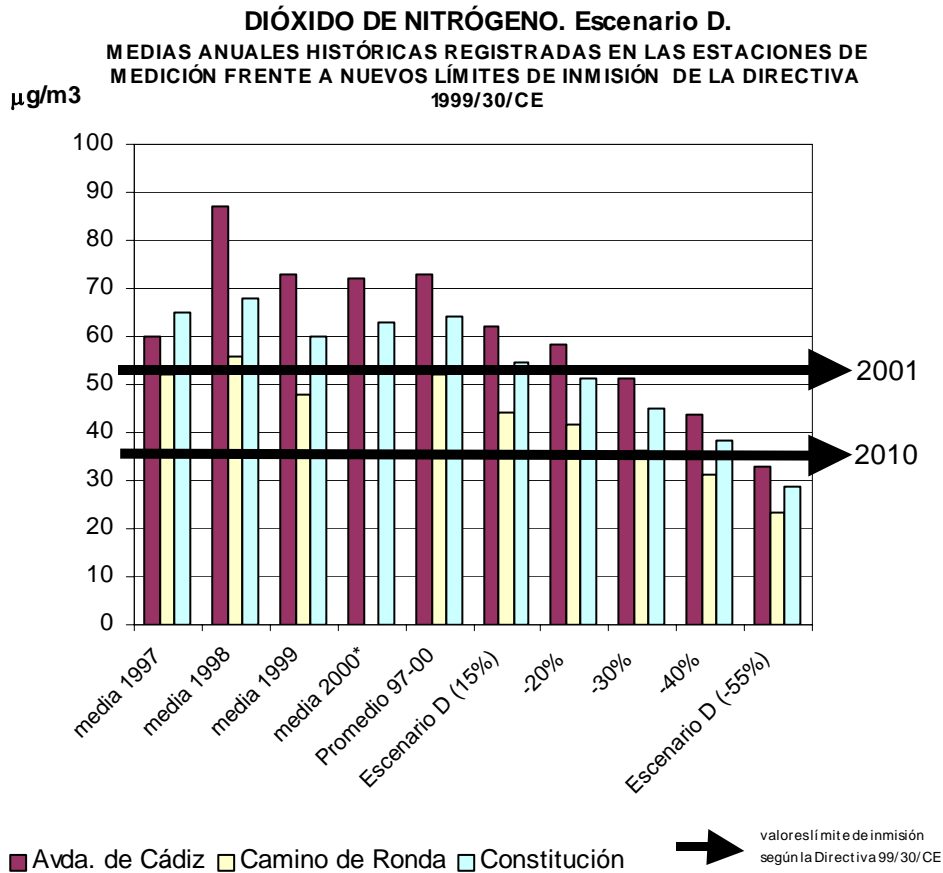


Figura 21.



Fuente: Modificado de Informes de Contaminación Atmosférica de la Consejería de Medio Ambiente y Agenda Local 21 de Granada. (*) La cabina de Camino de Ronda se traslada a Granada Norte

Escenario E: Subterráneo + Bus-Peatón-Bici

Tabla 18. Valores de las Partículas en Suspensión en el Escenario E sobre las dos hipótesis

Cabina / PS Escenario E ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Promedio 97-99	Hipótesis CF -15%	Hipótesis RT -55%
Avda. de Cádiz	45,67	38,82	20,55
Camino de Ronda	39,3	33,41	17,69
Constitución	43,2	36,72	19,44

Tabla 19. Valores del Dióxido de Nitrógeno en el Escenario E sobre las dos hipótesis

Cabina/ NO ₂ Escenario E ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Promedio 97-00	Hipótesis CF -15%	Hipótesis RT -55%
Avda. de Cádiz	73	62,05	32,85
Camino de Ronda	52	44,2	23,4
Constitución	64	54,4	28,8

Figura 22.

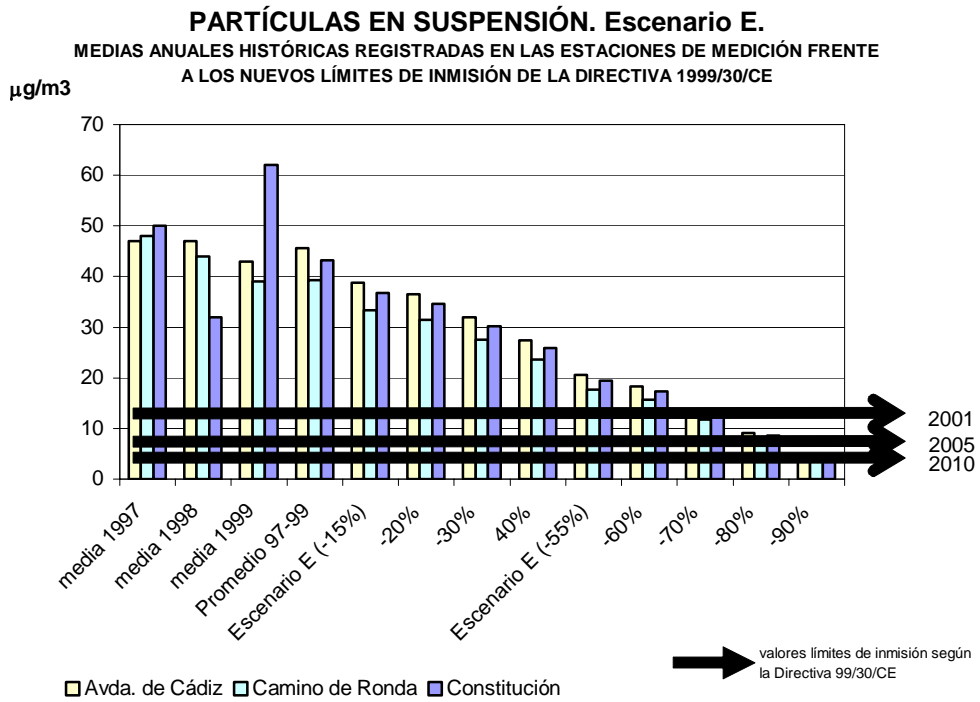
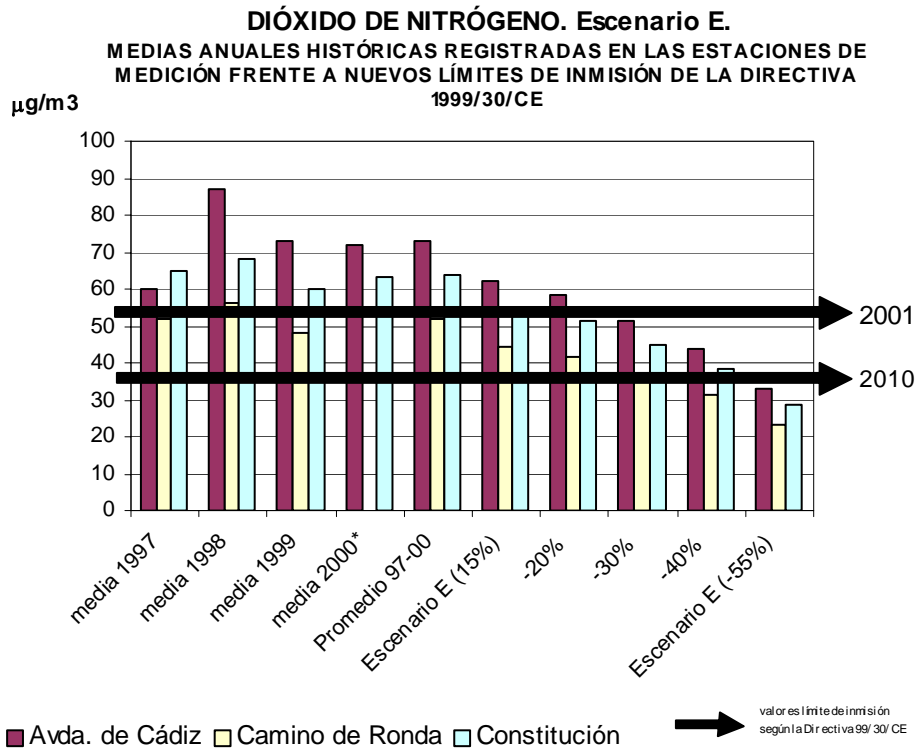


Figura 23.



Fuente: Modificado de Informes de Contaminación Atmosférica de la Consejería de Medio Ambiente y Agenda Local 21 de Granada. (*) La cabina de Camino de Ronda se traslada a Granada Norte.

2.1.4.2.. Evaluación comparativa entre los diferentes escenarios.

Una vez descritos los diferentes escenarios, cabe realizar un análisis comparativo de los mismos para tratar de obtener unas conclusiones que ayuden a la decisión de soterrar o no el metro ligero de Granada a lo largo del Camino de Ronda. Debe quedar claro que estas serán conclusiones parciales del análisis ambiental completo de los diferentes escenarios.

Tal y como adelantamos anteriormente vamos a utilizar el dióxido de nitrógeno como principal indicador de la contaminación atmosférica por varias razones: la primera es que las series de datos que tenemos son bastante completas, y además se pueden comparar con el análisis cartografiado de toda la ciudad que presentamos al principio de este capítulo; en segundo lugar existe una relación directa entre la contaminación por dióxido de nitrógeno y el tráfico, algo que no ocurre tan claramente en el caso de las partículas en suspensión cuyas fuentes de emisión son mucho más diversas, ya que, entre otras se pueden incluir las obras, el viento del Sahara y otros procesos de combustión como las calderas, que también afectan al dióxido de nitrógeno, aunque en su caso supondrían un incremento del nivel base de este gas contaminante.

Por lo tanto, comenzamos el análisis del dióxido de nitrógeno prestando especial atención a la figura 24, en la que se observa como las medias históricas de **los niveles de inmisión existentes en el Camino de Ronda estaban por debajo de los límites planteados por las directivas para 2001.**

En el caso de los límites a alcanzar en el año 2010, parece que considerando la absorción de flujos y siguiendo la relación lineal sería posible acercarse al cumplimiento de la legislación europea, aunque esta situación dependerá de otros factores. En este sentido, serían claramente los escenarios subterráneos (D y E) que absorben un flujo mayor, los que de antemano supondrían una reducción más cercana al nivel de inmisión que plantea la directiva.

Las medidas tomadas en las otras dos estaciones situadas en zonas saturadas de tráfico próximas al Camino de Ronda, nos permiten realizar correcciones a la afirmación anterior. De este modo, la reducción por absorción de flujos no alcanzaría ni siquiera los límites marcados para 2001 en ninguno de los casos para la cabina de la Avenida de Cádiz, aunque sí los alcanzaría en los escenarios D y E para la Avenida de la Constitución. Este elemento nos permite reflexionar de nuevo acerca de la **necesidad de restringir el tráfico rodado en las zonas más saturadas** como única manera de reducir los niveles de inmisión a cifras aceptables.

Así, si nos fijamos en las estimaciones realizadas tras completar la absorción de flujos con la restricción al tráfico rodado, nos encontramos con que todos los escenarios cumplirían con la legislación en 2010, aunque todavía aparece la zona saturada de la Avenida de Cádiz muy cerca de los límites de inmisión. Estos datos confirman la hipótesis anterior sobre la necesidad de restringir el tráfico, marcando siempre la distancia metodológica entre la estimación mediante relación lineal y las medidas reales de inmisión que se podrían alcanzar.

En cualquier caso, esta restricción se puede alcanzar mediante la solución superficial (que la incluye en su diseño) y mediante la opción subterránea (que debería incluir una remodelación urbana en superficie). En este sentido, el porcentaje de flujo absorbido por el metro ligero subterráneo puede suponer un mejor escenario para que la ciudadanía pueda recuperar para el

disfrute peatonal el Camino de Ronda, cuya situación actual es de una grave degradación ambiental.

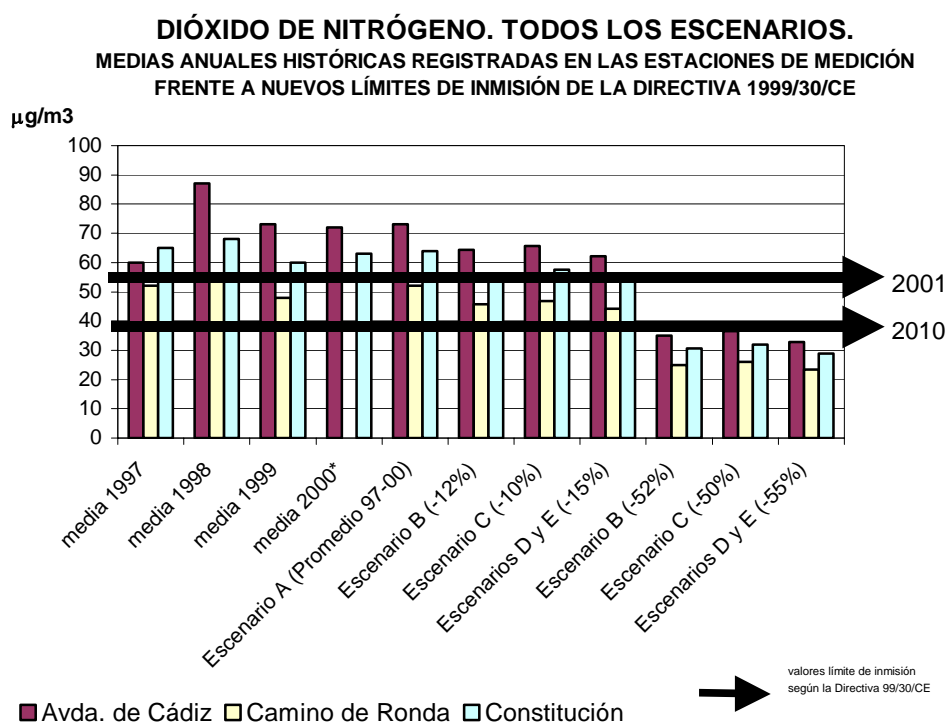
Tabla 20. Comparación de Escenarios para los Valores del Dióxido de Nitrógeno sobre la Hipótesis de Captación de la Demanda.

Cabina/ NO ₂ (µg/m ³)	Escenario A (Promedio 97-00)	Captación de la Demanda		
		Escenario B (-12%)	Escenario C (-10%)	Escenarios D y E (-15%)
Avda. de Cádiz	73	64,24	65,7	62,05
Camino de Ronda	52	45,76	46,8	44,2
Constitución	64	56,32	57,6	54,4

Tabla 21. Comparación de Escenarios para los Valores del Dióxido de Nitrógeno sobre la Hipótesis de Disminución del Tráfico equivalente a la eliminación de carriles para el tráfico rodado.

Cabina/ NO ₂ (µg/m ³)	Escenario A (Promedio 97-00)	Restricción al tráfico rodado		
		Escenario B (-52%)	Escenario C (-50%)	Escenarios D y E (-55%)
Avda. de Cádiz	73	35,04	36,5	32,85
Camino de Ronda	52	24,96	26	23,4
Constitución	64	30,72	32	28,8

Figura 24. Fuente: Modificado de Informes de Contaminación Atmosférica de la Consejería de Medio Ambiente y Agenda Local 21 de Granada. (*) La cabina de Camino de Ronda se traslada a Granada Norte



A pesar de que será el dióxido de nitrógeno el que nos indique de una forma más real lo que pueden suponer cada uno de los diferentes escenarios, también hemos querido incluir los siguientes datos sobre las partículas en suspensión que determina principalmente la dificultad de que en una ciudad como Granada se alcancen los límites de inmisión que pide la directiva para el conjunto de la Unión Europea.

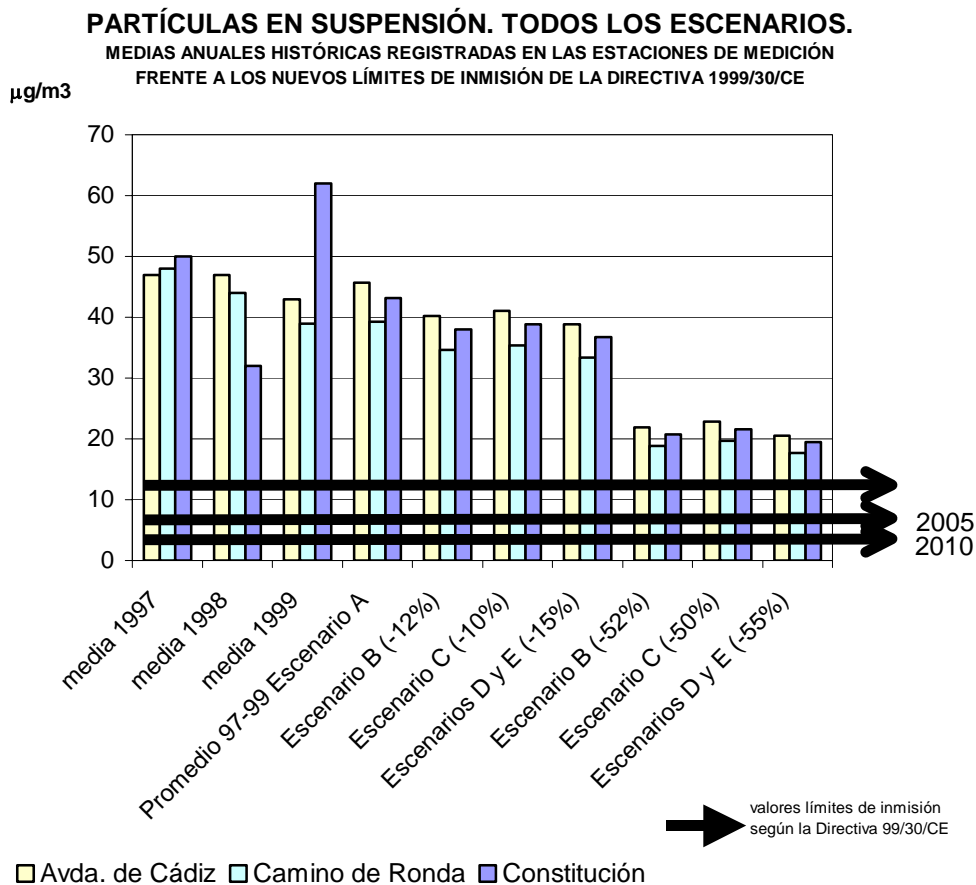
Tabla 22. Comparación de Escenarios para los Valores de las Partículas en Suspensión de Nitrógeno sobre la Hipótesis de Captación de la Demanda.

Cabina/ PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Escenario A (Promedio 97-00)	Captación de la Demanda		
		Escenario B (-12%)	Escenario C (-10%)	Escenarios D y E (-15%)
Avda. de Cádiz	45,67	40,19	41,1	38,82
Camino de Ronda	39,3	34,58	35,37	33,41
Constitución	43,2	38,02	38,88	36,72

Tabla 23. Comparación de Escenarios para los Valores de las Partículas en Suspensión sobre la Hipótesis de Disminución del Tráfico equivalente a la eliminación de carriles para el tráfico rodado.

Cabina/ PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Escenario A (Promedio 97-00)	Restricción al tráfico rodado		
		Escenario B (-52%)	Escenario C (-50%)	Escenarios D y E (-55%)
Avda. de Cádiz	45,67	21,92	22,83	20,55
Camino de Ronda	39,3	18,86	19,65	17,69
Constitución	43,2	20,74	21,6	19,44

Figura 25.



Fuente: Modificado de Informes de Contaminación Atmosférica de la Consejería de Medio Ambiente y Agenda Local 21 de Granada.

2.1.5. Conclusiones en torno a la contaminación atmosférica.

Una vez desarrollado el informe y a modo de resumen del mismo, cabe realizar las siguientes consideraciones ordenadas siguiendo el esquema metodológico empleado a la hora de elaborar este estudio:

1º. En primer lugar, queremos destacar la demostración empírica de que la movilidad es la principal actividad responsable de la contaminación atmosférica en Granada. Y dentro de esta, el tráfico de los vehículos privados sería el principal contribuyente a dicha contaminación, seguidos a gran distancia por los transportes públicos que utilizan combustibles convencionales, mientras que el metro ligero no emite ningún tipo de contaminación atmosférica de carácter químico. Sin embargo las características de este tipo de contaminación suponen numerosas limitaciones a la hora de abordar estudios como este. Nosotros hemos asumido estas limitaciones y creemos que sería necesario elaborar un estudio más completo de las realidades de la contaminación atmosférica de la ciudad, y de las posibilidades de mitigarla con nuevos modos de transporte público y las intervenciones urbanísticas que llevan aparejados. En cualquier caso de entre las limitaciones que hemos encontrado, podemos destacar: la falta de series de datos completas que abarquen toda la ciudad, y no sólo tres puntos; las dificultades para considerar numerosos factores interactuantes como la

climatología, las diferentes fuentes de emisión o los que marca el la estructura urbana; y por último, la consecuente dificultad a la hora de modelizar las relaciones entre la contaminación atmosférica y el tráfico de forma fiable.

2º. Queremos hacer referencia a la existencia de determinados elementos de la ciudad de Granada, que la hacen todavía más susceptible a los procesos de contaminación atmosférica. Estos elementos suponen dificultades para la difusión de los contaminantes producidos por el excesivo tráfico que soporta la ciudad. De entre los mismos podemos destacar los siguientes: una climatología con numerosas situaciones anticiclónicas y de inversión atmosférica; un urbanismo y una estructura urbana con calles generalmente estrechas y edificios en algunos casos demasiado altos; y finalmente la situación topográfica en la que se encuentra la ciudad, hundida en lo que se denomina una olla, rodeada de montañas por todos sus flancos exceptuando por la vega, aunque las posibilidades de dispersión de contaminantes hacia este espacio verde están limitadas por los bloques resultado del urbanismo desarrollista de los 70 y los 80, por la estrechez de las calles que los separan y por la nueva fuente de contaminantes que sería la Circunvalación construida a principios de los años 90.

3º. Para simplificar el análisis, hemos decidido elaborar una comparativa de escenarios mediante la utilización de ciertos indicadores, principalmente el NO_2 , y en cierta medida las partículas en suspensión medidas como PM_{10} . Esto es debido a que contamos con más y mejores medidas del NO_2 , y a que los niveles de inmisión de este gas tienen una relación más directa con el tráfico que otros contaminantes como las PM_{10} .

4º. Los límites de inmisión que hemos considerado como referencia provienen principalmente de la normativa que debería cumplir la ciudad de Granada, es decir, básicamente de la Directiva 1999/30/CE relativa a los valores límite de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno, partículas y plomo en el aire ambiente.

5º. En relación con la posibilidad de cumplir la legislación anterior respecto al NO_2 y a las partículas en suspensión PM_{10} , hemos tratado de hacer una simulación siguiendo un modelo simple de relación lineal que nos permite obtener un orden de magnitud de las alteraciones que se pueden producir según los diferentes escenarios para, de esta manera, compararlos entre ellos sin la necesidad de atender a los modelos complejos muy utilizados en este tipo de análisis, pero cuya extrapolación de un caso a otro no suele aportar resultados satisfactorios.

6º. En sexto lugar, de los resultados obtenidos, destacamos que para alcanzar esos estándares y en general una calidad de vida adecuada, existe la imperiosa necesidad de restringir el tráfico en las zonas más saturadas como el propio Camino de Ronda y sus principales intersecciones. Por lo tanto de entre los escenarios planteados, serán los que eliminen más espacio a los coches los que mejores resultados en materia de contaminación ambiental supongan, siguiendo la hipótesis de una reducción del tráfico proporcional a la reducción de la capacidad viaria, si bien habría que gestionar esa reducción del tráfico de forma que sea asumible por la estructura urbana y las demandas de movilidad, para evitar una congestión perniciosas.

7º. En este sentido, cabe destacar que en los datos estudiados encontramos supuestas incongruencias, como la aparición de niveles mayores en las medidas puntuales que en las medidas para el conjunto de la ciudad, debido probablemente a los diferentes periodos considerados, y a que en las medias anuales aparecen las calefacciones como fuentes de contaminación para el NO_2 . En cualquier caso, la hipótesis que barajamos es que los lugares

saturados de tráfico sufren niveles bastante mayores que el resto de la ciudad, lo cual justifica claramente nuestra propuesta destacada en el párrafo anterior.

8°. Así, situamos la importancia que tendría un proceso de peatonalización de esos entornos urbanos, fijándonos mucho en la posibilidad que brindarían las estaciones del metro ligero para rediseñar las principales intersecciones, que son grandes atractoras del tráfico y consecuentemente importantes focos generadores de contaminación como ha quedado de manifiesto en la observación de los mapas de contaminación del estudio de EGMASA (1998).

9°. También resulta significativo que el mayor porcentaje de flujo absorbido por el metro ligero subterráneo (alrededor de un 15% frente a un 10-12%) puede suponer una mejor oportunidad tanto para la reducción de la contaminación ambiental local y global (pudiendo alcanzar en algunos casos los estándares fijados por las directivas), como para que la ciudadanía pueda recuperar para el disfrute peatonal gran parte del Camino de Ronda (Escenario E), cuya situación actual es de una grave degradación ambiental

10°. Por último, destacamos que cualquier intento de restringir el tráfico rodado debe incluir una remodelación integral de una basta zona urbana, de manera que no se traslade el problema de un lugar a otro, corriendo el peligro de crear situaciones peores a la de partida. Por lo tanto, la necesidad de recuperar la calle para el peatón no debe significar la entrega de las calles aledañas a la vorágine del tráfico, si no que debe suponer por el contrario una reordenación para disminuir el tráfico global y reducir las situaciones de saturación insostenibles que sufrimos actualmente. Como se puede observar en los gráficos sólo a partir de una reducción del tráfico, del 40 ó el 50%, cabe esperar que se alcancen los valores marcados por las directivas europeas.

2.2. INFORME SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE: EL RUIDO²

2.2.1. Introducción: conceptos previos.

El sonido es una alteración física en un medio (gas, líquido o sólido) que se manifiesta en forma de onda que puede ser detectada por el oído. Las ondas sonoras viajan por un medio físico, que posee masa y elasticidad, por lo que no viajan a través del vacío. La transición de sonido a ruido es algo esencialmente subjetivo, aunque existe cierto consenso sobre los límites por encima de los cuales el sonido pasa a ser desagradable y se convierte en ruido.

De esta forma, se podría definir el ruido como el sonido indeseado, no armonioso y que produce una sensación desagradable. La única diferencia entre sonido y ruido no es, por tanto, de tipo físico, sino de carácter subjetivo y difícilmente cuantificable. Como ejemplo de los niveles sonoros a los que suele estar expuesta la población la siguiente tabla proporciona los niveles de presión sonora ponderada asociados a varias actividades cotidianas:

Tabla 24. (Fuente: Agencia Europea del Medio Ambiente).

Actividad	L,dBA
Umbral de audibilidad a 1000Hz	0
Sensación de silencio completo	0-20
Zona urbana tranquila entre 2- 4 a.m.	35-45
Conversación normal (interior)	45-55
Automóvil detenido a 7.5 m	45-55
Automóvil a 50 km/h a 7.5 m	60-80
Camión a 50 km/h a 7.5 m	80-95
Motocicleta a 50 km/h a 7.5 m	75-100
Discoteca (interior, Leq)	85-100
Nivel máximo tren de pasajeros	95-100
Avión a reacción (despegue, a 100 m)	110-115
Posibles daños auditivos	>120

La Organización Mundial de la Salud ha sugerido un valor estándar de orientación para los niveles medios de ruido al aire libre de 55 dBA, que es aplicable durante el periodo diurno con objeto de evitar interferencias significativas en las actividades de la población.

La creciente preocupación de los ciudadanos por los elevados niveles sonoros a los que se ven sometidos a lo largo del día, ha ocasionado múltiples protestas y manifestaciones en los últimos años. Cuando el sonido alcanza niveles desagradables hablamos de ruido. La contaminación acústica es parte del deterioro ambiental de la sociedad actual. Este nivel de ruido está íntimamente relacionado con la estructura urbanística de los núcleos de población y con la densidad de tráfico en los distintos municipios. No cabe duda que el trazado de una vía de metro ligero puede afectar tanto directa como indirectamente a los niveles sonoros que soporta la población residente en las calles por las que discurre su trazado. El tráfico de vehículos expresado en términos del tipo de vehículos, de su densidad, de su velocidad, etc., así como el peatonal, pueden variar condicionados por el metro ligero y por una decisión ciertamente importante: si el trazado es subterráneo o en superficie.

² Este apartado sobre el Ruido ha sido elaborado por los Profesores Titulares del Departamento de Física Aplicada de la Universidad de Granada, D. Diego Pablo Ruiz Padillo y D. Jerónimo Vida Manzano, ambos constituyen la sección departamental, Unidad Ambiental de Física Aplicada (UAFA).

De ahí que el ruido se incluya como un factor -entre otros ambientales y urbanísticos- a tener en cuenta en la toma de una decisión final. Con este objetivo, aprovechamos la experiencia acumulada y las bases de datos que ya disponemos sobre niveles sonoros registrados en el trazado en cuestión (Con. De Ronda de Granada), para realizar una estimación de los niveles sonoros futuros analizando diferentes escenarios y posibilidades.

2.2.2. El problema del ruido como contaminante.

Según se indica en el *Libro Verde de la Comisión Europea* sobre política futura de la lucha contra el ruido, una gran parte de los europeos consideran el ruido ambiental causado por el tráfico y las actividades industriales y recreativas como su principal problema ambiental local, especialmente en las zonas urbanas. Se ha estimado que alrededor del 20% de la Unión Europea (unos 80 millones de personas) está expuesta a unos niveles de ruido que los científicos y los expertos sanitarios consideran inaceptables, que molestan a la mayor parte de las personas, que perturba seriamente el sueño y que, incluso, se teme provoquen efectos nocivos en los sistemas cardiovasculares y psicofisiológicos.

Una prueba del interés de los ciudadanos con respecto al problema de la contaminación acústica, es la encuesta sobre medio ambiente del *Eurobarómetro* de 1995, en la que se mostró que el ruido era el quinto ámbito, por orden de importancia, de quejas relacionadas con el medio ambiente local, y el único que mostraba un aumento significativo desde 1992.

En Andalucía el ruido no es mejor considerado que en Europa. Así lo indica el último *Ecobarómetro* hecho público por la Consejería de Medio Ambiente en 2002, que muestra que entre los asuntos que más preocupan a los andaluces cuando tienen que valorar la situación del medio ambiente en su localidad destacan, en primer lugar, el ruido con un 40,6%, seguido de la suciedad de las calles (32,5%) y la falta de zonas verdes (31%).

2.2.2.1 Costes asociados al ruido.

Los costes económicos del ruido han sido examinados de diversas maneras, y no existen referencias para una evaluación normalizada de éstos. En la actualidad se calcula que las pérdidas económicas anuales en la Unión Europea inducidas por el ruido ambiental se sitúan entre los 13 000 millones de euros y los 38 000 millones de euros. A esas cifras contribuyen, por ejemplo, la reducción del precio de la vivienda, los costes sanitarios, la reducción de las posibilidades de explotación del suelo y el coste de los días de abstención al trabajo. Pese a algunas incertidumbres, puede afirmarse casi con seguridad que las pérdidas anuales son del orden de decenas de miles de millones de euros.

2.2.2.2 Tendencias en la exposición al ruido ambiental.

Las tendencias del problema en los últimos 15 años son que, si bien existen pruebas de la reducción de los niveles de ruido en los llamados *puntos negros* (nivel de presión sonora ponderado A por encima de 70 dB A, considerado inaceptable por los expertos), datos recientes demuestran que el número de personas que viven en las llamadas *zonas grises* (nivel entre 55-65 dB A, a partir del cual las personas comienzan a sentir molestias serias) ha aumentado, debido principalmente al rápido crecimiento en volumen del tráfico rodado. Una serie de estudios llevados a cabo ha determinado que 170 millones de ciudadanos europeos viven en estas *zonas grises*.

2.2.3. Normativa aplicable.

La normativa referente a la contaminación acústica ha cambiado durante los últimos años. La publicación de la Directiva 2002/49/CE de la Unión Europea consigue establecer un

planteamiento común del problema del ruido ambiental, considerándolo como uno de los mayores problemas medioambientales en Europa. Esta Directiva persigue que todos los Estados miembro empleen métodos comunes de evaluación del ruido y lo valoren en función de indicadores armonizados.

Con la transposición de la Directiva 2002/49/CE se dota de una mayor estructura y orden al panorama normativo español sobre ruido. Aparece así la Ley 37/2003 del Ruido, norma general reguladora en materia de ruido en el ámbito estatal y, posteriormente, el Decreto 326/2003 sobre protección contra la contaminación acústica en Andalucía.

2.2.3.1 Normativa autonómica.

Decreto 326 / 2003, de 25 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Protección contra la Contaminación Acústica en Andalucía (BOJA n ° 243 de 18.12.2003). Este reglamento establece límites de ruido en función del uso del suelo y de las franjas horarias. Así establece cinco zonas:

1. *Áreas de silencio:* zonas de alta sensibilidad acústica que requieren especial protección contra el ruido, son zonas de uso sanitario, docente, cultural, y espacios naturales protegidos.
2. *Áreas levemente ruidosas:* zonas de considerable sensibilidad acústica, que requieren una protección alta contra el ruido, son zonas residenciales, espacios recreativos y zonas verdes.
3. *Áreas tolerablemente ruidosas:* zonas de moderada sensibilidad acústica, que requieren protección media, son zonas de hospedaje, de oficinas, comerciales, deportivas y de uso recreativo.
4. *Áreas ruidosas:* zonas de baja sensibilidad acústica, que requieren una menor protección contra el ruido, son zonas para uso industrial, portuarios y de servicios públicos.
5. *Áreas especialmente ruidosas:* son zonas de nula sensibilidad acústica, corresponden a sectores del territorio afectados por servidumbres sonoras a favor de infraestructuras de transporte, autovías, autopistas, rondas de circunvalación, ejes ferroviarios, aeropuertos y áreas de espectáculo al aire libre.

Tabla 25. Niveles límite de ruido ambiental en fachadas de edificaciones.

Niveles Límite (dBA)		
Área de sensibilidad acústica	Día (7 – 23)	Noche (23 – 7)
	L _{Aeq} día	L _{Aeq} noche
Tipo I (área de silencio)	55	40
Tipo II (área levemente ruidosa)	55	45
Tipo III (área tolerablemente ruidosa)	65	55
Tipo IV (área ruidosa)	70	60
Tipo V (área especialmente ruidosa)	75	65

2.2.4. Metodología experimental.

Una correcta planificación de la campaña de medidas es fundamental para que la base de datos obtenida sea representativa de la realidad del lugar y pueda posteriormente servir de apoyo de las acciones a desarrollar en la política contra el ruido. La metodología a seguir depende en gran medida de las características del municipio y de los objetivos que se persigan. En el caso que nos ocupa no nos interesa un mapa de ruidos, sino una caracterización de la situación actual del Cno. de Ronda de Granada, por el que discurrirá el metro ligero. Esta caracterización debe permitir observar la bondad del modelo utilizado para realizar las previsiones de niveles sonoros en los distintos escenarios que se han contemplado y que se describen más adelante. Teniendo esto en cuenta, las medidas experimentales se han realizado bajo los siguientes criterios:

2.24.1 Metodología Espacial

Se han elegido puntos distribuidos de forma equidistante a lo largo de las vías, procurando incluir zonas abiertas (como cruces, parques, río Genil, etc.) y zonas cerradas caracterizadas por presentar dimensiones constantes o casi constantes en lo relativo a altura de edificios, anchura de calles y acerado, etc. En todo caso, los tramos sujetos a estudio y la nomenclatura empleada son los siguientes:

Tabla 26. Tramos viarios objeto de estudio.

TRAMO	DESCRIPCIÓN	LONGITUD (m)
1º	Entre Avenida del Sur y Gabriel Miró	608
2º	Entre Gabriel Miró y Emperatriz Eugenia	975
3º	Entre Emperatriz Eugenia y Alhamar	740
4º	Entre Alhamar y Cruz de Lagos	780

2.2.4.2 Metodología Temporal

Dado que se pretende obtener una representación media de los niveles sonoros en cada tramo, las medidas se realizaron en series temporales largas en horario diurno, preferentemente en días laborables aunque también se realizaron medidas en algunos días festivos por ser de interés para el tema objeto de este trabajo. Para la división del día en mañana-tarde-noche se tuvo en cuenta el Decreto 326/2003 de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía que considera como horario diurno de 7 a 23 h y horario de noche de 23 a 7 h. En cada uno de los puntos se procedió a un registro de los datos de 16 horas de duración, tras lo cual se calcularon el nivel continuo equivalente y los principales descriptores en cada uno de los tramos horarios siguientes: **7:45–9:00, 9:00–13:30, 14:00–15:00, 15:00–16:30, 16:30–19:00, 19:00–20:00, 20:00–21:30, 21:30–23:00**

2.2.4.3 Índices de Valoración del Ruido

Intentar describir las variaciones en el nivel de ruido con un valor instantáneo, resulta poco representativo, pues un instante después el ruido puede ser totalmente diferente del medido. La molestia o daño que produce el ruido no sólo depende de la su intensidad y de su frecuencia, sino que depende de su energía y por tanto de su duración. Es necesario introducir magnitudes que permitan cuantificar límites y establecer si estamos ante un sonido tolerable o intolerable, y para este fin se introducen una serie de **índices de valoración del ruido o descriptores del ruido**, que suelen emplearse para cuantificar los sonidos tanto estables como inestables en el tiempo, estos indicadores son (**ver descripción concreta en Apéndice 1**):

- Nivel de presión sonora (L)
- Nivel sonoro continuo equivalente (L_{eq})
- Nivel máximo (L_{max})
- Niveles percentiles
- Nivel L_{10}
- Nivel L_{50} o nivel medio
- Nivel L_{90}

2.2.4.4 Metodología de Cálculo (modelo de predicción)

Los estudios y análisis que hemos efectuado hasta la presente permiten afirmar que la contaminación acústica ambiental tiene su origen en las actividades humanas. De todas ellas y en la mayoría de los puntos analizados, la fuente de ruido que produce más molestias es el tráfico. Según los estudios de la Junta de Andalucía, en torno al 80 % del ruido soportado en las ciudades andaluzas tiene su origen en el tráfico de vehículos, lo que concuerda con nuestras campañas de recogidas de datos en diferentes ciudades andaluzas.

Teniendo esto en cuenta, para caracterizar el nivel sonoro en las ciudades bajo situaciones y escenarios futuros es necesario emplear modelos predictivos para ruido de tráfico cuyo comportamiento sea representativo para la zona de estudio y el margen de error en la predicción sea mínimo.

Entre las distintas posibilidades de cálculo, se ha seguido la **RECOMENDACIÓN DE LA COMISIÓN de 6 de agosto de 2003 relativa a las Orientaciones sobre los métodos de cálculo provisionales revisados para el ruido industrial, procedente de aeronaves, del tráfico rodado y ferroviario, y los datos de emisiones correspondientes (2003/613/CE)**, la cual, de conformidad con el artículo 6 y el anexo II de la Directiva 2002/49/CE, recomienda la adopción de métodos de cálculo provisionales para la determinación de los indicadores comunes L_{den} y L_{night} para el ruido del tráfico rodado, ferroviario, procedente de aeronaves e industrial a los Estados miembros que no cuenten con métodos de cálculo nacionales o deseen cambiarlos.

En lo relativo al ruido procedente del tráfico rodado recomienda el **MÉTODO NACIONAL DE CÁLCULO FRANCÉS «NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTULCPC-CSTB)»**, contemplado en el «Arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières, Journal officiel du 10 mai 1995, article 6» y en la norma francesa «XPS 31-133», que es el empleado en este trabajo.

2.2.5. Niveles sonoros en el ámbito de estudio: el Cno. de Ronda.

Las medidas experimentales realizadas permiten caracterizar la situación acústica actual y también observar su evolución durante las horas del día. Así, en las Tablas siguientes se muestra en primer lugar el nivel equivalente medio registrado en cada tramo de LUNES a SÁBADO y también los mismos valores medios en DOMINGO para algunos tramos en horario sólo de mañana (de 8 a 10 horas). Tal y como puede observarse, el trazado objeto de estudio se caracteriza por presentar unos niveles sonoros muy constantes a lo largo del mismo, sin apenas variación de un tramo a otro. La reducción experimentada en domingo refuerza el comentario anterior de que el tráfico de vehículos se erige como la principal fuente de contaminación acústica ambiental.

Tabla 27. Nivel equivalente medio experimental en cada uno de los tramos viarios registrado de LUNES a SÁBADO en horario DIURNO.

TRAMO	DESCRIPCIÓN	Leq (dBA)
1°	Entre Avenida del Sur y Gabriel Miró	74,2
2°	Entre Gabriel Miró y Emperatriz Eugenia	74,2
3°	Entre Emperatriz Eugenia y Alhamar	74,2
4°	Entre Alhamar y Cruz de Lagos	74,7

Tabla 28. Nivel equivalente medio experimental en algunos tramos viarios registrado en DOMINGO en horario de MAÑANA.

TRAMO	DESCRIPCIÓN	Leq (dBA)
1°	Entre Avenida del Sur y Gabriel Miró	-
2°	Entre Gabriel Miró y Emperatriz Eugenia	70,3
3°	Entre Emperatriz Eugenia y Alhamar	-
4°	Entre Alhamar y Cruz de Lagos	67,7

Tabla 29. Nivel equivalente en función de la hora del día estimado a partir de las medidas experimentales de nivel sonoro en dos puntos aleatorios de los tramos 1° y 2°.

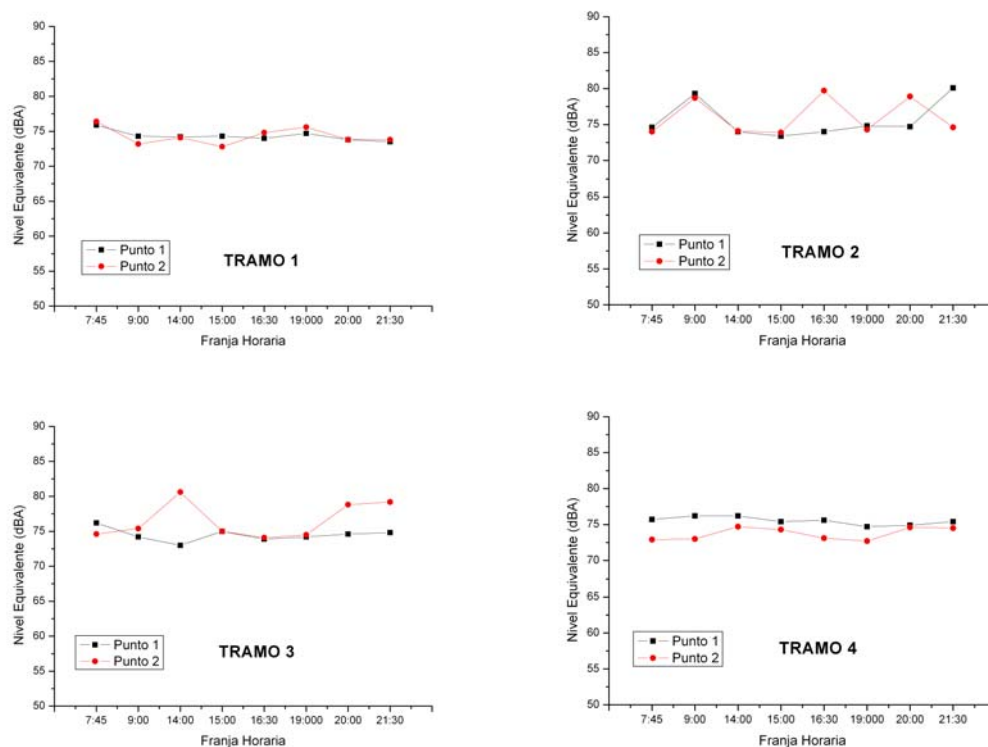
TRAMO FRANJA HORARIA	1°		2°	
	Punto 1	Punto 2	Punto 1	Punto 2
	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)
07:45 - 09:00	75,9	76,4	74,6	74,0
09:00 - 13:30	74,3	73,2	79,3	78,7
14:00 - 15:00	74,2	74,1	74,0	74,1
15:00 - 16:30	74,3	72,8	73,4	73,9
16:30 - 19:00	74,0	74,8	74,0	79,7
19:00 - 20:00	74,7	75,6	74,8	74,3
20:00 - 21:30	73,8	73,8	74,7	78,9
21:30 - 23:00	73,5	73,8	80,1	74,6
Nivel MEDIO	74,4	74,1	74,3	74,2

Tabla 30. Nivel equivalente en función de la hora del día estimado a partir de las medidas experimentales de nivel sonoro en dos puntos aleatorios de los tramos 3° y 4°.

TRAMO FRANJA HORARIA	3°		4°	
	Punto 1 Leq (dBA)	Punto 2 Leq (dBA)	Punto 1 Leq (dBA)	Punto 2 Leq (dBA)
07:45 - 09:00	76,2	74,6	75,7	72,9
09:00 - 13:30	74,2	75,4	76,2	73,0
14:00 - 15:00	73,0	80,6	76,2	74,7
15:00 - 16:30	75,0	75,0	75,4	74,3
16:30 - 19:00	73,9	74,1	75,6	73,1
19:00 - 20:00	74,2	74,5	74,7	72,7
20:00 - 21:30	74,6	78,8	74,9	74,6
21:30 - 23:00	74,8	79,2	75,4	74,5
Nivel MEDIO	74,6	74,7	75,5	73,8

Como se observa en las figuras siguientes, en horario diurno (7 a 23 horas) los niveles de presión sonora mantienen una gran regularidad y constancia en cada uno de los tramos objeto de estudio, siendo pequeña la variación experimentada por los niveles en cada uno de los puntos de medida en las distintas franjas horarias. En todo caso, esta variación sin llegar a ser significativa, es mayor en los tramos 2° y 3°:

Figura 26. Nivel equivalente experimental por franjas horarias para cada tramo.



Teniendo todo esto en cuenta, la situación actual de los 4 tramos queda razonablemente bien caracterizada por un nivel equivalente medio de **74,3 dBA**, representativo de las condiciones medias diurnas de todo el trazado con independencia de la hora del día.

2.2.6. El modelo de predicción francés aplicado en las zonas de estudio.

Se ha procedido en primer lugar a evaluar la bondad del modelo elegido en Granada, comparando nuestros datos experimentales con las estimaciones generadas por el mismo. Con este objetivo la información empleada, necesaria para la aplicación del modelo francés al trazado formado por los cuatro tramos, se resume en la Tabla siguiente:

Tabla 31. Características de los tramos e información necesaria para la predicción sonora.

TRAMO	Tráfico (IMD)	Uso del suelo	Sección (m) (*)	Altura a viviendas (**)	Densidad de Población (Hab./Ha) (**)
1º	18.290 dirección Málaga 10.395 dirección Motril TOTAL: 28.685	Residencial plurifamiliar en bloques abiertos+ Equipamientos deportivos y espacios libres con media/ alta intensidad comercial	4 carriles (dos por sentido) a4/p2/c8,5/m2/c5,3/ p2/a3,5 TOTAL: 26,8	6	250-350
2º	21.932 16.370 TOTAL: 38.302	Residencial plurifamiliar en patio de manzana con elevada intensidad comercial y de servicios	4 carriles (dos por sentido) a4/p2/c6/m1,8/c5,7 5/p+vs+p7/a4 TOTAL : 30,55	6/8	500-850
3º	22.998 21.694 TOTAL: 44.692	Residencial plurifamiliar en patio de manzana con elevada intensidad comercial y de servicios.	4 carriles (dos por sentido) a3,1/c8/m1/c8/p1,8/ a3,1 TOTAL: 24	8/10	550-900
4º	25.958 17.757 TOTAL: 43.715	Residencial plurifamiliar en bloque abierto con media/alta intensidad comercial	4 carriles (dos por sentido) a3,8//p1,8/c8,6/m1, 5/c6,4/p+vs+p5.5 TOTAL: 30,6	6	250-550

(*)Reparto de la sección tipo de la vía del tramo en cuestión:

a=acera, p=aparcamiento, c= calzada, m= mediana, vs=vía de servicio, B=bus, b=bici, M=metro. Medición sobre plano digital catastral 1:2.000.

(**)Valor dominante a lo largo de la vía

En las pruebas realizadas, se ha distinguido entre tráfico ligero y pesado y se han considerado diferentes velocidades medias, sin superar los 50 km/h máximo para este tipo de vías. El resultado se muestra en las siguientes Tablas:

Tabla 32. Aplicación del modelo francés a la situación actual con v=30Km/h.

MODELO FRANCÉS aplicado a		30 km/h			
la SITUACIÓN ACTUAL		dBA			
	IMD	Sección (m)	L _{eq} ligeros	L _{eq} pesados	L _{eq} Total
Tramo 1°	28.685	26,80	72,3	70,0	74,3
Tramo 2°	38.302	30,55	72,9	70,6	75,0
Tramo 3°	44.692	24,00	74,7	72,4	76,7
Tramo 4°	43.715	30,60	73,5	71,2	75,5

Tabla 33. Aplicación del modelo francés a la situación actual con v=40Km/h.

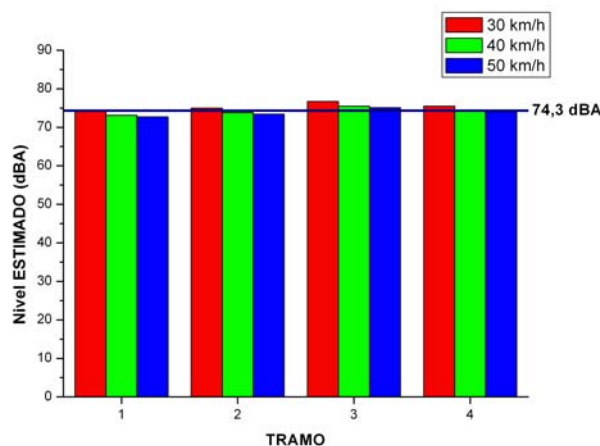
MODELO FRANCÉS aplicado a		40 km/h			
la SITUACIÓN ACTUAL		dBA			
	IMD	Sección (m)	L _{eq} ligeros	L _{eq} pesados	L _{eq} Total
Tramo 1°	28685	26,80	71,1	68,8	73,1
Tramo 2°	38302	30,55	71,7	69,4	73,8
Tramo 3°	44692	24,00	73,5	71,2	75,5
Tramo 4°	43715	30,60	72,3	70,0	74,3

Tabla 34. Aplicación del modelo francés a la situación actual con v=50Km/h.

MODELO FRANCÉS aplicado a		50 km/h			
la SITUACIÓN ACTUAL		dBA			
	IMD	Sección (m)	L _{eq} ligeros	L _{eq} pesados	L _{eq} Total
Tramo 1°	28685	26,80	71,1	67,8	72,7
Tramo 2°	38302	30,55	71,7	68,4	73,4
Tramo 3°	44692	24,00	73,5	70,2	75,1
Tramo 4°	43715	30,60	72,3	69,0	74,0

Si combinamos esta información con el nivel equivalente medio experimental calculado anteriormente para todo el trazado (74,3 dBA), observamos que el comportamiento del modelo es satisfactorio en las vías consideradas y que su aplicabilidad a la predicción de niveles sonoros en los distintos escenarios planteados, que se comentan más adelante, está plenamente justificada.

Figura 27. Predicción del modelo francés de la situación actual en función de la velocidad media de la vía para cada tramo y comparación con resultado experimental.



2.2.7. Análisis de Alternativas.

Teniendo en cuenta las consideraciones y resultados expuestos anteriormente, se ha procedido a ejecutar el modelo francés para predecir los niveles sonoros ambientales en los distintos escenarios contemplados para el trazado del Metro Ligerero en Granada, sobre las dos hipótesis barajadas (sobre la captación de demanda y sobre la reducción superficial de carriles de tráfico).

Tabla 35. Escenarios para la predicción de niveles sonoros (sobre la hipótesis de reducción de la IMD en proporción equivalente a la reducción de carriles para el tráfico rodado).

Escenarios		Tráfico (IMD)	Uso del suelo	Sección (m) (*)	Altura viviendas (**)	Densidad de Población (Hab./Ha) (**)
A	SITUACIÓN ACTUAL (caracterizada por Tramo 3º)	22.998 21.694 TOTAL: 44.692	Residencial plurifamiliar en patio de manzana con elevada intensidad comercial y de servicios	4 carriles (dos por sentido) a3,1/c8/m1/c8/p1,8/a3,1 TOTAL: 24	8/10	550-900
B	METRO LIGERO EN SUPERFICIE	Reducción del 50 % respecto a la situación actual	Ídem.	<u>Pierde 2 carriles</u> 2 carriles (1 por sentido) a3,5/p1,8/c3,5/m0,5/M7/m0,5/c3,5/a3,5 TOTAL: 24	8/10	550-900
C	HÍBRIDO	Reducción variable según tramos (ver Tabla 36)	–	<u>Alternaría las secciones</u> de los escenarios A y B (según anteproyecto)	–	–
D	SUBTERRÁNEO +SITUACIÓN ACTUAL EN SUPERFICIE	Sin reducción respecto a la situación actual	Ídem.	4 carriles (dos por sentido) a3,1/c8/m1/c8/p1,8/a3,1 TOTAL: 24	8/10	550-900
E	SUBTERRÁNEO +BUS-PEATÓN-BICI EN SUPERFICIE	Reducción del 50 % respecto a la situación actual	Ídem.	<u>Pierde 2 carriles</u> 2 carriles (1 por sentido) a4/B4/m0,5/c6,5/m0,5/p2/m0,5/b2/a4 TOTAL: 24	8/10	550-900

(*) Reparto de la sección tipo de la vía del tramo en cuestión:

a=acera, p=aparcamiento, c= calzada, m= mediana, vs=vía de servicio, B=bus, b=bici, M=metro. Medición sobre plano digital catastral 1:2.000.

(**) Valor dominante a lo largo de la vía

Tabla 36. Reducción del N° de carriles/sup.viaria para el tráfico rodado por TRAMOS (hipótesis de reducción de la IMD en proporción equivalente a la reducción superficial de carriles para el tráfico rodado).

ESCENARIOS	A	B	C	D	E
TRAMO 1° (entre Avda. del Sur y Gabriel Miró, 608m)	0 %	50 %	34,54 % (420mx2c)	0 %	50 %
TRAMO 2° (entre Gabriel Miró y Emp. Eugenia, 975m)	0 %	50 %	0 %	0 %	50 %
TRAMO 3° (entre Emp. Eugenia y Alhamar, 740m)	0 %	50 %	25,67 % (380mx2c)	0 %	50 %
TRAMO 4° (entre Alhamar y Cruz de Lagos, 780m)	0 %	50 %	14,74 % (230mx2c)	0 %	50 %
Longitud Total: 3.103 m.	0 %	50 %	16,60 % (1.030mx2c)	0 %	50 %

2.2.7.1 Justificación de la reducción óptima de la IMD: sobre la hipótesis de captación de la demanda de viajeros.

Asumiendo que cualquier alternativa de metro ligero pasa, ineludiblemente, por una alteración de los flujos de vehículos. A la hora de establecer la reducción de la Intensidad Media Diaria de tráfico (IMD) con la que trabajar en la predicción de niveles sonoros, se ha realizado un estudio sobre el Tramo 3°, que en este informe ambiental, como se ha establecido en las pautas metodológicas, caracteriza de forma unitaria la “situación actual” del Cno. de Ronda, considerando diversas reducciones de la IMD -y velocidades-, sobre la hipótesis de la captación de demanda de viajeros (ver Tablas, 37 a 39).

Tabla 37. Predicción de niveles sonoros sobre la hipótesis de captación de la demanda de viajeros. $V=30\text{km/h}$.

Escenarios	IMD Actual	Reducción (%)	IMD Futura	L_{eq} ligeros	L_{eq} pesados	L_{eq} Total
A	44692	0	44692	74,7	72,4	76,7
B	44692	12	39329	74,1	71,8	76,1
C	44692	10	40223	74,2	71,9	76,2
D	44692	15	37988	74,0	71,7	76,0
E	44692	15	37988	74,0	71,7	76,0

Tabla 38. Predicción de niveles sonoros sobre la hipótesis de captación de la demanda de viajeros. $V=40\text{km/h}$.

Escenarios	IMD Actual	Reducción (%)	IMD Futura	L_{eq} ligeros	L_{eq} pesados	L_{eq} Total
A	44692	0	44692	73,5	71,2	75,5
B	44692	12	39329	72,9	70,6	74,9
C	44692	10	40223	73,0	70,7	75,0
D	44692	15	37988	72,8	70,5	74,8
E	44692	15	37988	72,8	70,5	74,8

Tabla 39. Predicción de niveles sonoros sobre la hipótesis de captación de la demanda de viajeros. $V=50\text{km/h}$.

Escenarios	IMD Actual	Reducción (%)	IMD Futura	L_{eq} ligeros	L_{eq} pesados	L_{eq} Total
A	44692	0	44692	73,5	70,2	75,1
B	44692	12	39329	72,9	69,6	74,6
C	44692	10	40223	73,0	69,7	74,7
D	44692	15	37988	72,8	69,5	74,4
E	44692	15	37988	72,8	69,5	74,4

Como puede apreciarse en las Tablas, el nivel equivalente predicho en este tramo para las diferentes velocidades y escenarios es muy parecido y su variación poco significativa con las reducciones planteadas. Si ejecutamos el modelo francés aumentando la reducción de la IMD para cada escenario en intervalos de +5% sobre la situación planteada en la columna tercera de las tablas 37 a 39, encontramos que no es hasta un valor en torno al 40 o 50% que encontramos una reducción significativa en los niveles predicho con respecto a los niveles actuales (figuras 28, 29 y 30).

Con todo, en ningún caso estos niveles se acercan a los 55 dBA recomendados por la OMS pero se pueden situar dentro de los valores límites contemplados en el Decreto 326/2003 si la zona viaria objeto de este estudio queda finalmente incluida en un área de sensibilidad acústica Tipo IV o V.

Figura 28. Predicción de niveles sonoros aumentando la reducción de la IMD expresada en la Tabla 37 en cada escenario el porcentaje indicado. V=30 km/h.

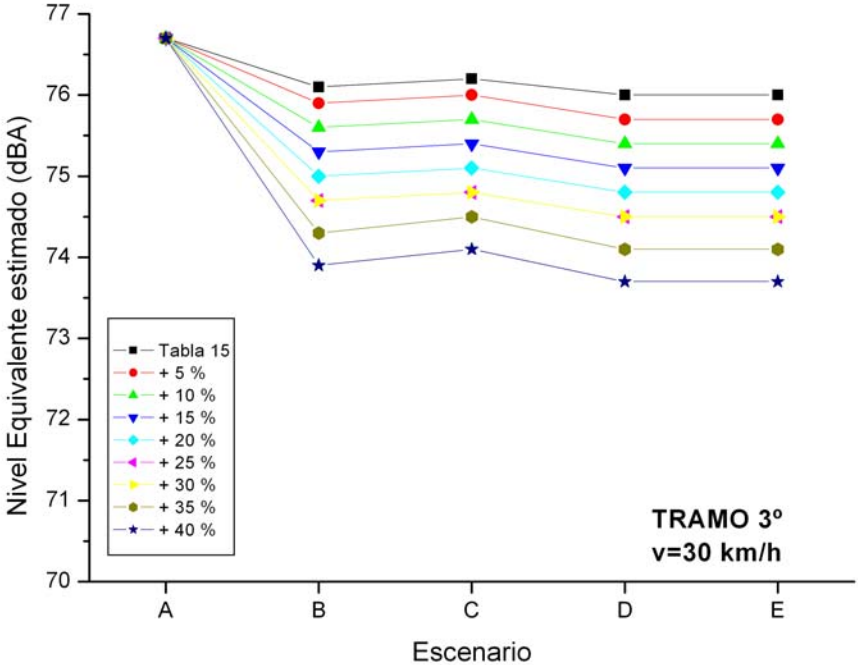


Figura 29. Predicción de niveles sonoros aumentando la reducción de la IMD expresada en la Tabla 38 en cada escenario el porcentaje indicado. V=40 km/h.

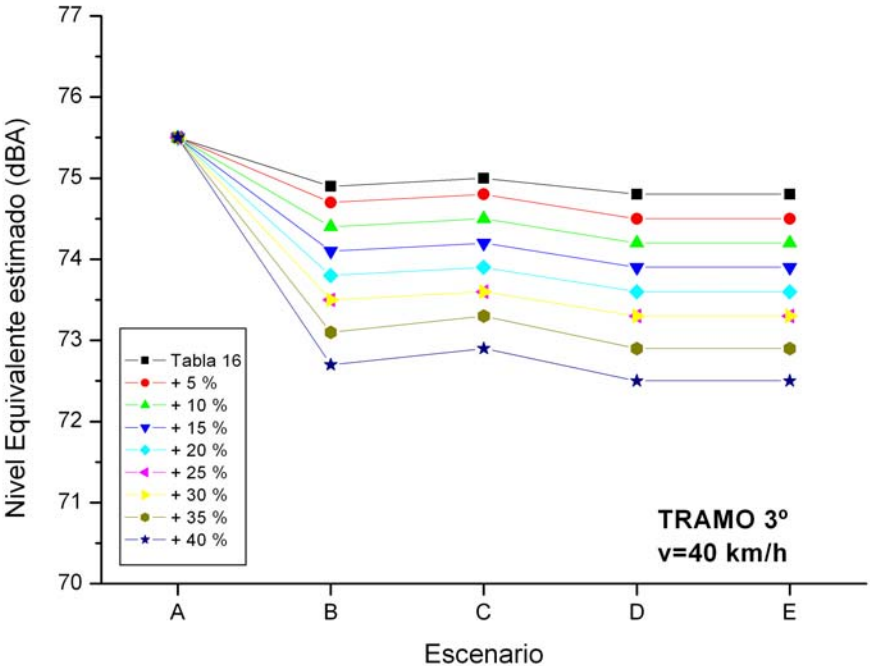
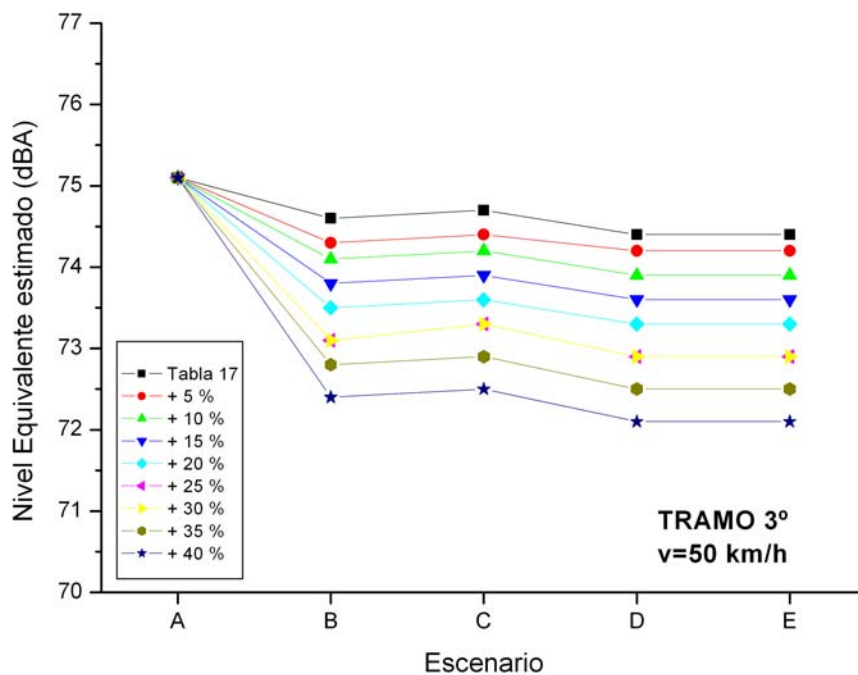


Figura 30. Predicción de niveles sonoros aumentando la reducción de la IMD expresada en la Tabla 39 en cada escenario el porcentaje indicado. V=50 km/h.



Considerando este nivel de reducción de tráfico, la predicción para el caso de las zonas abiertas del tramo, tales como cruces, parques o Río Genil, nos da los siguientes resultados:

Tabla 40. Predicción para las ZONAS ABIERTAS con una reducción óptima del tráfico (IMD).

Escenarios	Reducción IMD (%)	30 km/h	40 km/h	50 km/h
		L _{eq} Total	L _{eq} Total	L _{eq} Total
A	0	75,6	74,4	74,1
B	52	72,9	71,7	71,3
C	50	73,0	71,8	71,5
D	55	72,6	71,4	71,1
E	55	72,6	71,4	71,1

2.2.7.2. Predicción de niveles sonoros: sobre la hipótesis de reducción de la IMD en proporción equivalente a la reducción superficial de carriles para el tráfico rodado.

Finalmente, el modelo francés aplicado a cada uno de los tramos considerados y según las características de los distintos escenarios presentados ofrece los siguientes resultados para el nivel equivalente:

Tabla 41. Predicción para el TRAMO 1° en función de la velocidad.

TRAMO 1°: AVDA DEL SUR Y GABRIEL MIRO 608 m				
Escenarios	Reducción IMD (%)	30 km/h	40 km/h	50 km/h
		L _{eq} Total	L _{eq} Total	L _{eq} Total
A	0	76,2	75,0	74,7
B	50	73,2	72,0	71,6
C	34,54	74,4	73,2	72,8
D	0	76,2	75,0	74,7
E	50	73,2	72,0	71,6

Tabla 42. Predicción para el TRAMO 2° en función de la velocidad.

TRAMO 2°: GABRIEL MIRO-EMPERATRIZ EUGENIA 975 m				
Escenarios	Reducción IMD (%)	30 km/h	40 km/h	50 km/h
		L _{eq} Total	L _{eq} Total	L _{eq} Total
A	0	75,6	74,4	74,1
B	50	72,6	71,4	71,1
C	0	75,6	74,4	74,1
D	0	75,6	74,4	74,1
E	50	72,6	71,4	71,1

Tabla 43. Predicción para el TRAMO 3° en función de la velocidad.

TRAMO 3°: EMPERATRIZ EUGENIA-ALHAMAR 740 m				
Escenarios	Reducción IMD (%)	30 km/h	40 km/h	50 km/h
		L _{eq} Total	L _{eq} Total	L _{eq} Total
A	0	76,7	75,5	75,1
B	50	73,7	72,5	72,1
C	25,67	75,4	74,2	73,8
D	0	76,7	75,5	75,1
E	50	73,7	72,5	72,1

Tabla 44. Predicción para el TRAMO 4° en función de la velocidad

TRAMO 4°: ALHAMAR-CRUZ DE LAGOS 780 m				
Escenarios	Reducción IMD (%)	30 km/h	40 km/h	50 km/h
		L _{eq} Total	L _{eq} Total	L _{eq} Total
A	0	75,6	74,4	74,1
B	50	72,6	71,4	71,1
C	14,74	74,9	73,7	73,4
D	0	75,6	74,4	74,1
E	50	72,6	71,4	71,1

Al representar gráficamente la reducción del nivel equivalente experimentado en cada uno de los escenarios para los diferentes tramos en función de la velocidad (figuras 31 a 33), se aprecia que la variación que experimentan los niveles sonoros son semejantes en cada tramo con independencia de la velocidad de los vehículos, apareciendo ciertos escenarios como los más aconsejables. También se aprecia que en el caso más variable, escenario C, la reducción en el tramo 2° es la menor:

Figura 31. Disminución estimada con respecto a la situación actual, escenario A, del nivel equivalente para el caso de velocidad del tráfico 30 km/h.

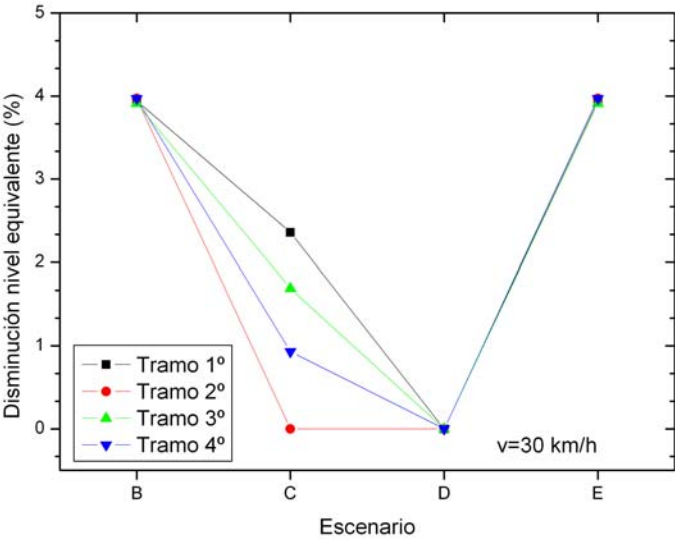


Figura 32. Disminución estimada con respecto a la situación actual, escenario A, del nivel equivalente para el caso de velocidad del tráfico 40 km/h.

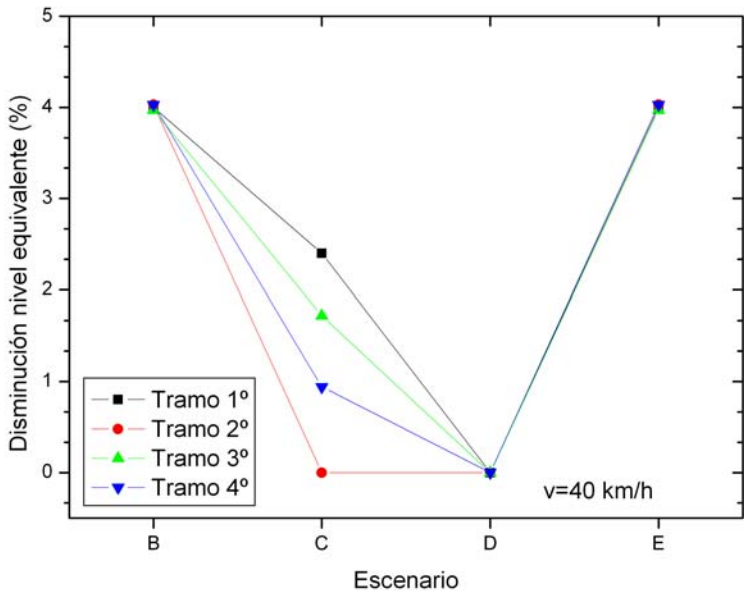
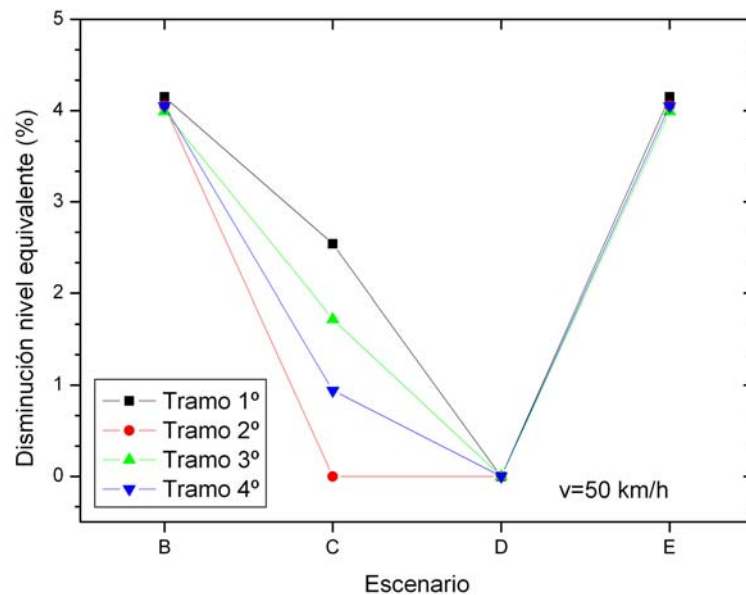


Figura 33. Disminución estimada con respecto a la situación actual, escenario A, del nivel equivalente para el caso de velocidad del tráfico 50 km/h.



A la vista de las figuras y tablas anteriores, finalmente, es posible extraer las siguientes conclusiones:

1°. El **escenario C**, HIBRIDO, reduce el nivel equivalente en los tramos considerados, aunque esta reducción es variable en el mismo sentido que lo es la reducción del tráfico. **No es la mejor alternativa** desde el punto de vista acústico. En todo caso es peor para el tramo 2° que para el resto.

2°. El **escenario D no presenta ninguna mejora ni deterioro** frente a la situación actual desde el punto de vista de los niveles sonoros ambientales.

3°. El **escenario B**, METRO EN SUPERFICIE, y el **escenario E**, METRO SUBTERRÁNEO con modificación de la circulación en superficie, tienen igual efecto sobre los niveles sonoros ambientales. La reducción del nivel equivalente en estos dos escenarios con la reducción del IMD propuesta, alcanza de media el 4%, suficiente para acercar los niveles ambientales al valor deseable de 70 dBA siendo **las mejores opciones** desde el punto de vista acústico.

2.2.8. Estimación del impacto sonoro en los diferentes escenarios: afección a la población.

Si analizamos la tipología urbana del trazado, generalmente la edificación forma calles generalmente en U, es decir, con edificaciones en ambos lados, y los ruidos generados en ellas sufren escasas pérdidas en los rebotes entre fachadas, debido al bajo coeficiente de absorción de las mismas.

Aunque las vías no son estrechas, es previsible que no más de un 10-20 % del ruido directo escape por la parte superior. Si a ello unimos el tipo de asfalto, poco drenante, vegetación existente, escasa, y densidad de población alta en todos los tramos, podemos concluir que el ruido generado no va a estar especialmente amortiguado. La limitación del caudal de tráfico

contemplado en el escenario B o la peatonalización de parte de la vía además de la limitación del caudal que incluye el escenario E, seguramente facilitará el que los niveles registrados en el futuro no sean insoportables para los habitantes de estas zonas, máxime si se mantienen más cercanos a los 70 dBA que a los 80 dBA.

Teniendo esto en cuenta, es posible valorar la influencia que tendrían los cambios propuestos en los escenarios contemplados en el nivel de ruido predicho a nivel de fachada, y como afectaría ello a la población de esa zona. Para ello se va a utilizar un índice de impacto que denominamos índice de afección por ruido (IAR) obtenido de la siguiente forma:

$$IAR = (L_{eq\ fachada} - 65) d \quad (\text{dBA hab/Ha})$$

donde $L_{eq\ fachada}$ es el nivel continuo equivalente a nivel de fachada y d la densidad media de población en la zona (habitantes/Ha).

Este índice calcula cuánto excede el nivel continuo equivalente en fachada del valor de 65 dBA multiplicado por la densidad media de habitantes afectados. Representa una dosis colectiva de ruido soportado por una comunidad en exceso del valor límite de 65 dBA. De esta forma obtenemos un valor numérico expresado en dB hab/Ha que nos ofrece una cuantificación de la afección de la población en el área en la que se efectúa esa variación del nivel sonoro.

La elección del valor de 65 dBA como valor de referencia se justifica por las indicaciones ofrecidas en las “Guías para ruido comunitario”, documento hecho público por la Organización Mundial de la Salud en 1999, que consideran que para proteger a la población de molestias serias ocasionadas por el ruido durante el día, el nivel de presión sonora en terrazas, balcones y espacios de vivienda exterior no debería exceder de 65 dBA de ruido continuo y estable (Guideline values of Guidelines for Community Noise, WHO 1999). En la comunidad científica, este límite es prácticamente considerado como el valor máximo aceptable y recomendable de nivel continuo equivalente diario. Este valor representa, asimismo, en el Reglamento de Protección contra la Contaminación Acústica de Andalucía el número límite de nivel continuo equivalente durante el día en las zonas tolerablemente ruidosas en las que se encuadran las zonas comerciales y de oficinas. Aunque el trayecto analizado se corresponde más con una zona residencial, debido a los altos niveles sonoros medidos se ha optado por la clasificación menos restrictiva posible y más realista de acuerdo con las medidas experimentales para la zona en cuestión.

A continuación, se muestra en tablas la disminución relativa del IAR en los distintos escenarios previstos, lo cual nos informa del grado de beneficio sonoro que recibe la población en las zonas estudiadas. Dicha disminución está calculada como la diferencia en porcentaje entre el IAR en la situación actual (A) y cada uno de los escenarios estudiados.

Tabla 45. Reducción del IAR en el TRAMO 1 en función de la velocidad.

TRAMO 1°: AVDA DEL SUR Y GABRIEL MIRO. 300 hab/Ha			
Escenarios	30 km/h	40 km/h	50 km/h
	Porcentaje reducción IAR %	Porcentaje reducción IAR %	Porcentaje reducción IAR %
A	0%	0%	0%
B	28,3 %	31,9 %	33,0 %
C	6,6 %	7,5 %	7,7 %
D	0 %	0%	0%
E	28,3 %	31,9 %	33,0 %

Tabla 46. Reducción del IAR en el TRAMO 2 en función de la velocidad.

TRAMO 2°: GABRIEL MIRO-EMPERATRIZ EUGENIA 675 hab/Ha			
Escenarios	30 km/h	40 km/h	50 km/h
	Porcentaje reducción IAR %	Porcentaje reducción IAR %	Porcentaje reducción IAR %
A	0%	0%	0%
B	28,3 %	31,9 %	33,0 %
C	0%	0 %	0%
D	0 %	0%	0%
E	28,3 %	31,9 %	33,0 %

Tabla 47. Reducción del IAR en el TRAMO 3 en función de la velocidad.

TRAMO 3°: EMPERATRIZ EUGENIA-ALHAMAR 725 hab/Ha			
Escenarios	30 km/h	40 km/h	50 km/h
	Porcentaje reducción IAR %	Porcentaje reducción IAR %	Porcentaje reducción IAR %
A	0%	0%	0%
B	25,6 %	28,6 %	29,7 %
C	11,1%	12,4 %	12,9 %
D	0 %	0	0
E	25,6 %	28,6 %	29,7 %

Tabla 48. Reducción del IAR en el TRAMO 4 en función de la velocidad.

TRAMO 4°: ALHAMAR-CRUZ DE LAGOS 400 hab/Ha			
Escenarios	30 km/h	40 km/h	50 km/h
	Porcentaje reducción IAR %	Porcentaje reducción IAR %	Porcentaje reducción IAR %
A	0%	0%	0%
B	28,3 %	31,9 %	33,0 %
C	6,6 %	7,4 %	7,7 %
D	0	0	0
E	28,3 %	31,9 %	33 %

Como puede observarse en las tablas anteriores, una conclusión general es que las opciones B y E, es decir, el **Metro Ligero en Superficie (plataforma reservada)** y el **Metro Subterráneo con carril bus en superficie** son las opciones que más reducirían el impacto acústico de las vías estudiadas, alcanzando la reducción porcentajes entre el 25–33 % dependiendo del tramo considerado. El escenario híbrido C nos da índices de reducción considerablemente menores entre el 0 y 13 %, mientras que las opciones que mantienen escenarios sin cambios en el tráfico rodado como el A y el D lógicamente no registran ninguna mejora.

Apéndice 1. Índices de Valoración el Ruido

Nivel de presión sonora (L)

Se define como el logaritmo de la razón de la presión sonora medida, entre una presión de referencia, multiplicado por una constante de proporcionalidad que, si es igual a 10, da como unidad de medida los *decibelios* (dB). Su expresión es:

$$L = 10 \log \frac{p_A^2}{p_0^2} = 20 \log \frac{p_A}{p_0}$$

en donde

p_A = nivel de presión sonora medido instantáneamente

p_0 = presión sonora de referencia: mínima presión audible de una onda sonora a 1000 Hz.

Esta magnitud tiene gran importancia, por ser la que proporcionan instantáneamente los sonómetros.

Nivel sonoro continuo equivalente (L_{eq})

Es el nivel en dB de un ruido constante hipotético correspondiente a la misma cantidad de energía acústica que el ruido real considerado, en un punto determinado durante un período de tiempo T . Salvo que se indique lo contrario, se sobreentiende la red de ponderación frecuencial A , que es básicamente un parámetro que da más peso a los ruidos de frecuencias más molesta para el oído humano. Es un nivel sonoro promediado en el tiempo y se suele abreviar *nivel equivalente*. Es una cantidad que se mide directamente con un *sonómetro integrador* o se estima a partir de las lecturas de uno no-integrador. Se define como:

$$L_{eq} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \int \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right]$$

El nivel equivalente se basa en una ponderación de tiempo uniforme, mientras que el nivel sonoro con ponderación temporal se basa sobre una *ponderación exponencial de tiempo*, que da lugar a niveles sonoros influidos fundamentalmente por los sonidos que han ocurrido más recientemente, frente a los producidos en cualquier momento durante el intervalo temporal al que se refiere el L_{eq} . Es posible aproximar la expresión anterior para medidas discretas L_i tomadas cada cierto intervalo de tiempo t_i de la siguiente forma:

$$L_{eq} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \sum_i t_i 10^{\frac{L_i}{10}} \right]$$

Es frecuente calcular el *nivel equivalente de 1 hora y de 8 horas* ($L_{eq}1h$ y $L_{eq}8h$) También se suelen calcular otras variaciones de este índice.

En concreto, la nueva regulación europea, nacional y autonómica aconseja la estimación del nivel equivalente de 24 horas, ya sea mediante medida directa o estimación a partir de los niveles equivalente mañana, tarde y noche incluyendo algún tipo de penalización durante las horas de tarde y de noche.

Nivel máximo (L_{max})

Es el máximo nivel de presión sonora registrado por el sonómetro durante el tiempo de medida y por ello se suele denominar nivel de ruido de pico. En ocasiones se emplea la ponderación frecuencial C (que prácticamente no altera los registros) indicando entonces el mayor valor absoluto de la presión sonora instantánea desde el inicio de la medición y se designa por L_{Cpk} .

Niveles percentiles

Desde el punto de vista del daño producido por el ruido es importante el nivel y el tiempo, dado que exposiciones en el trabajo a niveles mayores de los permitidos exigen tiempos de exposición menores. Por otra parte, es conveniente dar un análisis estadístico del ruido que incluya estos dos parámetros: nivel y tiempo. Para ello se introducen los *niveles porcentuales o percentiles*, que suelen emplearse, aunque no de forma exclusiva, como índices de valoración del *Ruido de Tráfico de vehículos automóviles*.

Nivel L_{10}

Es el nivel sonoro en dBA que se sobrepasa durante el 10% del tiempo de observación. Describiría el *nivel de pico* de ruido (no debe ser confundido con L_{max})

Nivel L_{50} o nivel medio

Es el nivel sonoro en dBA que se sobrepasa durante el 50% del tiempo de observación. Es una descripción del *ruido medio*. Es posible calcular el nivel equivalente (L_{eq}) a partir del nivel medio, siempre que se conozca la dispersión de los niveles y la distribución resultante sea gaussiana, mediante la siguiente ecuación:

$$L_{eq} = L_{50} + 0.115\sigma^2$$

donde σ es la desviación típica de la distribución.

Nivel L_{90}

Es el nivel sonoro en dBA que se sobrepasa durante el 90% del tiempo de observación. Así definido, proporcionaría el *ruido de fondo*.

Apéndice 2. Variables del ruido en medio urbano originado por el tráfico.

Una vez establecido que el principal factor del ruido en nuestras ciudades es, de forma general, el ruido de tráfico, es importante evaluar los distintos factores que influyen en los niveles de ruido medidos. Para ello se ha procedido a predecir el nivel de ruido usando el modelo NMPB-Routes-96 que arroja como resultado el nivel continuo equivalente en función de las distintas variables involucradas en el problema. Antes de mostrar los resultados obtenidos analicemos las variables que van a influir en los resultados.

En primer lugar, la producción de ruido por parte del tráfico rodado depende fundamentalmente del volumen de tráfico (expresado normalmente como la intensidad media horaria IMH ó diaria IMD - número de vehículos que transitan en la vía por cada hora o por día). En la mayor parte de los modelos, el impacto del volumen de tráfico en el nivel sonoro responde a una expresión logarítmica que involucra principalmente la IMH y que permite obtener el nivel equivalente básico. Este nivel equivalente básico se ve incrementado por otros factores que pueden significar incrementos de hasta el 30 % del nivel básico anterior. Estas nuevas variables que contribuyen a incrementar el ya de por sí elevado ruido de tráfico que soportan nuestras ciudades, son las siguientes:

1. Cuando el **caudal de vehículos es bajo**, éstos pueden considerarse como fuentes sonoras puntuales, en las cuales la relación entre intensidad sonora y la distancia es de tipo cuadrático, es decir, al doblar la distancia del receptor u oyente, disminuye en 6 dB el nivel sonoro. Sin embargo, debido a la **alta densidad de vehículos**, éstos no pueden ser tratados como individualidades y por lo tanto no se comportan como una fuente sonora puntual, siendo la relación entre intensidad sonora y distancia de tipo lineal-cuadrático. Ello quiere decir que al doblar la distancia el nivel sonoro no disminuye en 6 dB como antes, sino entre 3 y 6 dB, por lo que se produce un aumento importante en el receptor.
2. Los vehículos circulan por **pavimentos asfaltados**, adoquinados, etc., muy reflejantes del sonido. De esta forma, podemos decir que el tipo de pavimento influye muy significativamente en el nivel sonoro, y por ejemplo, en el caso límite de la carretera se comportara como un espejo sonoro, en una dirección determinada desde la carretera hacia un edificio, viaja el doble de la intensidad y por lo tanto el nivel será 6 dB mayor. Por ello interesará que el plano horizontal sea absorbente, tanto el asfaltado como los márgenes, aceras, etc.
3. Dentro de la **topografía urbana**, el ruido generado por el tráfico se encuentra encerrado entre los muros de los edificios que delimitan la vía de circulación. Muchas reflexiones se dirigen a los edificios próximos y la energía que no absorben las fachadas sale reflejada para ir hacia las vecinas, donde vuelven a reflejarse en una sucesión infinita. Al final, se constata que manteniendo constante la densidad de tráfico, cuanto más ancha sea una calle tanto más disminuye el nivel de ruido, y cuanto más altas sean las fachadas de sus edificios, tanto menor será esta disminución.
4. Otros factores como la **pendiente de la calzada** son importantes en el caso de que la presencia de vehículos pesados sea significativa. Por ello los modelos incluyen también correcciones en función del porcentaje de vehículos pesados y de la pendiente de la calzada. La **influencia de la velocidad**, por otra parte, no es significativa en media en el caso del tráfico urbano, ya que cuando las velocidades de los vehículos son bajas (utilización de marchas cortas), los niveles de ruido son prácticamente independientes de la velocidad.

Teniendo en cuenta todos estos factores, se ha aplicado el modelo francés para la predicción de niveles sonoros en las vías significativas en este estudio. A partir de los datos medidos experimentalmente en las distintas vías se ha procedido en primer lugar a comprobar la bondad del modelo elegido.

Apéndice 3. Comentarios sobre el impacto sonoro del metro ligero en los diferentes escenarios.

Aunque una estimación del impacto sonoro del metro ligero mediante modelos de predicción necesitaría una cierta cantidad de información no disponible actualmente, si se pueden realizar afirmaciones generales bastante correctas sobre la cantidad y el tipo de afección sonora esperable por el metro ligero.

La causa principal del ruido es el rozamiento entre los raíles y las ruedas, debido al contacto acero-acero. Las otras fuentes de ruido como compresores, sistemas de ventilación, etc son de mucha menor importancia. Mención aparte merecen las vibraciones, principalmente de baja frecuencia, que pueden transmitirse desde los vagones hasta los edificios cercanos. En cualquier caso, la rugosidad del contacto ruedas-raíl y el tipo de unión de los raíles con el pavimento es vital a la hora de determinar el impacto sonoro producido por el metro ligero.

Resultados de medidas experimentales y de modelos predictivos ensayados en diferentes circunstancias (“Prediction of noise from trams”, J Mandula et al., Applied Acoustics, 63 (2002), 373-389, “Noise emisión of Light-Rail Vehicles”, H.Leeuwen, Proc. Euronoise 2003) arrojan las siguientes conclusiones:

- Raíles sobre asfalto u hormigón pueden producir a 25 m niveles de exposición sonora (1 segundo) de hasta 83 dBA.
- Raíles con silenciadores en balasto, pueden producir hasta 78 dBA de nivel de exposición sonora.
- En promedio, el nivel de exposición sonora de un metro ligero a 25 m es de 78 dBA.

Traducido a niveles continuos equivalentes (niveles medios), podemos afirmar lo siguiente:

- En promedio, la emisión del metro ligero es comparable a la producida por 11 vehículos.
- El impacto en valores medios en las vías analizadas sería despreciable, habida cuenta de los elevados valores de ruido ambiental medidos en las diferentes vías.
- La principal afección podría producirse en los niveles máximos o de pico en condiciones de deficiente mantenimiento del contacto raíles-ruedas.
- La inclusión de los niveles de emisión del metro en los escenarios del apartado anterior supone un incremento del IAR menor del **1 %**.

En definitiva, con unas buenas condiciones de instalación y de trazado, no es de esperar que el metro ligero suponga ninguna afección sonora significativa. Para lograr un impacto mínimo es importante tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Optimización de la forma del raíl y de las ruedas para reducir el contacto entre ambos elementos.
- Uso de materiales amortiguadores entre el raíl y el suelo, para amortiguar las vibraciones.
- Adecuada construcción y trazado de la forma de la vía.
- Uso de frenos con sistema antibloqueo y antirruído para reducir la fricción con los raíles.

3. EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA INCIDENCIA AMBIENTAL DE LOS ESCENARIOS.

A continuación, tras haber formulado en el primer apartado las pautas metodológicas (definición de escenarios y diseño de indicadores) y haber desarrollado en el segundo, sendos informes sobre la calidad del aire (ruido y contaminación), es oportuno abordar la comparación de escenarios aplicando ya los indicadores diseñados y recopilados. Así, este análisis muestra tanto los valores absolutos y relativos (porcentuales) de los indicadores por escenarios, (tablas 49 y 50) como sobre todo las dinámicas relativas, positivas o negativas de los indicadores, en función de los escenarios a examen (tabla 51, figuras 34 y 35).

Como se estableció al principio, esta comparación relativa de los escenarios se hace sobre la hipótesis de captación de la demanda, que supone una reducción equivalente del tráfico rodado (IMD, 2000). Las hipótesis generales de reducción del tráfico en función de la demanda de viajeros que logra captar cada escenario de Metro Ligero, se apoyan en diversos estudios relacionados con el Estudio Informativo y Anteproyecto del Metro Ligero de Granada (Ayesa-Junta de Andalucía, 2000, 2002, 2003).

Esto significa, que la mayoría de los indicadores que, por supuesto, están mediatizados en sus valores por las secciones propuestas, son dependientes de la hipótesis asumida, salvo en el caso de la superficie verde y peatonal, que sería independiente de la captación de la demanda y dependiente del dibujo de las secciones propuestas. También inciden en los resultados obtenidos y en la posibilidad de aplicación de los escenarios los estándares utilizados para el consumo de energía, la congestión, el ruido, o la emisión de contaminantes.

Asimismo, se recuerda que cada escenario se corresponde con las secciones tipo dibujadas, todas ellas encajadas en una sección de 24m. (la zona más estrecha del Cno. de Ronda) correspondiente a la situación actual en el tramo 3º del Cno. de Ronda comprendido entre Recogidas y Alhamar; y también, que la cifra base sobre la que estimar las variaciones (positivas o negativas) de los indicadores será siempre la del escenario A ó “situación actual”.

El análisis comparativo con base en los indicadores permite hacer una valoración de las alternativas o tendencias que supondría cada escenarios en función de su incidencia sobre criterios esenciales en las relaciones entre movilidad y medio ambiente urbano: a) la calidad ambiental del aire; b) la eficiencia en la utilización de recursos; c) la integración urbana); y d) la afección al tráfico. Estos criterios son desglosados en 8 indicadores (2 dos por criterio) que sirven para confrontar los escenarios en las tablas y figuras que siguen.

Tabla 49. Indicadores de evaluación ambiental de los escenarios sobre la hipótesis de captación de la demanda. Valores absolutos.

ESCENARIOS	Ruido	Aire	EficienciaSuelo	Energía	Verde+Peatonal	Efecto Barrera	Congestión	Afección Cap.Viaria
SituaciónActual	76,70	52,00	1,12	507,07	20.135,00	2,20	0,93	49.648,00
MetroLigeroSuperf	76,10	45,76	1,42	446,22	26.528,00	0,93	2,04	21.721,00
Híbrido+Antepro	76,20	41,84	0,98	456,37	25.568,00	1,66	0,94	40.378,00
Subterráneo+Actual	76,00	35,00	0,80	431,01	22.055,60	1,87	0,79	49.648,00
Subterráneo+Bus+Bici	76,00	35,00	1,16	431,01	28.862,00	0,85	1,97	20.169,00

Tabla 50. Indicadores de evaluación ambiental de los escenarios sobre la hipótesis de captación de la demanda. Valores relativos.

ESCENARIOS	Ruido	Aire	EficienciaSuelo	Energía	Verde+Peatonal	Efecto Barrera	Congestión	Afección Cap.Viaria
SituaciónActual	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
MetroLigeroSuperf	99,21	88,00	126,78	87,99	131,75	42,27	219,35	43,75
Híbrido+Antepro	99,34	80,46	87,50	90,00	126,98	75,45	101,07	81,32
Subterráneo+Actual	99,08	67,30	71,42	85,00	109,53	85,00	84,94	100,00
Subterráneo+Bus+Bici	99,08	67,30	103,57	85,00	143,34	38,63	211,82	40,62

Tabla 51. Evaluación ambiental de los escenarios sobre la hipótesis de captación de la demanda. Dinámicas positiva y negativas de los indicadores.

ESCENARIOS	Ruido	Aire	EficienciaSuelo	Energía	Verde+Peatonal	Efecto Barrera	Congestión	Afección Cap.Viaria
SituaciónActual	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MetroLigeroSuperf	0,79	12,00	26,78	12,01	31,75	57,72	-119,35	-56,25
Híbrido+Antepro	0,66	19,54	-12,50	10,00	26,98	24,54	-1,07	-18,68
Subterráneo+Actual	0,92	32,70	-28,58	15,00	9,53	15,00	15,06	0,00
Subterráneo+Bus+Bici	0,92	32,70	3,57	15,00	43,34	61,36	-111,82	-59,38

Figura 34. Comparación relativa de los indicadores según escenarios sobre la hipótesis de captación de la demanda.

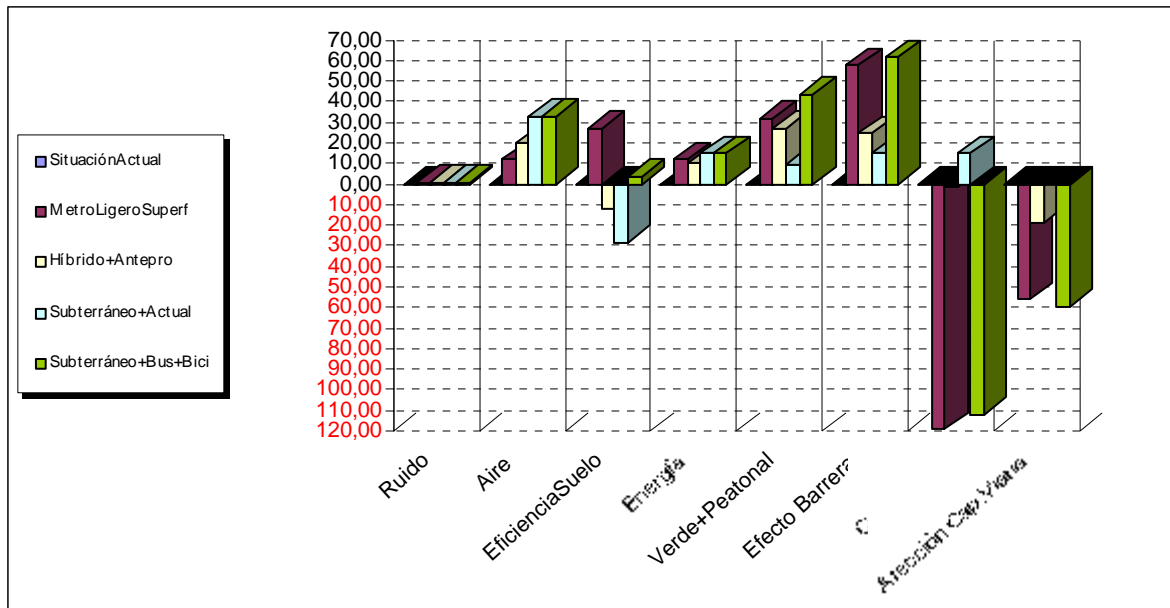
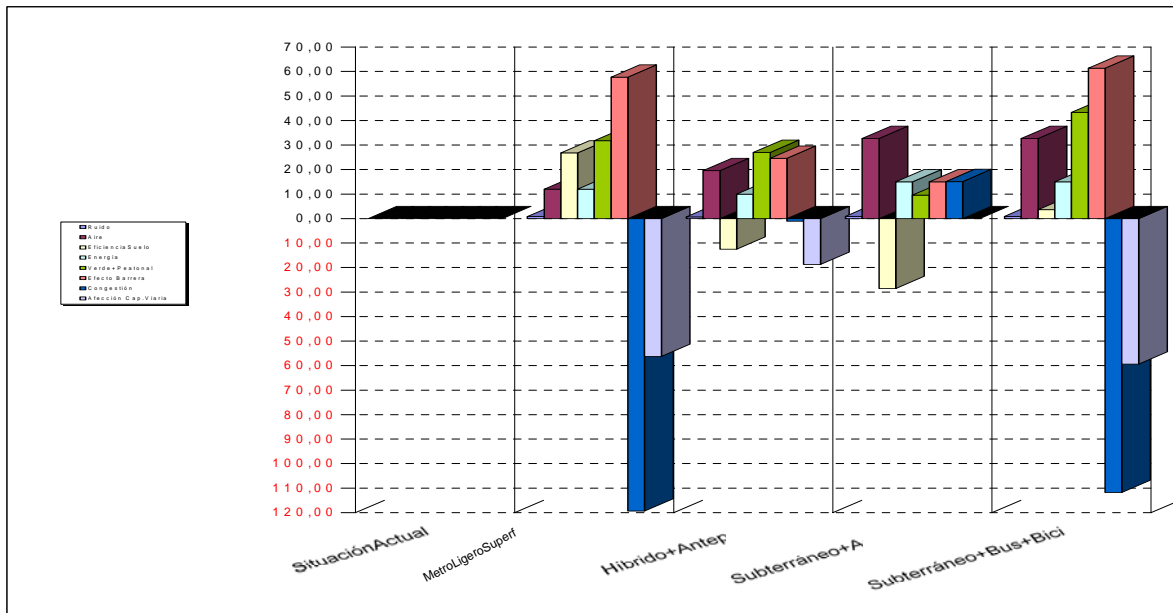


Figura 35. Comparación relativa de los escenarios sobre la hipótesis de captación de la demanda.



3.2. Análisis comparativo de resultados.

Haciendo un análisis comparativo de los criterios e indicadores aplicados a los escenarios propuestos, sobre la hipótesis de reducción del tráfico (IMD) en función de la captación de la demanda, las observaciones más relevantes, a nuestro juicio, serían:

- **Respecto al ruido**, apenas si hay diferencia entre los escenarios, ya que la situación actual está en 76,7 decibelios (nivel continuo equivalente) y el escenario E, el más favorable al respecto, está en 76, lo que no significa un cambio apreciable en la percepción y tolerancia del ruido.
- **Respecto a la contaminación atmosférica**, los dos escenarios “subterráneos, el D, manteniendo la situación actual en superficie, y el E, renovando la sección superficial urbana (bus, acerado, bici), presentan el valor más bajo de contaminación, con 35 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ambos escenarios, dada su mayor reducción del tráfico al habersele asignado una hipótesis de captación de la demanda de viajeros del 15%.
- **Respecto a la eficiencia superficial modal** el escenario con un indicador más positivo sería el B, o sea, Metro Ligero en Superficie con plataforma reservada, que transportaría 1,42 viajerosdía/ m^2 lo que supone un incremento relativo del 26,78 % respecto a la situación actual. El segundo mejor escenario sería el E, con un incremento del 3,57% (1,16 viajero día/ m^2).. En sentido contrario, los escenarios C (híbrido) y D (subterráneo +situación actual) presentan valores negativa, con disminuciones respecto a la situación actual, del 12,50 % y del 28,58 %, respectivamente.
- **Respecto al consumo de energía**, lógicamente, al reducirse el tráfico, en todos los casos también disminuye el consumo de energía debido a la movilidad, siendo los dos escenarios subterráneos en los que más disminuye el consumo de energía (un 15 % en ambos casos).
- **Respecto a la superficie de verde urbano y peatonal** (incluyendo la estancial por paradas y estaciones del metro ligero), destaca de forma clara sobre los demás el escenario E (+43,34%), que supone una mayor renovación de la sección urbana a favor del peatón y de la calidad ambiental (verde), así en este escenario se pasaría de los 20.135 m^2 que hay en la actualidad a 28.682 m^2 . El segundo mejor escenario sería, el B, metro ligero en superficie, con 26.528 m^2 (+31,75%).
- **Respecto al efecto barrera**, en este caso, como en el indicador anterior, las opciones que más mejoran la integración urbana de la movilidad, serían la B (en superficie), que reduce el citado efecto un 57, 42 % respecto a la situación actual, y la E, que lo hace en un 61,36%. La opción que menos contribuiría a reducir el efecto barrera sería la D (subterráneo+situación actual), que lo hace sólo en un 15%.
- **Respecto a la congestión**, el único escenario que arroja en la relación entre intensidad de tráfico y capacidad viaria, sería el Subterráneo que mantiene la sección actual en superficie, con un ratio de 0,79 frente al 0,94 de la situación actual. Los escenarios más negativos serían el B (metro ligero en superficie) y el E (subterráneo+bus-bici-peatón), en ambos casos se desbordaría con mucho la capacidad de la vía, ya que presentan, respectivamente, cocientes de 2,04 y 1,97.

- **Respecto a la afección sobre la capacidad viaria**, el escenario que hace disminuir más la calzada, superficie viaria para el tráfico rodado, es el E, que lo haría en un 59,38%, seguido de cerca, por el B, Metro Ligero en Superficie, donde disminuiría en 56,25%. Mientras que el escenario D (subterráneo+situación actual), no afectaría y el C (híbrido) reducirá la superficie de calzada para el tráfico rodado en un 18,68%.

4. CONCLUSIONES FINALES

1º. La comparación final de escenarios no es determinante respecto a las posibilidades que ofrece cada opción, más bien es un modelo de valoración tendencial del medio ambiente urbano en función de que se acentúen, más o menos, determinadas posibilidades (restricción, al tráfico, coordinación del transporte público, dotación de espacios libres, ...). En este sentido, la posibilidad de contrastar las hipótesis y los estándares asumidos mediante trabajos más complejos y empíricos serviría para calibrar mejor las tendencias de cada escenario. De lo anterior se deriva la necesidad de implantar y desarrollar lo antes posible un observatorio o sistema de indicadores del transporte público en la aglomeración urbana de Granada, con una perspectiva amplia, que sirva para ayudar a la gestión de la movilidad urbana, incidiendo también en la planificación urbanística.

2º. El análisis de los diversos indicadores, a pesar de sus limitaciones, apunta con suficiente claridad que la regeneración ambiental y urbana del Cno. de Ronda tras la implantación del metro ligero, bien sea en alguno de los escenarios planteados, o bien en cualquier otro posible (parecido), no será apreciable si no se adopta una estrategia global urbana que ponga en relación la gestión de la movilidad y el modelo de ciudad, mediante la consecución progresiva y tangible de los criterios aquí evaluados de: calidad ambiental del aire, integración urbana, espacios libres e interacciones con el tráfico.

3º. Las ventajas o inconvenientes de los escenarios dependerán también de la ponderación que se haga, en el tiempo y en el espacio, de los indicadores contrastados. Así, según a qué, cómo y cuánto, de prioridad la planificación urbanística y de la movilidad tendría más sentido uno u otro escenario.

4º. El ruido es uno de los aspectos ambientales que más preocupan a los ciudadanos andaluces como lo indica el último *Ecobarómetro* hecho público por la Consejería de Medio Ambiente en 2002, ya que los ciudadanos al valorar la situación del medio ambiente en su localidad destacan como principal problema, el ruido con un 40,6%, seguido de la suciedad de las calles (32,5%) y la falta de zonas verdes (31%). Si a esta situación general unimos dos hechos, que la situación particular de la ciudad de Granada, como una de las más ruidosas de nuestro entorno regional, y que el tráfico como pone de manifiesto este apartado es el principal causante del ruido, queda clara la importancia capital de actuar sobre la movilidad y el modelo de ciudad para mejorar sensiblemente este aspecto ambiental.

5º. Ahondando en lo anterior, los análisis sobre la calidad del aire han puesto de manifiesto que los escenarios D y E (ambos subterráneos) son los que más contribuirían a mejorar este aspecto ambiental, pero sólo a partir de una reducción importante del tráfico, superior al 40 o incluso el 50 %, lo que entonces posibilitaría aproximarse a los niveles sonoros y de contaminación, más o menos satisfactorios, según lo que marcan las directrices normativas europeas, nacionales locales.

6º. La consecución de una cierta calidad ambiental no depende tanto de una opción subterránea o una contraria superficial, sino más bien de cómo se proyecte de forma integral la sección urbana o escenario, en cada caso. Así, a veces hay un cierto paralelismo entre los escenarios B (metro ligero en superficie) y E (metro ligero subterráneo +bus-bici-peatón), ya que ambos escenarios, sobre todo el segundo significaría una mayor renovación del medio ambiente urbano.

7º. Los escenarios B (metro ligero en superficie) y E (metro ligero subterráneo +bus-bici-peatón), que suponen una mayor modificación de la sección urbana, presentan buenos resultados en bastantes indicadores, sin embargo, son también los que presentan mayores inconvenientes para el tráfico, ya que con las hipótesis de captación de la demanda previstas, no tendrían capacidad suficiente para asumir el tráfico actual, que se vería abocado previsiblemente a una importante congestión. Esta circunstancia no inhabilita, a nuestro juicio, a estas opciones, sino que las potenciaría más bien, al sugerir la necesidad de reducir, restringir y reasignar itinerarios y tráfico si verdaderamente se quiere conseguir un transporte público eficiente, ambiental y logísticamente.

8º. Si la comparación de escenarios sugiere, por tanto, que la calidad ambiental dependerá en buena medida de aquel escenario que incida más en la organización física de la ciudad, parece lógico pensar que el escenario E (subterráneo+bus-bici-peatón) es el que ofrece más ventajas y posibilidades: conjugación urbanística en superficie, mayor diversidad de modos de movilidad, mayor eficiencia superficial y mayor fiabilidad del metro ligero subterráneo. Consiguientemente, este escenario podría contribuir progresivamente, con una adecuada gestión complementaria de la movilidad, a una más intensa regeneración del medio ambiente urbano, ya que estratégicamente permite muchas más opciones para una gestión integral de la movilidad y la calidad ambiental.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

(CE) van Essen, H, Bello, O., Dings, J., y van den Brink, R. (2003). “To shift or not to shift, that’s the question: The environmental performance of freight and passenger transport modes in the light of policy making”. Delft CE. Holanda.

Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. (2000). “Informe de Medio Ambiente 2000”.Sevilla.

De la Hoz, C y Pozueta, J. (1989): “Recomendaciones para el diseño de glorietas en carreteras urbanas”. Comunidad de Madrid (Recogido en Manchón, L.F. y Santamera, J.A, 2000).

Rubio, J. (1993): “Carreteras Urbanas”. Ministerio de Obras Públicas y Transportes.

Directiva 96/62/CE del Consejo de 27 de septiembre sobre Evaluación y Gestión de la Calidad del Aire Ambiente

Directiva 1999/30/CE relativa a los valores límite de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno, partículas y plomo en el aire ambiente

EGMASA (1998). “Estudio Piloto de la Contaminación Atmosférica en Granada”. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. No publicado.

Hernández del Águila, Cifuentes Vélez, E., Juárez Alcázar, E., López Galán, J.S., López Gómez, J., y Morales Bailón, B.E. (2003). “La Agenda 21 Local de Granada: Pensar y participar en la construcción de una ciudad más sostenible”. Ayuntamiento de Granada, Delegación de Medio Ambiente, Salud y Consumo. Granada.

Hickman, A.J. (1999): “Methodology for calculating transport emissions and energy consumption”. Transport Research Laboratory.

(INFRAS) Maibach, M., Schenkel, P., Peter, D., y Gehrig, S. (1997). „Environmental indicators in transport: Measures for ecological comparisons between various means of transports”. Infrass. Zurich. Suiza.

Instituto de Estudios Sociales de Andalucía.(2003), “Ecobarómetro 2003”. Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. Sevilla.

Leeuwen, H.(2003): “Noise emisión of Light-Rail Vehicles”, Proc. Euronoise 2003.

Ley 7/1994 de Protección Ambiental de Andalucía

Mandula, J. et al. (2002): “Prediction of noise from trams”. Applied Acoustics, 63 (2002), 373-389.

INFORME SOBRE EL METRO LIGERO DE GRANADA

ANEXO 3: LAS OPORTUNIDADES URBANÍSTICAS DE LA LÍNEA METROPOLITANA N-S SOBRE EL SOTERRAMIENTO DEL TRAMO CENTRAL



C.2. LA SECCIÓN COMPUESTA DEL CAMINO DE RONDA.

C.3. LA CIRCULACIÓN TRANSVERSAL.

C.4. EL NUEVO PASEO DE LA VIRGEN.

- C.2-. LA SECCIÓN COMPUESTA DEL CAMINO DE RONDA.
- C.3-. LA CIRCULACIÓN TRANSVERSAL.
- C.4-. UN NUEVO PASEO DE LA VIRGEN EN C. DE RONDA.

En el plano C.2.1 se representan las anchuras del Camino de Ronda, oscilando, a veces en tramos muy cortos, entre 24 y 38 metros. Sólo este dato orienta a estudiar con sumo cuidado la gestión circulatoria de esta calle; pero si atendemos al plano C.2.0 que evidencia la grandísima concentración en su entorno de población y actividades económicas- se ha hecho un esfuerzo importante para sintetizar esta información, habiéndose contado con datos proporcionados por el Ayuntamiento de Granada y la Cámara de Comercio-, puede verse que esta fuerte frontalidad de la ciudad al Oeste, en el Camino de Ronda, cuenta con otras dos calles paralelas y próximas, Arabial y Pedro A. de Alarcón, distantes tan sólo 180 metros, y que las tres calles deben ser consideradas en conjunto, unitariamente. Así, se presentan las anchuras sumadas de las tres calles próximas como si de una sola se tratase, pudiendo observarse una banda de variación de tal anchura entre 50 y 80 metros.

Resulta evidente que la capacidad del eje norte-sur está condicionada por sus secciones más estrechas y que el número total de carriles de circulación podría ser el de los que se puedan encajar en aquellas secciones más estrechas, las de 50 metros, pudiendo variar longitudinalmente a lo largo de los diversos tramos de una calle pero manteniéndose constante, cuando consideramos las tres calles, en número de 4 en cada sentido, véase plano C.2.2; añadiéndose a las anchuras destinadas a la circulación cuando la sección total es más ancha que la mínima, las destinadas a aceras, mediana separadora entre circulaciones de diferente sentido en una misma calle, los espacios de aparcamientos de rotación y ligados a la residencia, en horas nocturnas y festivos, carga y descarga, paradas de taxis y de autobuses.....

Ello supone una capacidad de unos 7000 vehículos/hora, es decir, alrededor de 10000 personas/hora en ambos sentidos; a grandes rasgos, podría decirse que los automóviles conducirán, a sección llena, una cifra de viajeros del orden de la que viajará en el metro ligero.

El plano C.4 lleva al extremo polémico este argumento de la sección conjunta, apoyándose en el hecho de que las secciones de Camino de Ronda y Arabial coinciden, en sus secciones más anchas, en el tramo comprendido entre Obispo Hurtado y Virgen Blanca, lo que nos hace proponer- entiéndase bien, como idea provocadora pero posible- un nuevo Paseo de la Virgen- todas sus dimensiones son similares al de las Angustias, entre Puerta Real y el Salón, como antesala del parque García Lorca al Oeste y como arranque de las calles que conducen, hacia el este, a las plazas y a los monumentos del centro.

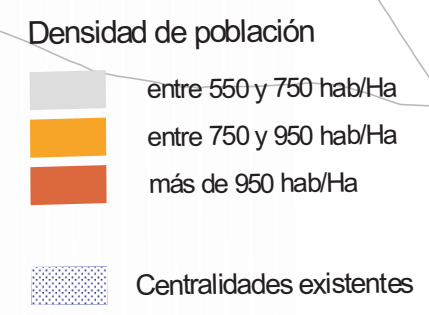
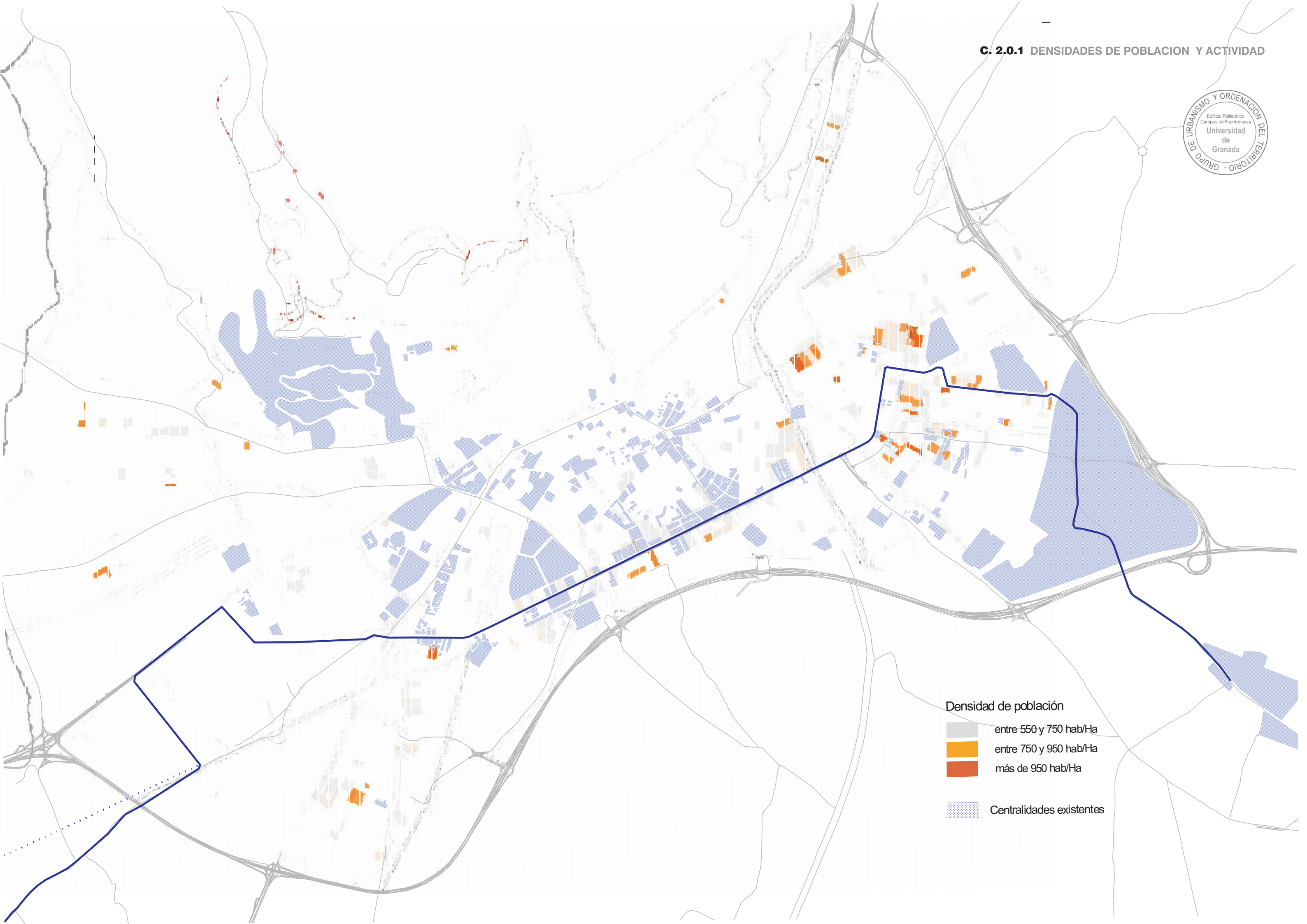
Por otra parte resulta muy sugerente, en este ámbito de razonamiento, atender a ciertos estrangulamientos que tiene la red viaria de Granada en el entorno del eje central y cuya solución mejoraría notablemente la eficiencia de dicho eje; las acciones correctoras se apuntan detalladamente en el plano 2.3 y casi todas ellas están recogidas por el PGOU de Granada: Se trataría de darles prioridad y ligarlas como inversiones paralelas a la construcción del metro ligero. Incluso podrían formar parte de un bloque de obras previo a dicha construcción, que disminuirían notablemente las molestias de las obras del metro ligero, ganando, así, un tiempo de espera para una más cuidadosa redacción del proyecto constructivo- análisis geotécnicos si ha de haber tramos soterrados....- de la primera línea metropolitana.

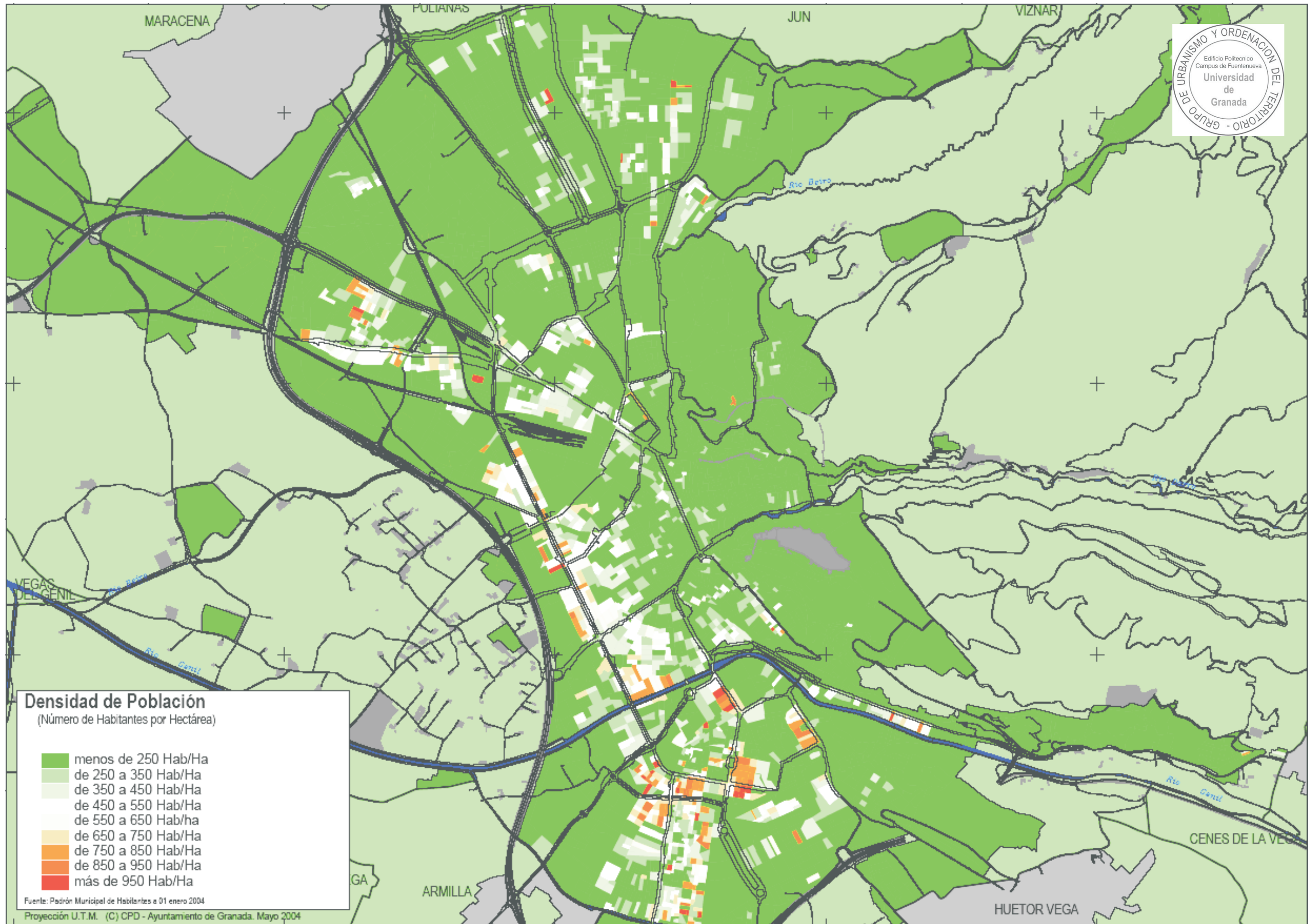
Los planos C.3.1 y C.3.2 describen los flujos transversales a la dirección norte-sur, con sus sentidos de circulación y sus giros, minimizando los giros a la izquierda para no afectar demasiado a la capacidad; es evidente que todos los viajes con origen o destino el centro de Granada, que atraviesan alguna o las tres calles del eje, interfieren con los flujos longitudinales. Esta interferencia puede resolverse repartiendo el tiempo verde de los ciclos semafóricos entre las dos corrientes de tráfico, dando preferencia, constante o variable, según las horas, a unos u otros sentidos y direcciones de circulación.

En cualquier caso, es innegable la importancia de este argumento respecto al impacto de la opción de metro ligero superficial en la accesibilidad general de la ciudad, toda vez que o se resta tiempo de verde al metro ligero para que circulen los movimientos transversales o se les reduce el tiempo a estos, de manera que no se puede olvidar este conflicto en la toma de decisiones.

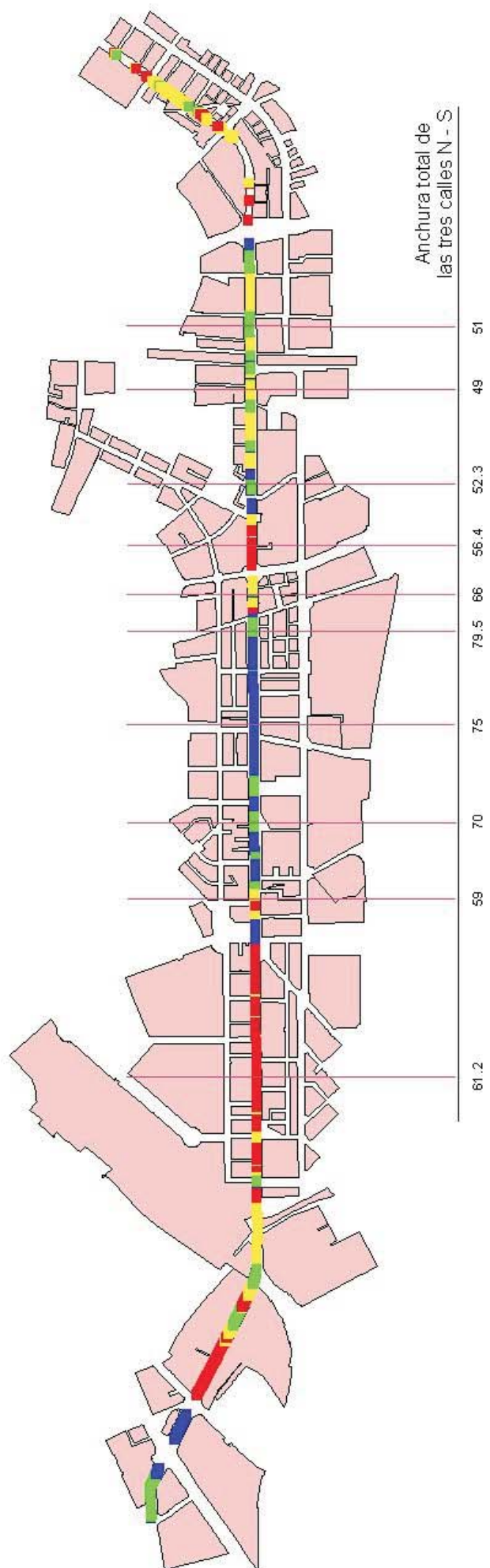
A este respecto, que la movilidad transversal y los giros, se produjesen como pasos inferiores transversales al camino de Ronda, no sería una solución adecuada a este conflicto por cuanto aumentarían considerablemente las barreras a la circulación peatonal y desvalorizarían la escena urbana.

C. 2.0.1 DENSIDADES DE POBLACION Y ACTIVIDAD

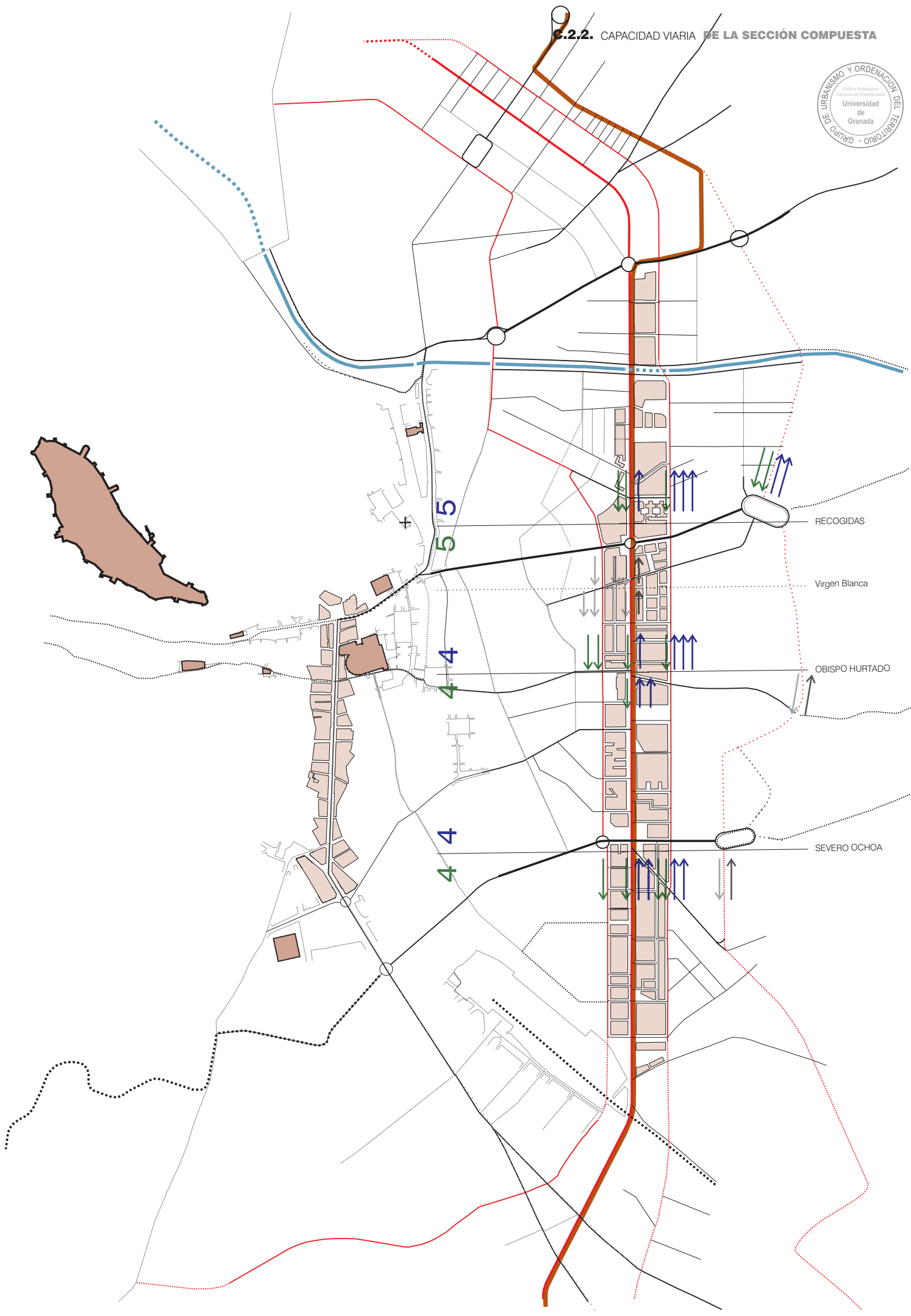




C.2.1. LAS ANCHURAS DEL CAMINO DE RONDA Y LAS CALLES PARALELAS.



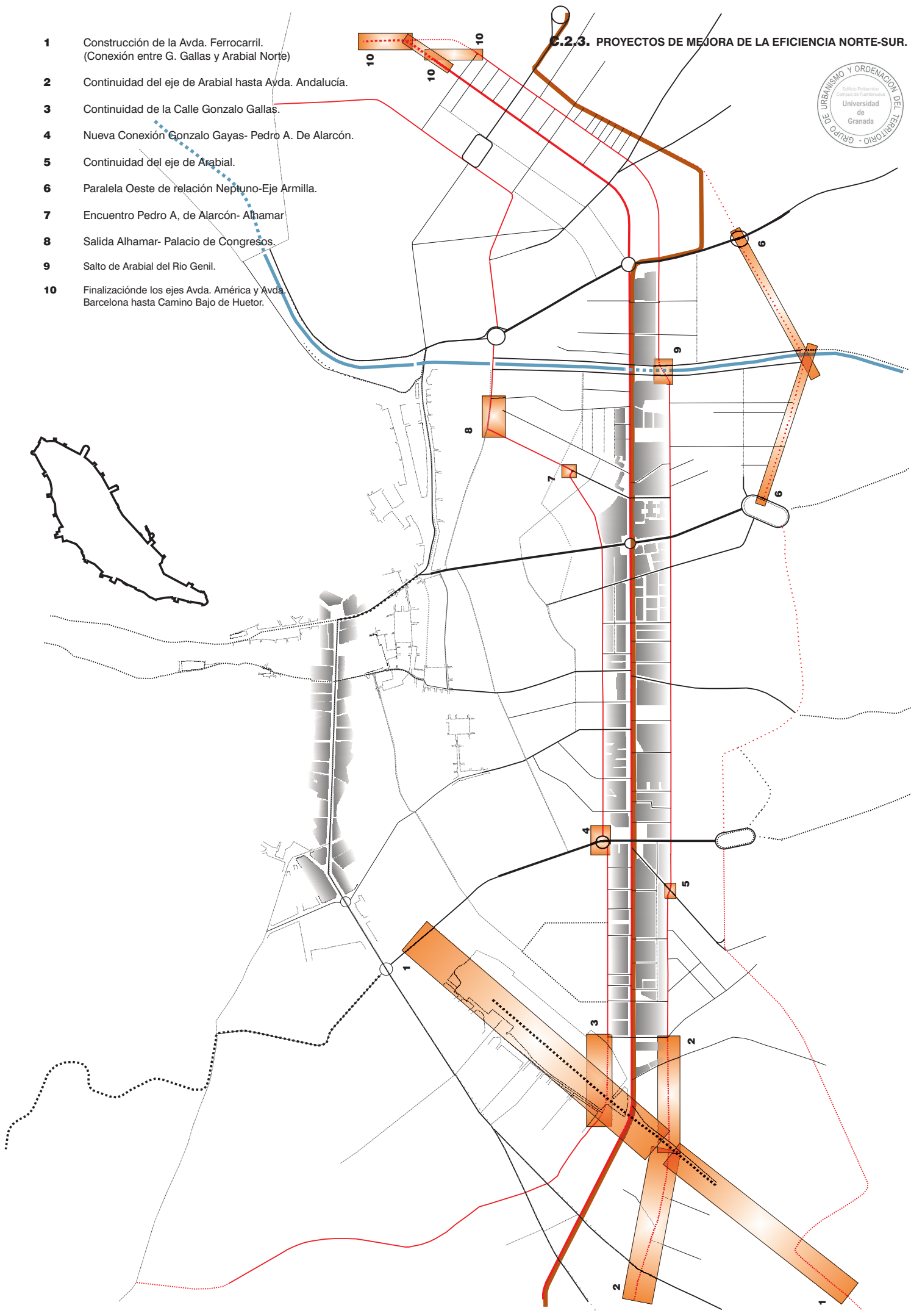
2.2.2. CAPACIDAD VIARIA DE LA SECCIÓN COMPUESTA



C.2.3. PROYECTOS DE MEJORA DE LA EFICIENCIA NORTE-SUR.

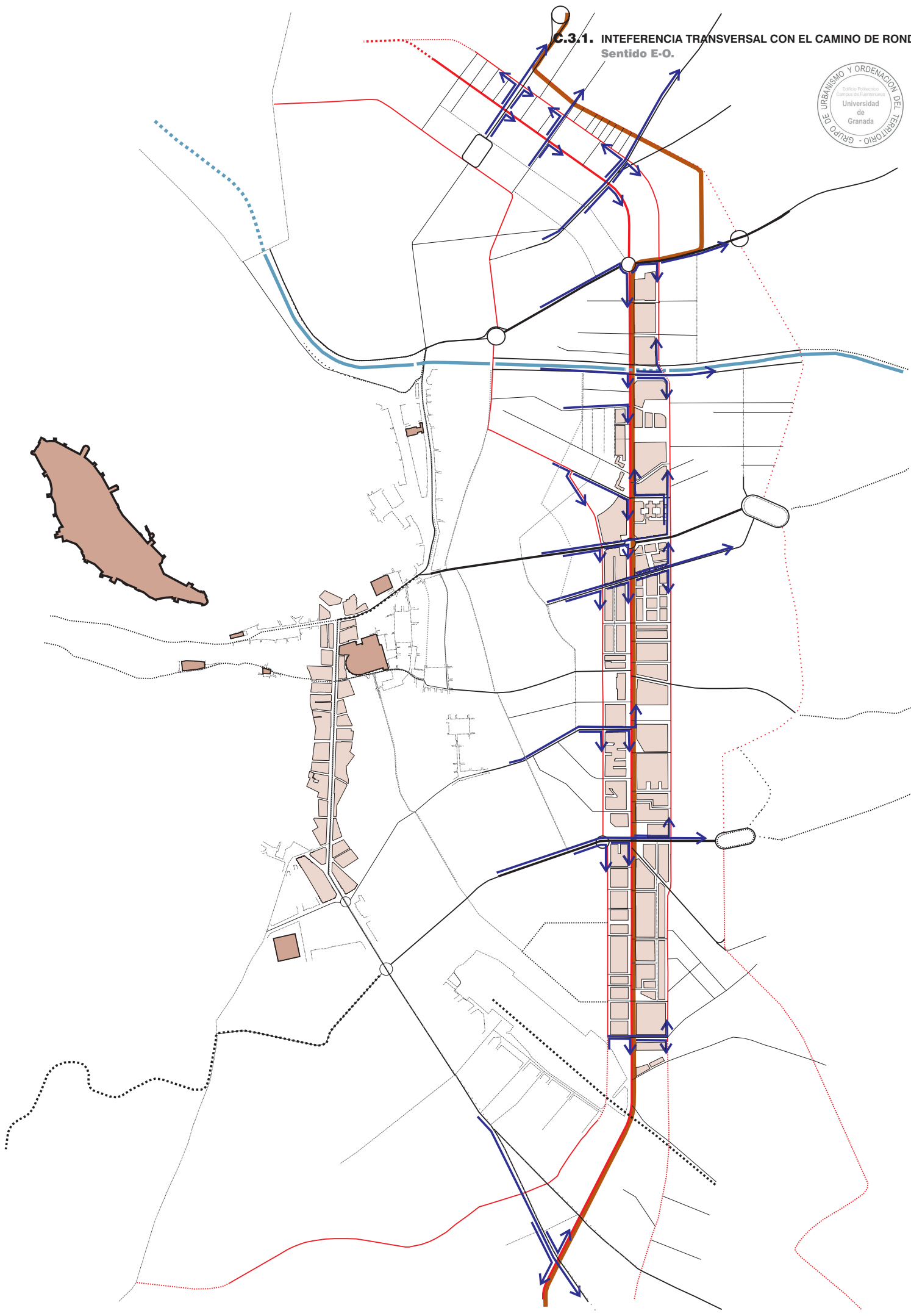


- 1 Construcción de la Avda. Ferrocarril.
(Conexión entre G. Gallas y Arabial Norte)
- 2 Continuidad del eje de Arabial hasta Ayda. Andalucía.
- 3 Continuidad de la Calle Gonzalo Gallas.
- 4 Nueva Conexión Gonzalo Gayas- Pedro A. De Alarcón.
- 5 Continuidad del eje de Arabial.
- 6 Paralela Oeste de relación Neptuno-Eje Armilla.
- 7 Encuentro Pedro A, de Alarcón- Alhamar
- 8 Salida Alhamar- Palacio de Congresos.
- 9 Salto de Arabial del Rio Genil.
- 10 Finalizaciónde los ejes Avda. América y Avda. Barcelona hasta Camino Bajo de Huetor.

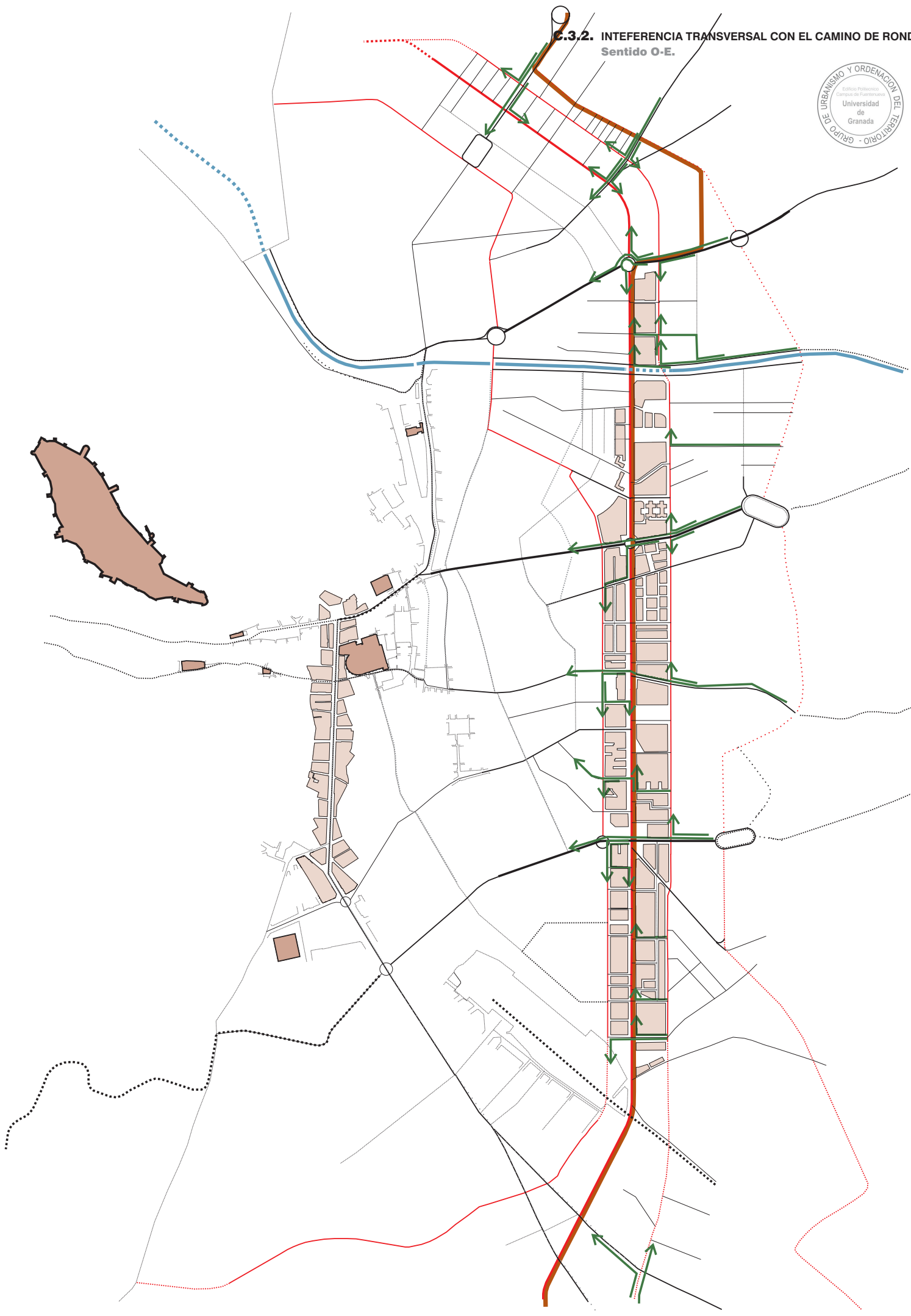


C.3.1. INTEFERENCIA TRANSVERSAL CON EL CAMINO DE RONDA.

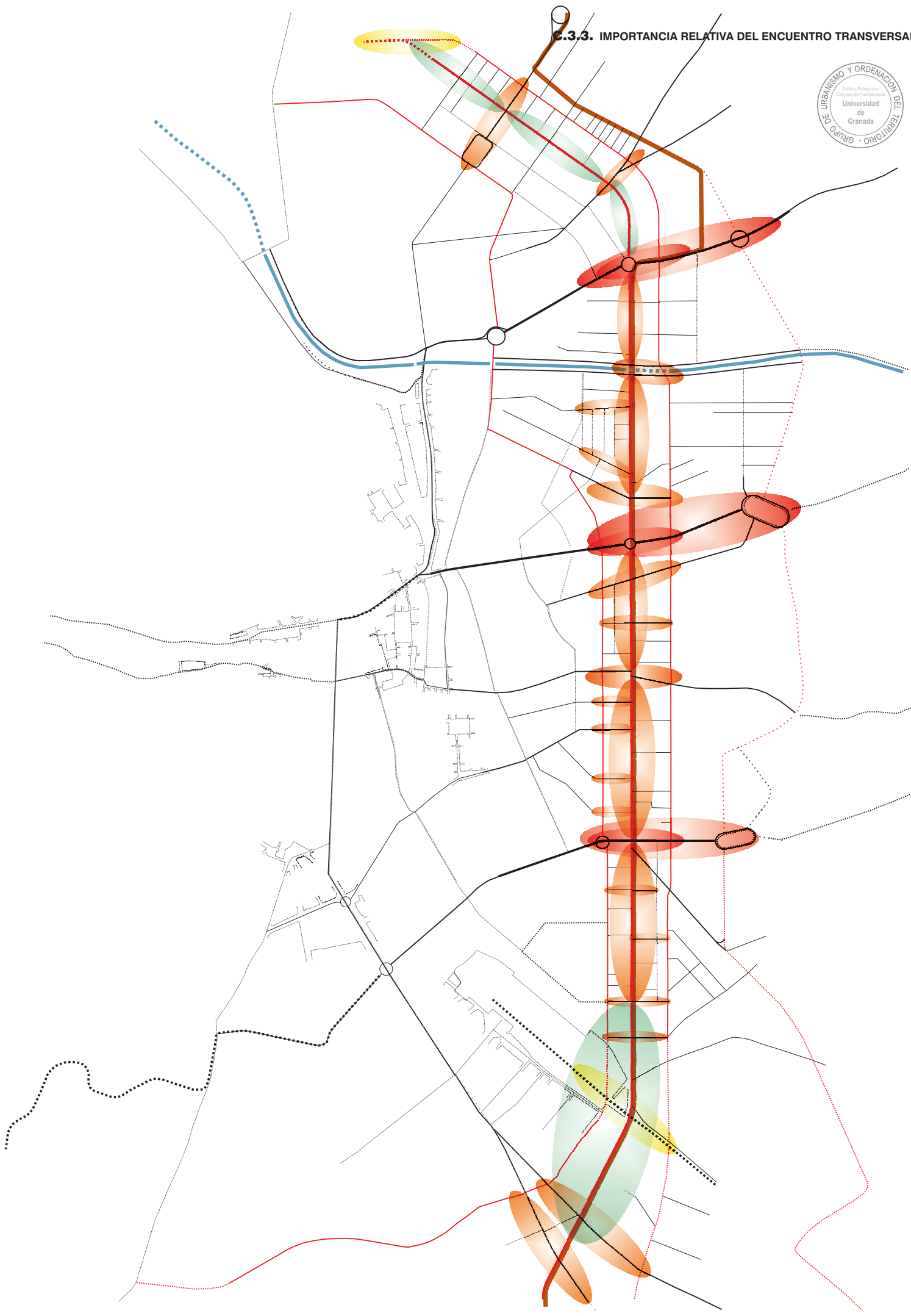
Sentido E-O.



C.3.2. INTEFERENCIA TRANSVERSAL CON EL CAMINO DE RONDA.
Sentido O-E.



C.3.3. IMPORTANCIA RELATIVA DEL ENCUENTRO TRANSVERSAL.



C.4. UN PASEO PEATONAL EN UN TRAMO DEL CAMINO DE RONDA: NUEVO PASEO DE LA VIRGEN.

ESCALA: 1/2000

