Monografías
EnerTrans

Monografía 7

Incrementos de recorrido en el transporte por longitud de caminos, operación y gestión

Increase in distance covered in the transport sector due to length of routes, operation and managemen

Alberto Cillero Hernández
Paula Bouzada Outeda
Alberto García Álvarez
Mª del Pilar Martín Cañizares

Incremento de recorrido en el transporte por longitud de caminos, operación y gestión

Increase in distance covered in the transport sector by length of routes, operation and management

Alberto Cillero Hernández - ALSA

Paula Bouzada Outeda - ALSA

Alberto García Álvarez - Fundación de los Ferrocarriles Españoles

Mª del Pilar Martín Cañizares - Fundación de los Ferrocarriles Españoles

http://www.enertrans.es

© Alberto Cillero Hernández, Paula Bouzada Outeda, Alberto García Álvarez, Mª del Pilar Martín Cañizares

© De esta edición, Grupo Gestor del Proyecto EnerTrans, 2008

ISBN: 978-84-89649-30-9

Depósito Legal: M-13486-2009

Esta monografía ha sido redactada por sus autores en el marco del Proyecto de Investigacion ***"Desarrollo de un modelo de cálculo y predicción de los consumos energéticos y emsión del sistema de transporte que permita valorar la sensibilidad de los consumos a las decisiones de inversión en infraestructura y de política de transporte" (EnerTrans)***.

El proyecto ***EnerTrans*** ha sido desarrollado por los siguientes organismos: Fundación de los Ferrocarriles Españoles, Universidad Pontificia Comillas de Madrid, Universidad Politécnica de Madrid-INSIA; Universidad de Castilla-La Mancha; ALSA; Fundación General de la Universidad Autónoma de Madrid; Fundación "Agustín de Betancourt"; Fundación Universidad de Oviedo.

El proyecto ***EnerTrans*** contó con una ayuda económica del Centro de Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) dentro de su primer programa de ayudas (2006).

El proyecto ***EnerTrans*** estuvo dirigido por su invesigador principal Alberto García Álvarez con el apoyo de un "Comité Cientifico" del que formaron parte las siguientes personas: Alberto García Álvarez (Fundación de los Ferrocarriles Españoles); Ignacio Pérez Arriaga y Eduardo Pilo de la Fuente (Universidad Pontificia Comillas de Madrid); Jose María López Martínez (Universidad Politécnica de Madrid-INSIA); Alberto Cillero Hernández y Carlos Acha Ledesma (ALSA); Timoteo Martínez Aguado y Aurora Ruiz Rúa (Universidad de Castilla-La Mancha); José Miguel Rodríguez Antón y Luis Rubio Andrada (Fundación General de la Universidad Autónoma de Madrid); Manuel Cegarra Plané (Fundación "Agustín de Betancourt") y Rosa Isabel Aza y José Franciso Baños Pino (Fundación Universidad de Oviedo). El coordinador del proyecto por parte del CEDEX fue Antonio Sánchez Trujillano.

*The aim of the **EnerTrans** research project is to obtain an accurate model to find out the energy consumption (and associated emissions) of the Spanish transport system, according to the important variables on which it depends, and thereby avoid the need to extrapolate historical data series calculated with various methodologies in the European sphere for each mode of transport. The participants include various universities and foundations linked to different modes of transport: Fundación de los Ferrocarriles Españoles, Universidad Politécnica de Madrid-INSIA, Universidad de Castilla-La Mancha, ALSA, Universidad Pontificia de Comillas de Madrid, Fundación General de la Universidad Autónoma de Madrid, Fundación Agustín de Betancourt and Fundación Universidad de Oviedo.*

The project has involved constructing a model which can be used to explain and predict energy consumption (and associated emissions) in the Spanish transport system, using a coherent methodology for all modes, considering all energy utilizations (construction, operation, maintenance, movement) and the whole energy cycle from source to final use, thus allowing the effects of the results of infrastructure or transport policy to be anticipated and evaluated. As a secondary objective, the project will permit assessment of the impact of any type of technical or operational measure aimed at reducing this energy consumption, which will be useful for transport operators.

It includes innovations such as taking into consideration different routes between the same points for each one of the different modes of transport, or separating consumption from load or space utilization coefficients.

The published documents corresponding to the EnerTrans project fall into three categories: Monographs, Articles and Technical notes.

CEDEX CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS

MINISTERIO DE FOMENTO

Con la subvención del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (Ministerio de Fomento), número de proyecto PT-2006-006-01IASM.

ÍNDICE

ÍNDICE 3

0. RESUMEN Y CONCLUSIONES 5

1. INTRODUCCIÓN 8
   1.1. Objeto 8
   1.2. Terminología 9

2. INCIDENCIA DE LAS DIFERENCIAS DE DISTANCIAS RECORRIDAS 10
   2.1. Causas de las diferencias de distancias recorridas 10
      2.1.1 Diferencias debidas a la diferente longitud de los caminos 10
      2.1.2 Diferencias debidas a factores de operación y gestión 11
   2.2. Corrección de la incidencia de la variación de recorrido 11
      2.2.1 Coeficiente de trayectoria 13
      2.2.2 Coeficiente de centralidad de terminales 14
      2.2.3 Constante de accesibilidad y dispersión modal 14

3. ESTIMACIÓN DE COEFICIENTES DE TRAYECTORIA, DE CENTRALIDAD DE TERMINALES Y CONSTANTE DE ACCESO EN EL ÁMBITO INTERURBANO 16
   3.1. Consideraciones previas 16
   3.2. Cálculo del *Coeficiente de trayectoria modal* en el transporte Interurbano 17
      3.2.1 Metodología de cálculo 17
      3.2.2 Autocar 20
      3.2.3 Automóvil por carretera convencional 22
      3.2.4 Automóvil por autopista de peaje 24
      3.2.5 Tren convencional de viajeros 26
      3.2.6 Tren de alta velocidad 28
      3.2.7 Tren de mercancías 30
      3.2.8 Transporte aéreo 32
      3.2.9 Transporte marítimo 35
      3.2.10 Transporte por tubería 39
   3.3. Cálculo del Coeficiente de centralidad de terminales 44
   3.4. Cálculo de la Constante modal de acceso y dispersión 46

4. COEFICIENTES DE TRAYECTORIA DE CENTRALIDAD DE TERMINALES Y CONSTANTES DE ACCESO Y DISPERSIÓN EN LOS ÁMBITOS URBANO Y METROPOLITANO 52
   4.1. Consideraciones previas 52
   4.2. Coeficiente de Trayectoria 53
   4.3. Coeficiente de centralidad de terminales 60
   4.4. Constante de Acceso y Dispersión (AD_i) 60

BIBLIOGRAFÍA 61

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS 62

0. RESUMEN Y CONCLUSIONES

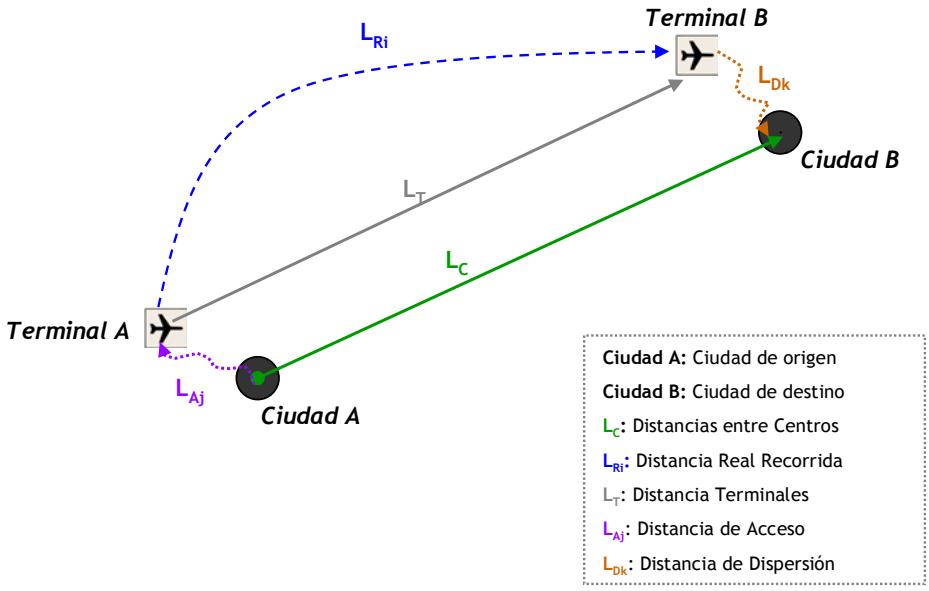
En esta Monografía, enmarcada dentro del Proyecto Enertrans, se ha llevado a cado un análisis del incremento de los recorridos que deben realizar los vehículos de realizados por los diferentes modos de transporte debidos a las diferentes trayectorias que realizan, a la centralidad de las terminales y a las distancias de acceso y dispersión de cada modo de transporte.

Partiendo de este análisis se han calculado los coeficientes y constantes que permitirán la corrección de la incidencia de los incrementos de recorridos en los consumos de los diferentes modos de transporte.

Estos coeficientes de corrección se emplearán en el desarrollo y construcción del modelo de consumos y emisiones objeto de este Proyecto.

Suponiendo dos ciudades, A y B, separadas en línea recta una distancia L_C (*Distancia entre centros de gravedad de ciudades*), y empleando el *modo de transporte i* para ir de A hacia B, puede observarse que:

Figura 1. Tipologías de distancias



Fuente: Elaboración propia

El vehículo del *modo i* recorre una distancia L_R (*Distancia Real Recorrida*) entre la Terminal de la ciudad A (Terminal A) y la Terminal de la ciudad B (Terminal B). Entre ambas terminales hay una distancia en línea recta L_T (*Distancia entre Terminales*). Entre la Terminal A y el centro de la ciudad A hay una distancia recorrida L_{Aj} recorrida en otro ***modo j*** (*Distancia de Acceso en el modo j*). Entre la Terminal B y el centro de la ciudad B hay una distancia recorrida L_{DK} recorrida en otro ***modo k*** (*Distancia de Acceso en el modo j*).

El consumo de energía de transporte para desplazarse desde la ciudad A hacia la ciudad B sería el siguiente:

$$Consumo_T = L_{Ri} \cdot Consumo_i + L_{Aji} \cdot Consumo_j + L_{Dik} \cdot Consumo_k \quad [1]$$

Donde:

ConsumoT es el consumo total de energía en el transporte de A hacia B (kWh)

LR_i es la distancia recorrida por el modo *i* (km).

$Consumo_i$ es el consumo de energía por kilómetro del modo *i* (kWh/km).

LA_{ji} es la distancia de acceso recorrida por el modo *j* para acceder al modo i (km).

$Consumo_j$ es el consumo de energía por kilómetro del modo *j* (kWh/km).

LD_{ik} es la distancia recorrida por el modo *k* para dispersarse desde el modo i (km).

$Consumo_k$ es el consumo de energía por kilómetro del modo *k* (kWh/km).

La distancia L_{Ri} se puede expresar como:

$$L_{Ri} = L_C \cdot \frac{L_{Ri}}{L_{Ti}} \cdot \frac{L_{Ti}}{L_C} \quad [2]$$

Donde:

L_{Ri} es la distancia real del recorrido del el modo *i* (km).

L_C *(Distancia entre Centros)* es la distancia en línea recta entre los centros de gravedad de A y B (km).

L_{Ti} *(Distancia entre Terminales)* es la distancia en línea recta entre las terminales de A y B (km) que denominaremos "*desplazamiento*".

Si denominamos *Coeficiente de Trayectoria* (CT_i) al cociente $\frac{L_{Ri}}{L_{Ti}}$, y *Coeficiente de Centralidad de Terminales* (CC_i) al cociente $\frac{L_{Ti}}{L_C}$, la ecuación anterior quedaría de la forma:

$$L_{Ri} = L_C \cdot CT_i \cdot CC_i \quad [3]$$

Por lo tanto, la ecuación de consumo quedaría de la siguiente forma:

$$Consumo_T = L_C \cdot CT_i \cdot CC_i \cdot Consumo_i + L_{Aj} \cdot Consumo_j + L_{Dk} \cdot Consumo_k \quad [4]$$

Donde:

$Consumo_T$ es el consumo total de energía en el transporte desde el centro de gravedad de A hasta el de B (kWh)

L_C es la distancia en línea recta entre los centros de A y B (km).

CT_i es el coeficiente de Trayectoria del modo *i*. $CT_i = \frac{L_{Ri}}{L_{Ti}}$

CC_i es el coeficiente de Centralidad de Terminales del modo *i*. $CC_i = \frac{L_{Ti}}{L_C}$

L_{Ri} es la distancia recorrida por el modo *i* (km).

$Consumo_i$ es el consumo de energía del modo *i* por km (kWh/km).

L_{Aj} es la distancia de acceso hasta la terminal del modo *i* recorrida por el modo *j* (km).

$Consumo_j$ es el consumo de energía del modo de acceso *j* por km (kWh/km).

L_{Dk} es la distancia de dispersión desde la terminal del modo i recorrida por el modo k (km).

$Consumo_k$ es el consumo de energía del modo *k* por km (kWh/km).

A continuación se presenta el resumen de los coeficientes y las constantes obtenidas para cada uno de los modos de transporte analizados, en el ámbito urbano y metropolitano, y en el ámbito interurbano.

Tabla 1. Resumen de los coeficientes y constantes de corrección del incremento del recorrido por longitud de caminos, operación y gestión.

	Transporte Interurbano						
	Coeficiente de Trayectoria (CT_i)					Coeficiente de Centralidad de Terminales	Distancia de Acceso y Dispersión
	CT^P_i por tipo de movilidad interurbana						
	$CT^P_{Inter\ 1}$	$CT^P_{Inter\ 2}$	$CT^P_{Inter\ 3}$	$CT^P_{Inter\ 4}$	$CT^P_{Inter\ 5}$	CC^P_i	L^P_{AD} (km)
Autocar	1,259	1,290	1,311	1,321	-	1,000	4,196
Turismo convencional	1,234	1,257	1,268	1,241	-	1,000	0,000
Turismo autopista peaje	1,230	1,257	1,271	1,254	-	1,000	0,000
Ferrocarril convencional	1,280	1,391	1,453	1,389	-	1,000	4,016
Ferrocarril AV	1,234	1,229	1,234	1,296	-	1,000	3,804
Ferrocarril Mercancías	1,149	1,361	1,486	1,428	-	1,000	20,582
Avión	1,277	1,098	1,044	1,037	1,093	1,005	26,372
Barco "Norte-Norte" ó "Sur-Sur"	1,246	1,163	1,133	1,302	1,076	1,000	13,608
Barco "Norte-Sur" ó "Sur-Norte"	-	-	5,935	3,629	1,076	1,000	13,608
Gasoducto	1,172	1,950	1,215	1,258	-	1,000	0,000
Oleoducto	1,134	1,151	1,165	1,197	-	1,000	0,000

	Transporte Urbano y Metropolitano						
	Coeficiente de Trayectoria (CT_i)					Coeficiente de Centralidad de Terminales	Distancia de Acceso y Dispersión
	CT^P_i por tipo de movilidad urbana y metrop.						
	$CT^P_{Urb\ 1}$	$CT^P_{Urb\ 2}$	$CT^P_{Urb\ 3}$	$CT^P_{Urb\ 4}$	$CT^P_{Urb\ 5}$	CC^P_i	L^P_{AD} (km)
Autobús	1,386	1,338	1,271	1,229	1,229	1,000	0,000
Turismo	1,425	1,511	1,554	1,554	1,554	1,000	0,000
Tren	1,494	1,407	1,283	1,203	1,203	1,000	0,000

Fuente: Elaboración propia

1. INTRODUCCIÓN

En la Monografía Enertrans, titulada "Criterios de métrica y estandarización de los consumos y emisiones en el transporte[1]", se presenta una reflexión sobre la metodología a emplear para la homogenización de los consumos de energía y emisiones, teniendo en cuenta aspectos como la capacidad real y capacidad equivalente de los vehículos, los recorridos vacíos, la altitud, etc.

Ahora bien, debido a la entidad cuantitativa de la incidencia en el consumo de las diferencias de recorrido realizado en los diferentes modos de transporte, se elabora esta Monografía dedicada específicamente a este análisis, que continúa y complementa la monografía mencionada anteriormente.

1.1. Objeto

El objeto principal del conjunto de estas dos monografías es definir una metodología homogénea para la evaluación y normalización de los consumos de energía y emisiones en el transporte, de forma que se pueda comparar de forma objetiva los diferentes modos de transporte.

En particular, se busca alcanzar en ellas los siguientes objetivos:

1. Establecer unos procesos y una terminología estandarizada y horizontal: Válida para el transporte de viajeros y mercancías, válida para los diferentes modos de transporte y también válida para los diferentes tipos de consumos: eléctrico y carburantes.
2. Permitir comparaciones y efectuar equivalencias sin sesgos en los consumos y emisiones.
3. Tomar como referencia de base e integrar en el análisis, las diferentes normas y estándares ya existentes en el ámbito de la medición objetiva de consumos y emisiones.
4. Analizar desde una perspectiva metodológica la problemática derivada de la incidencia de la variación de recorridos en el consumo energético.
5. Diferenciar el efecto derivado de dos tipos de factores, complementarios entre sí, pero distintos en la capacidad real existente para actuar sobre ellos: las variaciones debidas a la longitud de los caminos y las variaciones inducidas por factores de operación o gestión en cada modo.
6. Analizar diferencias relativas al tipo de movilidad (interurbana, metropolitana y urbana), generando un sistema de coeficientes relativos basados en una muestra piloto.
7. Analizar la influencia de la altitud de la operación aérea.
8. Considerar el efecto en el consumo global de los movimientos en vacío.

[1]Cillero, A., Bouzada, P., García Álvarez, A., y Martín Cañizares, M.del P. (2008): "Criterios y Métrica de estandarización de los consumos y emisiones en el transporte". Monografía EnerTrans/6.

9. Aproximar una serie de indicadores y coeficientes necesarios para la posterior modelización de un amplio abanico de desplazamientos-tipo, tanto en el transporte de viajeros como de mercancías.

1.2. Terminología

La estandarización de los consumos y emisiones en el transporte sugiere la definición de unos términos científicamente correctos, entendibles y homogéneos, válidos para los procesos energéticos como para todos los modos de transporte; así como de unas unidades y de las equivalencias entre ellas.

A continuación se definen los términos empleados en este documento:

- ***Coeficiente de trayectoria (CT_i):*** cociente entre la trayectoria recorrida por un modo de transporte (distancia real recorrida) y el desplazamiento entre las terminales de origen y final del viaje (distancia en línea recta entre terminales). Dentro de un ámbito geográfico, y para un mismo modo de transporte, se definen dos Coeficientes de Trayectoria:
- ***Coeficiente de trayectoria estático*** (CT^E_i) calculado como la media aritmética de los CT_i de todos los orígenes-destino de un ámbito geográfico.
- ***Coeficiente de trayectoria ponderado*** (CT^P_i) calculado como la media de los CT_i ponderada por el tráfico de cada ruta.
- **Coeficiente de centralidad de terminales (CC_i):** cociente entre el desplazamiento entre las terminales de un modo de transporte i (distancia en línea recta entre terminales) y la distancia en línea recta entre los "centros de gravedad" de las ciudades correspondientes.
- **Constante de accesibilidad y dispersión modal** (**AD**): Sumando de la función de consumo que incluye tanto el consumo debido al transporte desde el origen de los viajeros hasta las terminales de origen, como el consumo debido al transporte desde las terminales de destino hasta el destino final de los viajeros.

2. INCIDENCIA DE LAS DIFERENCIAS DE DISTANCIAS RECORRIDAS

Dos vehículos de sendos modos de transporte, o dos vehículos dentro del mismo modo, al dirigirse a un mismo destino desde un mismo punto de origen, pueden desplazarse por itinerarios diferentes, en función de determinadas restricciones o, incluso, de diversas preferencias.

Esta diferencia de longitud entre ambos itinerarios, se traduce en que, con un mismo origen y destino, uno de los vehículos recorra un mayor número de kilómetros que el otro. Aunque ambos vehículos tuviesen un consumo por kilómetro similar, al recorrer un diferente número de kilómetros, el consumo total sería mayor en aquel que realice un mayor recorrido real.

Por ello, al homogeneizar los consumos y emisiones en el transporte es fundamental tener en cuenta la diferencia en el recorrido realizado por los diferentes modos de transporte.

2.1. Causas de las diferencias de distancias recorridas

La variación en la distancia real recorrida por diferentes modos o vehículos entre dos puntos puede ser debida a varios motivos:

2.1.1 Diferencias debidas a la diferente longitud de los caminos

Las variaciones en la longitud de los caminos son diferencias existentes en la distancia recorrida sobre trayectos coincidentes según el modo utilizado, y está relacionada directamente con las infraestructuras disponibles: carreteras, autopistas, vías ferroviarias, rutas aéreas, etc.

En el ámbito urbano, y determinados viarios interurbanos, estas limitaciones también pueden estar asociadas con el paso de vehículos por determinadas vías: por gálibo, exceso de peso, ruido, sentidos únicos de circulación, etc.

Cada operador conoce con exactitud cuáles son los kilómetros realizados por sus vehículos a través de las infraestructuras existentes, aunque en muchos casos, sería necesario efectuar mediciones reales sobre el terreno.

2.1.2 Diferencias debidas a factores de operación y gestión

Los vehículos de cada modo de transporte, e incluso de cada operador, pueden seguir diferentes itinerarios en función de variables muy diversas relacionados con la operación y gestión del transporte: economía, aprovechamientos, logística, etc. Así, por ejemplo, la política de recorridos "*vacíos no comerciales*" que siga un operador puede modificar el recorrido del vehículo.

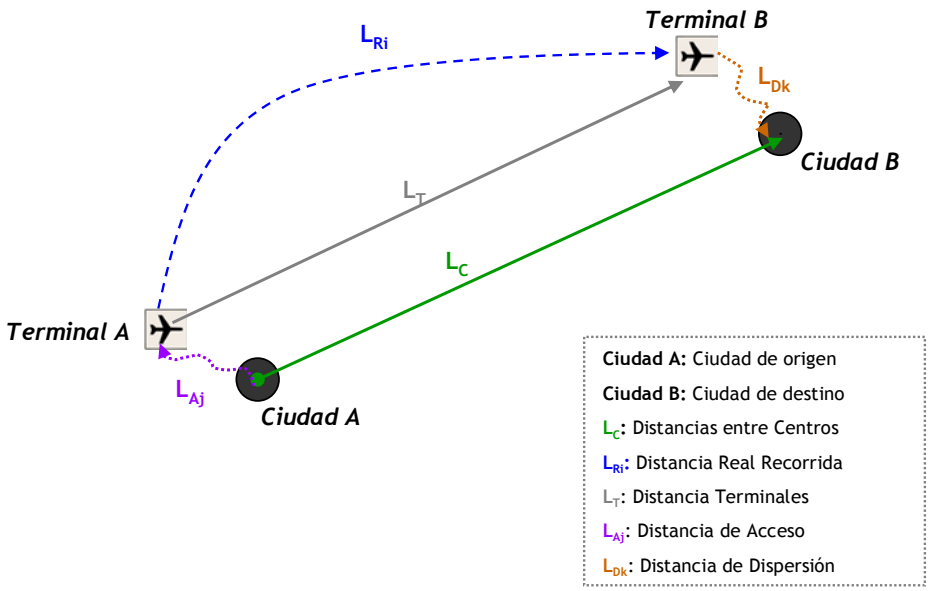
Además, en los transportes públicos entra en juego una variable añadida de tipo regulatorio, ya que existen unos itinerarios ya definidos y obligatorios en las concesiones o autorizaciones.

Por último, la ubicación física de las estaciones, paradas o terminales de carga pueden generar distorsiones en el recorrido realizado por los viajeros o la carga.

2.2. Corrección de la incidencia de la variación de recorrido

Suponiendo dos ciudades, A y B, separadas en línea recta una distancia L_C (*Distancia entre centros de gravedad de ciudades*), y empleando el *modo de transporte i* para ir de A hacia B, puede observarse que:

Figura 2. Tipologías de distancias



Fuente: Elaboración propia

El vehículo del *modo i* recorre una distancia L_R (*Distancia Real Recorrida*) entre la Terminal de la ciudad A (Terminal A) y la Terminal de la ciudad B (Terminal B). Entre ambas terminales hay una distancia en línea recta L_T (*Distancia entre Terminales*). Entre la Terminal A y el centro de la ciudad A hay una distancia recorrida L_{Aj} recorrida en otro ***modo j*** (*Distancia de Acceso en el modo j*). Entre la Terminal B y el centro de la ciudad B hay una distancia recorrida L_{DK} recorrida en otro ***modo k*** (*Distancia de Acceso en el modo j*).

El consumo de energía de transporte para desplazarse desde la ciudad A hacia la ciudad B sería el siguiente:

$$Consumo_T = L_{Ri} \cdot Consumo_i + L_{Aji} \cdot Consumo_j + L_{Dik} \cdot Consumo_k \quad [5]$$

Donde:

ConsumoT es el consumo total de energía en el transporte de A hacia B (kWh)

LRi es la distancia recorrida por el modo *i* (km).

Consumoi es el consumo de energía por kilómetro del modo *i* (kWh/km).

LAji es la distancia de acceso recorrida por el modo *j* para acceder al modo i (km).

Consumoj es el consumo de energía por kilómetro del modo *j* (kWh/km).

LDik es la distancia recorrida por el modo *k* para dispersarse desde el modo i (km).

Consumok es el consumo de energía por kilómetro del modo *k* (kWh/km).

La distancia L_{Ri} se puede expresar como:

$$L_{Ri} = L_C \cdot \frac{L_{Ri}}{L_{Ti}} \cdot \frac{L_{Ti}}{L_C} \quad [6]$$

Donde:

L_{Ri} es la distancia real del recorrido del el modo *i* (km).

L_C *(Distancia entre Centros)* es la distancia en línea recta entre los centros de gravedad de A y B (km).

L_{Ti} *(Distancia entre Terminales)* es la distancia en línea recta entre las terminales de A y B (km) que denominaremos "*desplazamiento*".

Si denominamos *Coeficiente de Trayectoria* (CT_i) al cociente $\frac{L_{Ri}}{L_{Ti}}$, y *Coeficiente de Centralidad de Terminales* (CC_i) al cociente $\frac{L_{Ti}}{L_C}$, la ecuación anterior quedaría de la forma:

$$L_{Ri} = L_C \cdot CT_i \cdot CC_i$$

Por lo tanto, la ecuación de consumo quedaría de la siguiente forma:

$$Consumo_T = L_C \cdot CT_i \cdot CC_i \cdot Consumo_i + L_{Aj} \cdot Consumo_j + L_{Dk} \cdot Consumo_k \quad [7]$$

Donde:

$Consumo_T$ es el consumo total de energía en el transporte desde el centro de gravedad de A hasta el de B (kWh)

L_C es la distancia en línea recta entre los centros de A y B (km).

CT_i es el coeficiente de Trayectoria del modo *i*. $CT_i = \frac{L_{Ri}}{L_{Ti}}$

CC_i es el coeficiente de Centralidad de Terminales del modo *i*. $CC_i = \frac{L_{Ti}}{L_C}$

L_{Ri} es la distancia recorrida por el modo *i* (km).

$Consumo_i$ es el consumo de energía del modo *i* por km (kWh/km).

L_{Aj} es la distancia de acceso hasta la terminal del modo *i* recorrida por el modo *j* (km).

$Consumo_j$ es el consumo de energía del modo de acceso *j* por km (kWh/km).

L_{Dk} es la distancia de dispersión desde la terminal del modo i recorrida por el modo k (km).

$Consumo_k$ es el consumo de energía del modo *k* por km (kWh/km).

A modo de ejemplo, partiendo de esta ecuación, al realizar un trayecto en avión entre dos puntos, y empleando el Metro como modo de acceso en origen y el taxi como modo de dispersión en destino, el consumo total de combustible se calcularía como: [8]

$$Consumo_T = L_C \cdot CT_{avión} \cdot CC_{avión} \cdot Consumo_{avión} + L_{AMetro} \cdot Consumo_{taxi} + L_{DTaxi} \cdot Consumo_{Taxi}$$

Siendo:

$Consumo_T$ es consumo total de combustible (kWh),

L_C la distancia entre centros (km),

$CT_{avión}$ el Coeficiente de Trayectoria del avión,

$CC_{avión}$ el Coeficiente de Centralidad de Terminales del avión,

$Consumo_{Avión}$ el consumo por kilómetro del avión (kWh/km),

L_{Ametro} la distancia recorrida por el metro en el acceso (km),

$Consumo_{metro}$ el consumo por kilómetro del metro (kWh/km),

L_{Dtaxi} la distancia recorrida por el taxi en la dispersión(km), $Consumo_{taxi}$ el consumo por kilómetro del taxi (kWh/km).

2.2.1 Coeficiente de trayectoria

El que hemos llamado *Coeficiente de trayectoria* del modo i (CT_i) para un Origen-Destino determinado se calcula dividiendo la distancia real recorrida por el *desplazamiento* (distancia en línea recta):

$$CT_i = \frac{L_{Ri}}{L_{Ti}} \quad [9]$$

donde:

CT_i es el *Coeficiente de trayectoria* para el modo i ($km_{recorridos}/km_{recta}$).

L_{Ri} (*Distancia Recorrida*) es la longitud de la *trayectoria*, o distancia real recorrida por el modo i para desplazarse entre los puntos de origen y destino ($km_{recorridos}$). Esta distancia debe incluir las variaciones por la longitud de caminos y las de variaciones por factores de operación y gestión descritas en el apartado anterior.

L_{Ti} (*Distancia entre Terminales*) es la distancia en línea recta (ortodrómica) entre la Terminal del modo i en el origen y la Terminal del modo i en el destino (km_{recta}).

Este coeficiente será necesariamente igual o mayor que 1 (en la práctica siempre es mayor que 1), lo que significa que los recorridos seguidos en el viaje son siempre mayores que la distancia en línea recta entre los puntos de origen y destino del viaje.

Para calcular el CT_i en un ámbito geográfico determinado con diferentes Orígenes-Destinos hay que tener en cuenta que:

- Los vehículos de un mismo modo de transporte pueden circular, en un mismo origen y destino, por trayectos diferentes y por lo tanto con diferente distancia recorrida.

- Cada par de puntos Origen-Destino, y cada posible trayecto dentro de un mismo origen-destino, puede tener diferente tráfico de viajeros ó mercancías, y por lo tanto, distinta relevancia en el cálculo del coeficiente de trayectoria.

Por lo tanto, dentro de un mismo ámbito geográfico, y para un mismo modo i, se pueden definir dos Coeficientes de trayectoria:

- *Coeficiente de trayectoria estático* (CT^E_i) calculado como la media aritmética de los CT_i de todos los orígenes-destino de un ámbito geográfico.
- *Coeficiente de trayectoria ponderado* (CT^P_i) calculado como la media de los CT_i ponderada por el tráfico, real o potencial, de cada ruta.

2.2.2 Coeficiente de centralidad de terminales

El *Coeficiente de Centralidad de Terminales* del modo i (CC_i) para un origen-destino determinado se calcula como el cociente entre la distancia entre terminales (ortodrómica) y la distancia entre los centros de las ciudades de origen-destino (ortodrómica):

$$CC_i = \frac{L_{Ti}}{L_C} \quad [10]$$

donde:

CC_i es el Coeficiente de Centralidad de Terminales para el modo i (km/km).

L_{Ti} *(Distancia entre Terminales)* es la distancia en línea recta (ortodrómica) entre la Terminal del modo i en el origen y la Terminal del modo i en el destino (km).

L_C *(Distancia entre Centros)* es la distancia en línea recta (ortodrómica) entre los centros del origen y de destino (km).

Al igual que en el caso del Coeficiente de trayectoria, se puede calcular el Coeficiente de Centralidad de Terminales Estático (CC^E_i) y el Coeficiente de Centralidad de Terminales Ponderado (CC^P_i).

2.2.3 Constante de accesibilidad y dispersión modal

En algunos casos, especialmente en el transporte interurbano, las estaciones o centros de carga, pueden estar sustancialmente lejos del destino final de los viajeros o mercancía, y por ello deberán utilizar otro modo de transporte para trasladarse al lugar deseado. El ejemplo más claro es el de los aeropuertos, en el que los usuarios utilizan habitualmente un vehículo privado o taxi para desplazarse al mismo desde el lugar de partida, y una vez en el aeropuerto de destino, deben realizar de nuevo la misma operación.

Por lo tanto, para calcular el consumo total de energía en el transporte, es necesario tener en cuenta el consumo debido al transporte complementario de acceso desde el origen de los viajeros o mercancías hasta las terminales de origen, y el consumo debido al transporte desde las terminales de destino hasta el destino final de los viajeros/mercancías.

Partimos de la ecuación ya definida anteriormente:

$$Consumo_T = L_C \cdot CT_i \cdot CC_i \cdot Consumo_i + L_{Aji} \cdot Consumo_j + L_{Dik} \cdot Consumo_k$$

Agrupando los dos últimos términos de la ecuación, se define una *Constante de Accesibilidad y Dispersión Modal*:

$$Consumo_T = L_C \cdot CT_i \cdot CC_i \cdot Consumo_i + AD_{ijk} \quad [11]$$

Siendo:

$$AD_{ijk} = L_{Aji} \cdot Consumo_j + L_{Dik} \cdot Consumo_k \quad [12]$$

donde:

AD_{ijk} es la *Constante de Accesibilidad y Dispersión Modal* a las terminales del modo *i*, empleando los modos *j* y *k* como modos de acceso y dispersión, respectivamente (kWh). Existe una constante diferente para cada modo.

$Consumo_j$ es el consumo por kilómetro del modo *j* empleado para el acceso a la terminal o centro de carga del correspondiente modo *i*, siendo el "acceso" el desplazamiento desde el punto de inicio del viaje (kWh/km).

L_{Aji} (*Distancia de Acceso*) es la distancia recorrida por un viajero o tonelada de mercancía empleando el modo *j* para acceder a la Terminal del modo *i* desde el punto inicio del viaje (km).

$Consumo_k$ es el consumo por kilómetro del modo *k* empleado para la dispersión desde la terminal o centro de carga del correspondiente modo *i*, siendo la "dispersión" el desplazamiento hasta el punto final de destino. (kWh/km).

L_{Dik} (*Distancia de Dispersión*) es la distancia recorrida por un viajero/mercancía empleando el modo *k* para dispersarse desde la Terminal del modo *i* hasta el destino final del viaje (km).

Suponiendo que el acceso y la dispersión se realicen en el mismo modo de transporte, la constante modal se calcularía como:

$$AD_{ij} = \left(L_{Aji} + L_{Dij}\right) \cdot Consumo_j = L_{ADij} \cdot Consumo_j \quad [13]$$

donde:

AD_{ij} es la *Constante de Accesibilidad y Dispersión Modal* del modo *i*, empleando el modo *j* como modo de acceso y dispersión (kWh).

$Consumo_j$ es el consumo por kilómetro del modo *j* empleado para el acceso y la dispersión (kWh/km).

L_{ADij} (*Distancia de Acceso y Dispersión Modal*) es la suma de las distancias recorridas por un viajero/mercancía para acceder y dispersarse hacia/desde la terminal del modo *i* empleando el modo *j* (km).

Partiendo de la fórmula anterior, la Constante de Accesibilidad y Dispersión Modal para el modo avión en caso de que el viajero sólo emplee el taxi como modo de acceso y dispersión, sería:

$$AD_{AviónTaxi} = L_{AD\ AviónTaxi} \cdot Consumo_{Taxi} \quad [14]$$

Siendo $AD_{avión}$ la *Constante de Accesibilidad y Dispersión Modal del Avión* (kWh), C_{Taxi} el consumo por kilómetro del taxi (kWh/$km_{recorridos}$) y $L_{ADavión}$ la Distancia Modal de Acceso y Dispersión para el avión ($km_{recorridos}$).

3. ESTIMACIÓN DE COEFICIENTES DE TRAYECTORIA, DE CENTRALIDAD DE TERMINALES Y CONSTANTE DE ACCESO EN EL ÁMBITO INTERURBANO

En el presente capítulo se detalla el procedimiento seguido para el cálculo del Coeficiente de trayectoria modal (CT_i), del Coeficiente de Centralidad de Terminales modal (CC_i) y de la Constante de Accesibilidad y Dispersión modal (AD_i) en los transportes de ámbito interurbano, así como los resultados obtenidos.

3.1. Consideraciones previas

Para el cálculo del Coeficiente de trayectoria modal (CT_i), del Coeficiente de Centralidad de Terminales modal (CC_i) y la Constante de Accesibilidad y Dispersión modal (AD_i) en el ámbito interurbano, se han tenido en cuenta los siguientes factores:

Los vehículos públicos están sujetos a restricciones debidas a la aplicación de concesiones o autorizaciones en la línea correspondiente. Dichas concesiones obligan a los operadores a realizar una ruta determinada por un itinerario y con unas paradas y características definidas, que en muchas ocasiones no resultan ser las óptimas entre dos puntos. Las distancias reales se calculan a partir de los itinerarios resultantes de las restricciones.

Los vehículos privados, al no estar sujetos a este tipo de restricciones, pueden realizar diferentes rutas entre los mismos puntos. Para el cálculo del coeficiente de corrección se analizará la ruta óptima (más comodidad y seguridad en el menor tiempo posible), generando únicamente, en su caso, dos rutas diferentes: circulación en todos o alguno de los tramos por vías de peaje (Turismo por Autopista de Peaje), y circulación evitando las vías de pago (Turismo por Carreteras Convencionales).

Es necesario tener en cuenta, además, la ubicación de las estaciones (o, en su caso, centros de carga), ya que los usuarios de cada modo deben realizar un trayecto adicional desde el origen del viaje hasta la estación de partida correspondiente, y desde la estación de llegada hasta el destino del viaje, mediante el cálculo de la *Constante de Accesibilidad y Dispersión Modal*. Para que los resultados sean comparables y homogéneos, se supone que el viajero realiza dicho trayecto adicional, en vehículo privado o taxi, ya que son los únicos modos disponibles en todas las ciudades y hacia todas las estaciones (por ejemplo, Madrid es la única ciudad española con Metro hasta el aeropuerto).

Los Modos considerados en el ámbito interurbano son: Turismo por carretera convencional, Turismo por autopistas de peaje, Autocar en Servicio Público, Tren Alta Velocidad, Tren Convencional, Tren de mercancías, Avión, Barco, y Tubería (Oleoducto y Gasoducto).

Debido a sus peculiaridades y diferencias con el resto de modos de transporte, los coeficientes de corrección del transporte por tubería (Gasoducto y Oleoducto) se analizan de forma separada aunque empleando una metodología similar.

3.2. Cálculo del *Coeficiente de trayectoria modal* en el transporte Interurbano

3.2.1 Metodología de cálculo

La Metodología de cálculo del *Coeficiente de trayectoria modal* (CT_i) en el ámbito interurbano es el siguiente:

Se analizan, en primer lugar, los 45 trayectos resultantes de conectar las 10 capitales de provincia con mayor población censada.

Para cada uno de estos trayectos, se examinan los recorridos realizados en ocho modos diferentes: Turismo-carretera convencional, Turismo-autopistas de peaje, Autocar de servicio público, Tren de alta velocidad, Tren convencional, Tren de mercancías, Avión y Barco. En la Tabla 1 se muestran las combinaciones resultantes.

En segundo lugar, se calcula, para cada combinación de trayecto y modo, la distancia real recorrida (L_{Ri}).

Seguidamente se calcula para cada una de las rutas, las distancias en línea recta (LTi) entre las estaciones.

Para todos los modos, excepto para el avión, se ha supuesto que la distancia en línea recta entre las terminales es prácticamente igual a la distancia en línea recta entre los centros de las ciudades, ya que a excepción del avión, las terminales de los distintos modos suelen ubicarse cerca de los centros. Esta distancia en línea recta entre los centros de las ciudades se ha calculado a través de la web www.tutiempo.net.

A continuación se calcula el *Coeficiente de trayectoria modal* CT_i de cada trayecto, dividiendo L_{Ri} entre L_{Ti}.

El *Coeficiente de trayectoria Estático* (CT^E_i) se calcula como la media aritmética de todos los CT_i, y el *Coeficiente de Trayectoria Ponderado* (CT^P_i) se calcula como la media de los CT_i ponderada por el tráfico real o potencial de cada ruta.

Como no se dispone de datos de tráficos para todos los modos en todos los trayectos analizados, se ha optado, para ponderar, por emplear la suma de las poblaciones de origen y destino de cada trayecto (Tabla 2).

Representando gráficamente los CT_i de cada trayecto frente a las distancias en línea recta (L_T), se obtiene una curva de regresión y la ecuación que mejor se ajusta a dicha curva.

Empleando la ecuación obtenida, se calcula, para cada uno de los tipos de movilidad definidos en la Monografía 6 del Proyecto Enertrans ("Criterios de Métrica y Estandarización de los consumos y emisiones en el Transporte"; Alberto Cillero, Paula Bouzada, Alberto García y Mª Pilar Martín.) para el ámbito interurbano (Interurbano 1, 2, 3, 4 y 5), el valor del CTEi; y, a partir de éste, el valor del CTPi, en función de las distancias máximas y mínimas de cada tipo de movilidad.

Tabla 2. Matriz de operadores por modos entre ciudades

		Operadores								
		Barcelona	Valencia	Sevilla	Zaragoza	Málaga	Murcia	Bilbao	Alicante	Córdoba
Madrid	Autocar	ALSA	avanza	Socibus	ALSA	DAIBUS	ALSA	Continental Auto	ALSA	Socibus
	TurPje	P	NO	NO	NO	NO	NO	P	NO	NO
	TurConv	P	P	P	P	P	P	P	P	P
	TrenAV	renfe Alvia	renfe Altaria	renfe AVE	renfe AVE	renfe AVE	renfe Altaria	NO	renfe Altaria	renfe AVE
	TrenConv	renfe Estrella	renfe Regional	NO	renfe Regional	NO	NO	renfe Talgo	NO	NO
	TrenMer	renfe Mercancías	renfe Mercancías	renfe Mercancías	renfe Mercancías	renfe Mercancías	renfe Mercancías	renfe Mercancías	renfe Mercancías	renfe Mercancías
	Avión	IBERIA	Spanair	IBERIA	IBERIA	AirEuropa	IBERIA	IBERIA	Spanair	NO
Barcelona	Autocar		ALSA	ALSA	ALSA	ALSA	ALSA	ALSA	ALSA	ALSA
	TurPje		P	P	P	P	P	P	P	P
	TurConv		P	P	P	P	P	P	P	P
	TrenAV		renfe Euromed	renfe Altaria	renfe Alvia	NO	NO	NO	renfe Euromed	renfe Altaria
	TrenConv		renfe Arco	renfe Arco	renfe Talgo	renfe Arco	renfe Talgo	renfe Talgo	renfe Talgo	renfe Arco
	TrenMer		renfe Mercancías	renfe Mercancías	renfe Mercancías	renfe Mercancías	NO	renfe Mercancías	renfe Mercancías	renfe Mercancías
	Avión		IBERIA	IBERIA	NO	IBERIA	IBERIA	IBERIA	IBERIA	NO
	Barco		Varios	Varios	NO	Varios	NO	Varios	Varios	NO
Valencia	Autocar			ALSA	Autocar	ALSA	ALSA	Bilman Bus	ALSA	ALSA
	TurPje			NO	NO	NO	NO	P	P	NO
	TurConv			P	P	P	P	P	P	P
	TrenAV			NO	NO	NO	NO	NO	renfe Euromed	NO
	TrenConv			renfe Arco	renfe Regional	renfe Arco	renfe Talgo	NO	renfe Arco	renfe Arco
	TrenMer			renfe Mercancías	NO	renfe Mercancías	NO	renfe Mercancías	NO	renfe Mercancías
	Avión			IBERIA	NO	IBERIA	NO	IBERIA	NO	NO
	Barco			Varios	NO	Varios	NO	Varios	Varios	NO
Sevilla	Autocar				NO	Alsina Graells	Alsina Graells	NO	ALSA	Alsina Graells
	TurPje				P	NO	NO	P	NO	NO
	TurConv				P	P	P	P	P	P
	TrenAV				renfe Altaria	NO	NO	NO	NO	renfe AVE
	TrenConv				NO	renfe Regional	NO	NO	NO	renfe Avant
	TrenMer				renfe Mercancías	NO	NO	renfe Mercancías	NO	NO
	Avión				NO	NO	NO	IBERIA	IBERIA	NO
	Barco				NO	Varios	NO	Varios	Varios	NO
Zaragoza	Autocar					NO	NO	ALSA	NO	NO
	TurPje					NO	NO	P	P	NO
	TurConv					P	P	P	P	P
	TrenAV					NO	NO	NO	NO	renfe Altaria
	TrenConv					NO	NO	renfe Talgo	NO	NO
	TrenMer					NO	NO	renfe Mercancías	NO	renfe Mercancías
	Avión					NO	NO	NO	NO	NO
Málaga	Autocar						ALSA	NO	ALSA	Alsina Graells
	TurPje						NO	P	NO	NO
	TurConv						P	P	P	P
	TrenAV						NO	NO	NO	renfe Talgo 200
	TrenConv						NO	renfe Estrella	NO	renfe Arco
	TrenMer						NO	renfe Mercancías	NO	NO
	Avión						NO	Spanair	IBERIA	NO
	Barco						NO	Varios	Varios	NO
Murcia	Autocar							Bilman Bus	ALSA	Alsina Graells
	TurPje							P	NO	NO
	TurConv							P	P	P
	TrenAV							NO	NO	NO
	TrenConv							NO	renfe Talgo	NO
	TrenMer							renfe Mercancías	NO	NO
	Avión							NO	NO	NO
Bilbao	Autocar								Bilman Bus	UNIONBUS
	TurPje								P	P
	TurConv								P	P
	TrenAV								NO	NO
	TrenConv								NO	renfe Estrella
	TrenMer								renfe Mercancías	renfe Mercancías
	Avión								IBERIA	NO
	Barco								Varios	NO
Alicante	Autocar									ALSA
	TurPje									NO
	TurConv									P
	TrenAV									NO
	TrenConv									NO
	TrenMer									NO
	Avión									NO

Sólo se tienen en cuenta trayectos directos, es decir, sin enlaces ni transbordos. Si, para el mismo trayecto y modo, existen varios itinerarios, servicios o compañías, se tiene en cuenta el más rápido. En el caso del modo "avión", existiendo varias compañías que realizan el mismo trayecto en el mismo tiempo, se escoge la compañía que tenga la ruta más corta. **Autocar** (Autobús regular interurbano), **TurPje** (Vehículo privado por autopista de peaje), **TurConv** (Vehículo privado por carretera convencional, evitando autopistas de peaje), **TurConv** (Vehículo privado por carretera convencional, evitando autopistas de peaje.), **TrenAV** (Tren alta velocidad + Tren de altas prestaciones > 200km/h), **TrenConv** (Tren convencional viajeros), **Barco** (Trasnporte marítimo de pasajeros y mercancías), **NO** (No existe trayecto directo, sin transbordos), **P** (Vehículo particular) y **Varios** (Este trayecto puede ser realizado por empresas o particulares).

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de movelia.com, rumbo.es y renfe.es

Tabla 3. Población de la 10 capitales de provincia con mayor número de habitantes censados

Ranking	Ciudad	Habitantes
1	Madrid	3.128.600
2	Barcelona	1.605.602
3	Valencia	805.304
4	Sevilla	704.414
5	Zaragoza	649.181
6	Málaga	560.631
7	Murcia	416.996
8	Bilbao	354.145
9	Alacant	322.431
10	Córdoba	322.867

Nota: Censo a 1 enero de 2007

Fuente: INE

Siguiendo la metodología descrita, se procederá al cálculo de los CT_i de todos los modos analizados en este trabajo.

3.2.2 Autocar

En primer lugar se presentan los datos obtenidos para el cálculo del $CT^E_{autocar}$ y $CT^P_{autocar}$.

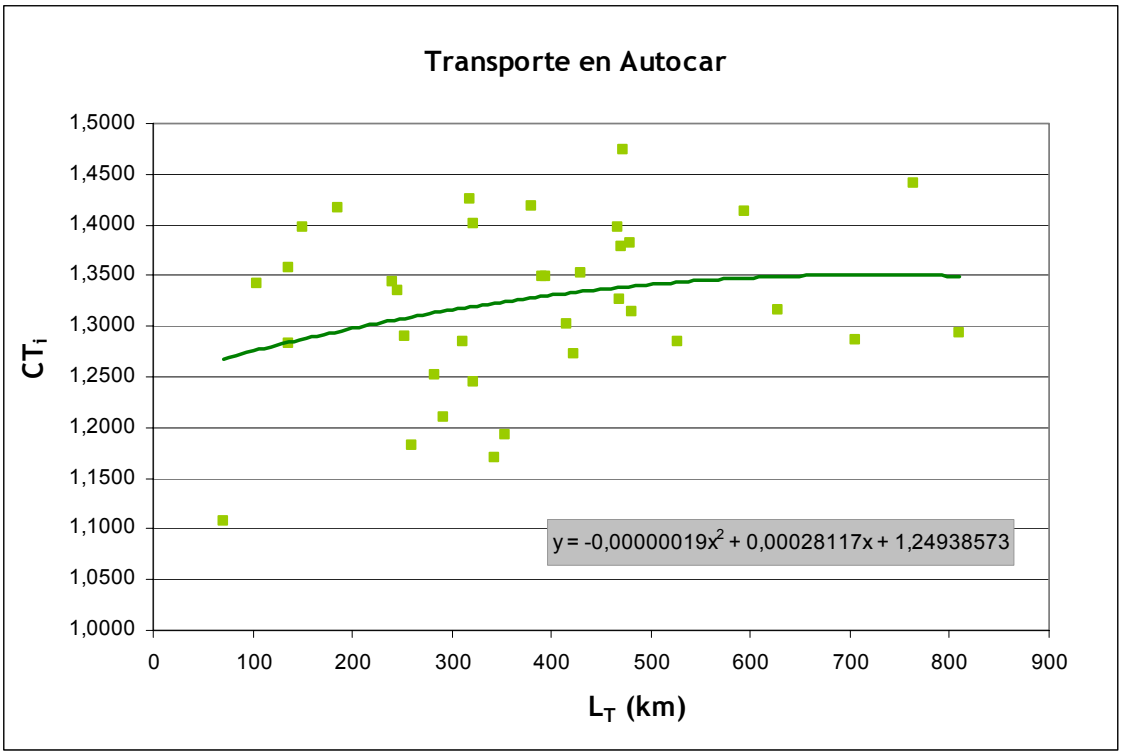
Tabla 4. Cálculo del Coeficiente de Trayectoria del Autocar ($CT_{autocar}$)

Transporte en Autocar - Interurbano						
Origen	Destino	L_T (km)	L_{Ri} (km)	$CT_i=L_{Ri}/Lti$	Suma de poblaciones	L_{Ri} / Lti ponderado
Madrid	Barcelona	481,68	633	1,3142	4.734.202	0,0884
Madrid	Valencia	283,43	355	1,2525	3.933.904	0,0700
Madrid	Sevilla	394,14	532	1,3498	3.833.014	0,0735
Madrid	Zaragoza	252,06	325	1,2894	3.777.781	0,0692
Madrid	Málaga	428,85	580	1,3525	3.689.231	0,0709
Madrid	Murcia	342,54	401	1,1707	3.545.596	0,0590
Madrid	Bilbao	321,3	400	1,2449	3.482.745	0,0616
Madrid	Alicante	353,22	421	1,1919	3.451.031	0,0585
Madrid	Córdoba	310,37	399	1,2856	3.451.467	0,0631
Barcelona	Valencia	292,41	354	1,2106	2.410.906	0,0415
Barcelona	Sevilla	809,03	1.047	1,2941	2.310.016	0,0425
Barcelona	Zaragoza	260,63	308	1,1818	2.254.783	0,0379
Barcelona	Málaga	764,59	1.102	1,4413	2.166.233	0,0444
Barcelona	Murcia	466,5	652	1,3976	2.022.598	0,0402
Barcelona	Bilbao	468,77	622	1,3269	1.959.747	0,0370
Barcelona	Córdoba	705,5	908	1,2870	1.928.469	0,0353
Valencia	Sevilla	527,14	677	1,2843	1.509.718	0,0276
Valencia	Zaragoza	245,59	328	1,3356	1.454.485	0,0276
Valencia	Málaga	472,42	696	1,4733	1.365.935	0,0286
Valencia	Murcia	184,91	262	1,4169	1.222.300	0,0246
Valencia	Bilbao	470,36	648	1,3777	1.159.449	0,0227
Valencia	Alicante	135,61	184	1,3568	1.127.735	0,0217
Valencia	Córdoba	422,78	538	1,2725	1.128.171	0,0204
Sevilla	Málaga	151,02	211	1,3972	1.265.045	0,0251
Sevilla	Murcia	415,28	541	1,3027	1.121.410	0,0208
Sevilla	Alicante	479,91	663	1,3815	1.026.845	0,0202
Sevilla	Córdoba	104,36	140	1,3415	1.027.281	0,0196
Zaragoza	Bilbao	240,4	323	1,3436	1.003.326	0,0192
Málaga	Murcia	321,19	450	1,4010	977.627	0,0195
Málaga	Alicante	391,32	528	1,3493	883.062	0,0169
Málaga	Córdoba	135,65	174	1,2827	883.498	0,0161
Murcia	Bilbao	612,5	920	1,5020	771.141	0,0165
Murcia	Alicante	70,41	78	1,1078	739.427	0,0116
Murcia	Córdoba	317,81	453	1,4254	739.863	0,0150
Bilbao	Alicante	593,31	838	1,4124	676.576	0,0136
Bilbao	Córdoba	627,81	826	1,3157	677.012	0,0127
Alicante	Córdoba	379,84	539	1,4190	645.298	0,0130
			$CT^E_{autocar}$	1,3267	$CT^P_{autocar}$	1,3058

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de ALSA, viamichelin.es y www.tutiempo.net

A continuación se representan, para el autocar, los CT_i frente a las L_T, de cada trayecto:

Figura 3. Relación entre el Coeficiente de Trayectoria y la L_T del Autocar



Fuente: Elaboración propia

Se observa una relación ligeramente creciente al principio y más plana al final.

Empleando la ecuación de segundo orden obtenida, se calcula, para cada uno de los tipos de movilidad definidos, el valor de $CT^E_{autocar}$ y de $CT^P_{autocar}$:

Tabla 5. $CT_{autocar}$ por tipo de movilidad

CT Autocar - Interurbano				
Movilidad	**$L_{C\ min}$ (km)**	**$L_{C\ max}$ (km)**	**$CT^E_{autocar}$**	**$CT^P_{autocar}$**
Interurbano 1	45	190	1,279	**1,259**
Interurbano 2	190	350	1,310	**1,290**
Interurbano 3	350	460	1,332	**1,311**
Interurbano 4	460	930	1,343	**1,321**
Interurbano 5	930	1.400	-	**-**

Fuente: Elaboración propia

Nota: No se han calculado los valores del CT del tipo de movilidad Interurbano 5, ya que las distancias de este tipo de movilidad sólo son posibles entre la Península y las Islas Canarias. Este tipo de movilidad sólo será aplicable a los aviones y a los barcos.

3.2.3 Automóvil por carretera convencional

A continuación se presenta el cálculo del $CT^{E}_{turismo_conv}$ y $CT^{P}_{turismo_conv}$.

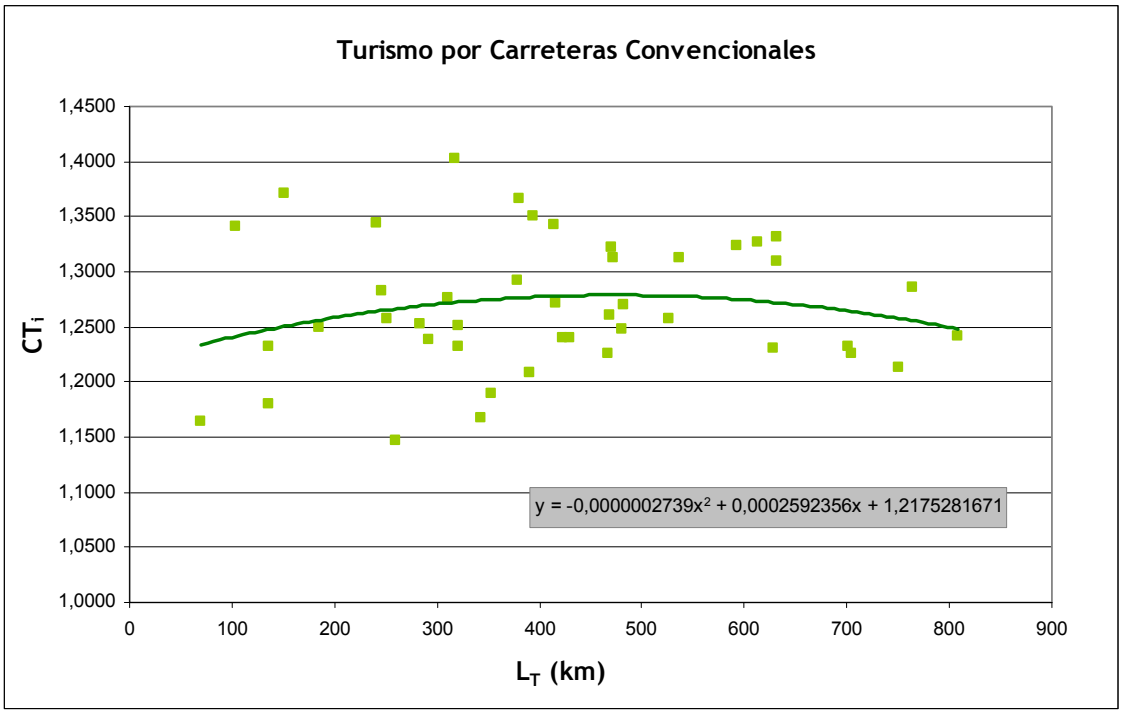
Tabla 6. Cálculo del CT del Turismo por carretera convencional ($CT_{turismo_conv}$)

Turismo por Carretera Convencional - Interurbano						
Origen	Destino	L_T (km)	L_{Ri} (km)	$CT_i=L_{Ri}/Lti$	Suma de poblaciones	L_{Ri} / Lti ponderado
Madrid	Barcelona	481,68	612	1,2706	4.734.202	0,0772
Madrid	Valencia	283,43	355	1,2525	3.933.904	0,0632
Madrid	Sevilla	394,14	532	1,3498	3.833.014	0,0664
Madrid	Zaragoza	252,06	317	1,2576	3.777.781	0,0610
Madrid	Málaga	428,85	532	1,2405	3.689.231	0,0587
Madrid	Murcia	342,54	400	1,1677	3.545.596	0,0531
Madrid	Bilbao	321,3	396	1,2325	3.482.745	0,0551
Madrid	Alicante	353,22	420	1,1891	3.451.031	0,0527
Madrid	Córdoba	310,37	396	1,2759	3.451.467	0,0565
Barcelona	Valencia	292,41	362	1,2380	2.410.906	0,0383
Barcelona	Sevilla	809,03	1.004	1,2410	2.310.016	0,0368
Barcelona	Zaragoza	260,63	299	1,1472	2.254.783	0,0332
Barcelona	Málaga	764,59	983	1,2857	2.166.233	0,0357
Barcelona	Murcia	466,5	572	1,2262	2.022.598	0,0318
Barcelona	Bilbao	468,77	591	1,2607	1.959.747	0,0317
Barcelona	Córdoba	705,5	865	1,2261	1.928.469	0,0304
Valencia	Sevilla	527,14	663	1,2577	1.509.718	0,0244
Valencia	Zaragoza	245,59	315	1,2826	1.454.485	0,0239
Valencia	Málaga	472,42	620	1,3124	1.365.935	0,0230
Valencia	Murcia	184,91	231	1,2493	1.222.300	0,0196
Valencia	Bilbao	470,36	622	1,3224	1.159.449	0,0197
Valencia	Alicante	135,61	167	1,2315	1.127.735	0,0178
Valencia	Córdoba	422,78	524	1,2394	1.128.171	0,0179
Sevilla	Zaragoza	631,79	827	1,3090	1.353.595	0,0227
Sevilla	Málaga	151,02	207	1,3707	1.265.045	0,0223
Sevilla	Murcia	415,28	528	1,2714	1.121.410	0,0183
Sevilla	Bilbao	701,37	864	1,2319	1.058.559	0,0167
Sevilla	Alicante	479,91	599	1,2482	1.026.845	0,0165
Sevilla	Córdoba	104,36	140	1,3415	1.027.281	0,0177
Zaragoza	Málaga	631,68	841	1,3314	1.209.812	0,0207
Zaragoza	Murcia	414,09	556	1,3427	1.066.177	0,0184
Zaragoza	Bilbao	240,4	323	1,3436	1.003.326	0,0173
Zaragoza	Alicante	378,67	489	1,2914	971.612	0,0161
Zaragoza	Córdoba	536,56	704	1,3121	972.048	0,0164
Málaga	Murcia	321,19	402	1,2516	977.627	0,0157
Málaga	Bilbao	750	910	1,2133	914.776	0,0142
Málaga	Alicante	391,32	473	1,2087	883.062	0,0137
Málaga	Córdoba	135,65	160	1,1795	883.498	0,0134
Murcia	Bilbao	612,5	813	1,3273	771.141	0,0131
Murcia	Alicante	70,41	82	1,1646	739.427	0,0111
Murcia	Córdoba	317,81	446	1,4034	739.863	0,0133
Bilbao	Alicante	593,31	785	1,3231	676.576	0,0115
Bilbao	Córdoba	627,81	773	1,2313	677.012	0,0107
Alicante	Córdoba	379,84	519	1,3664	645.298	0,0113
			$CT^{E}_{tur_conv}$	1,2686	$CT^{P}_{tur_conv}$	1,2595

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de ALSA, viamichelin.es y www.tutiempo.net

A continuación se representan, para el turismo por carretera convencional, los CT_i frente a las L_T, de cada trayecto:

Figura 4. Relación entre Coeficiente de Trayectoria y L_T del Turismo por Carretera Convencional



Fuente: Elaboración propia

Aparece una relación creciente al principio, hasta que alcanza su máximo y luego vuelve a decrecer.

Empleando la ecuación de segundo orden obtenida, se calcula el valor de $CT^E_{tur_conv}$ y de $CT^P_{tur_conv}$, para cada uno de los tipos de movilidad definidos:

Tabla 7. CT_{tur_conv} por tipo de movilidad

CT Tur_conv - Interurbano				
Movilidad	$L_{C\ min}$ (km)	$L_{C\ max}$ (km)	$CT^E_{Tur_conv}$	$CT^P_{Tur_conv}$
Interurbano 1	45	190	1,243	1,234
Interurbano 2	190	350	1,266	1,257
Interurbano 3	350	460	1,277	1,268
Interurbano 4	460	930	1,250	1,241
Interurbano 5	930	1.400	-	-

Fuente: Elaboración propia

3.2.4 Automóvil por autopista de peaje

A continuación se presenta el cálculo del $CT^{E}_{tur_peaje}$ y $CT^{P}_{tur_peaje}$.

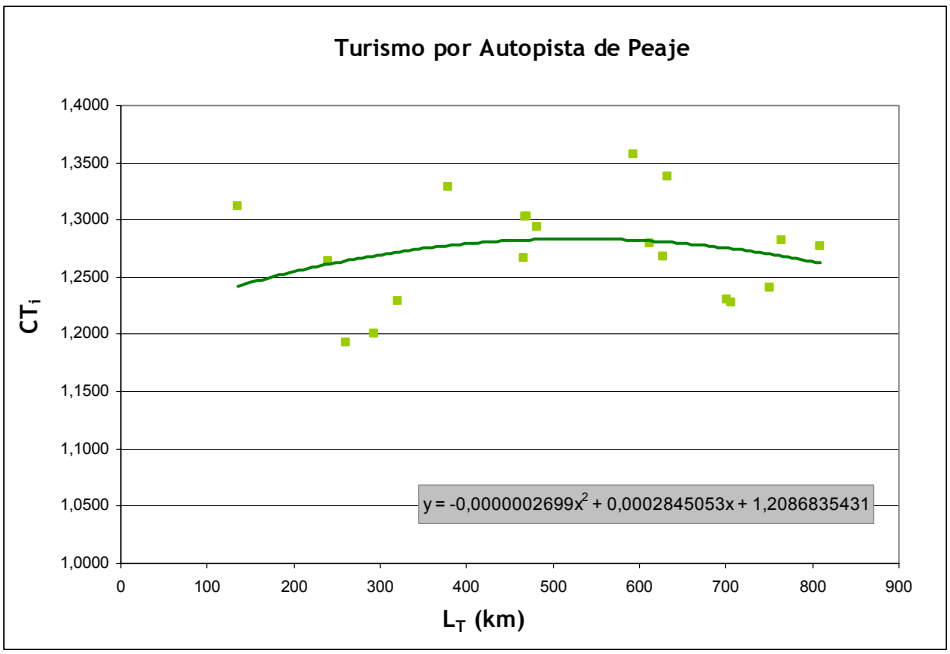
Tabla 8. Cálculo del CT del Turismo por autopista de peaje. (CT_{tur_pejae})

Turismo por Autopista Peaje - Interurbano						
Origen	Destino	L_T (km)	L_{Ri} (km)	$CT_i=L_{Ri}/Lti$	Suma de poblaciones	L_{Ri} / Lti ponderado
Madrid	Barcelona	481,68	623	1,2934	4.734.202	0,1856
Madrid	Bilbao	321,3	395	1,2294	3.482.745	0,1298
Barcelona	Valencia	292,41	351	1,2004	2.410.906	0,0877
Barcelona	Sevilla	809,03	1.033	1,2768	2.310.016	0,0894
Barcelona	Zaragoza	260,63	311	1,1933	2.254.783	0,0816
Barcelona	Málaga	764,59	980	1,2817	2.166.233	0,0842
Barcelona	Murcia	466,5	591	1,2669	2.022.598	0,0777
Barcelona	Bilbao	468,77	611	1,3034	1.959.747	0,0774
Barcelona	Córdoba	705,5	866	1,2275	1.928.469	0,0718
Valencia	Bilbao	470,36	613	1,3033	1.159.449	0,0458
Valencia	Alicante	135,61	178	1,3126	1.127.735	0,0449
Sevilla	Zaragoza	631,79	845	1,3375	1.353.595	0,0549
Sevilla	Bilbao	701,37	863	1,2304	1.058.559	0,0395
Zaragoza	Bilbao	240,4	304	1,2646	1.003.326	0,0385
Zaragoza	Alicante	378,67	503	1,3283	971.612	0,0391
Málaga	Bilbao	750	931	1,2413	914.776	0,0344
Murcia	Bilbao	612,5	784	1,2800	771.141	0,0299
Bilbao	Alicante	593,31	805	1,3568	676.576	0,0278
Bilbao	Córdoba	627,81	796	1,2679	677.012	0,0260
			$CT^{E}_{tur_autop}$	1,2734	$CT^{P}_{tur_autop}$	1,2661

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de viamichelin.es y www.tutiempo.net

Y seguidamente se representan, para el turismo por autopistas de peaje, los CT_i frente a las L_T, de cada trayecto:

Figura 5. Relación entre CT y L_T del Turismo por autopista de peaje



Fuente: Elaboración propia

Se observa una relación ligeramente creciente al principio y decreciente al final.

Empleando la ecuación de segundo orden obtenida, se calcula, para cada uno de los tipos de movilidad definidos, el valor de $CT^E_{tur_peaje}$ y de $CT^P_{tur_peaje}$:

Tabla 9. CT_{tur_pejae} por tipo de movilidad

CT Tur_peaje - Interurbano				
Movilidad	**$L_{C\ min}$ (km)**	**$L_{C\ max}$ (km)**	**$CT^E_{Tur_peaje}$**	**$CT^P_{Tur_peaje}$**
Interurbano 1	45	190	1,237	**1,230**
Interurbano 2	190	350	1,264	**1,257**
Interurbano 3	350	460	1,279	**1,271**
Interurbano 4	460	930	1,261	**1,254**
Interurbano 5	930	1.400	-	**-**

Fuente: Elaboración propia

3.2.5 Tren convencional de viajeros

A continuación se presenta el cálculo del CT^E y CT^P para el transporte interurbano de viajeros por ferrocarril convencional[2].

Tabla 10. Cálculo del CT del Tren convencional (CT_{tren_conv})

Tren Convencional - Interurbano						
Origen	Destino	L_T (km)	L_{Ri} (km)	$CT_i=L_{Ri}/Lti$	Suma de poblaciones	L_{Ri} / Lti ponderado
Madrid	Barcelona	481,68	692	1,4366	4.734.202	0,1501
Madrid	Valencia	283,43	400	1,4113	3.933.904	0,1226
Madrid	Zaragoza	252,06	332	1,3171	3.777.781	0,1098
Madrid	Bilbao	321,3	475	1,4784	3.482.745	0,1137
Barcelona	Valencia	292,41	365	1,2482	2.410.906	0,0664
Barcelona	Sevilla	809,03	1.119	1,3831	2.310.016	0,0705
Barcelona	Zaragoza	260,63	357	1,3698	2.254.783	0,0682
Barcelona	Málaga	764,59	1.166	1,5250	2.166.233	0,0729
Barcelona	Murcia	466,5	633	1,3569	2.022.598	0,0606
Barcelona	Bilbao	468,77	704	1,5018	1.959.747	0,0650
Barcelona	Córdoba	705,5	769	1,0900	1.928.469	0,0464
Valencia	Sevilla	527,14	754	1,4304	1.509.718	0,0477
Valencia	Zaragoza	245,59	359	1,4618	1.454.485	0,0469
Valencia	Málaga	472,42	801	1,6955	1.365.935	0,0511
Valencia	Murcia	184,91	231	1,2493	1.222.300	0,0337
Valencia	Alicante	135,61	190	1,4011	1.127.735	0,0349
Valencia	Córdoba	422,78	627	1,4830	1.128.171	0,0369
Sevilla	Málaga	151,02	222	1,4692	1.265.045	0,0410
Sevilla	Córdoba	104,36	127	1,2150	1.027.281	0,0276
Zaragoza	Bilbao	240,4	317	1,3186	1.003.326	0,0292
Málaga	Bilbao	750	1164	1,5520	914.776	0,0313
Málaga	Córdoba	135,65	198,35	1,4622	883.498	0,0285
Murcia	Alicante	70,41	78	1,1078	739.427	0,0181
Bilbao	Córdoba	627,81	1006	1,6024	677.012	0,0239
			$CT^E_{tren_conv}$	1,3986	$CT^P_{tren_conv}$	1,3972

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Fundación de los Ferrocarriles Españoles y la web www.tutiempo.net

[2] Para el cálculo de los coeficientes de trayectoria del ferrocarril, en sus diferentes modalidades, se han empleado datos de la Nota Técnica EnerTrans 5 "Estudio de las variables que influyen en el incremento de recorridos e incidencia del cociente entre trayectoria y desplazamiento en el transporte ferroviario", de Alberto García Álvarez y Eduardo Fernández González (2008)

A continuación se representan, para el tren convencional, los CT_i de cada trayecto frente a las L_T:

Figura 6. Relación entre CT y L_T del Tren convencional

Fuente: Elaboración propia

Se observa una relación fuertemente creciente al principio y ligeramente decreciente al final.

Empleando la ecuación de segundo orden obtenida, se calcula, para cada uno de los tipos de movilidad definidos, el valor de $CT^E_{tren_conv}$ y de $CT^P_{tren_conv}$:

Tabla 11. CT_{tren_conv} por tipo de movilidad

CT Tren_conv - Interurbano				
Movilidad	$L_{C\ min}$ (km)	$L_{C\ max}$ (km)	$CT^E_{Tren_conv}$	$CT^P_{Tren_conv}$
Interurbano 1	45	190	1,281	**1,280**
Interurbano 2	190	350	1,393	**1,391**
Interurbano 3	350	460	1,455	**1,453**
Interurbano 4	460	930	1,391	**1,389**
Interurbano 5	930	1.400	-	**-**

Fuente: Elaboración propia

3.2.6 Tren de alta velocidad

A continuación se presenta el cálculo del CT^E y CT^P para el ferrocarril de alta velocidad.

Nota: Para disponer de una base suficiente de datos, se han incluido además de los orígenes-destino analizados hasta ahora, los correspondientes a las rutas entre Madrid y Segovia, Valladolid, Lleida, Tarragona, Huesca, Cuenca, Albacete, Toledo y Ciudad Real.

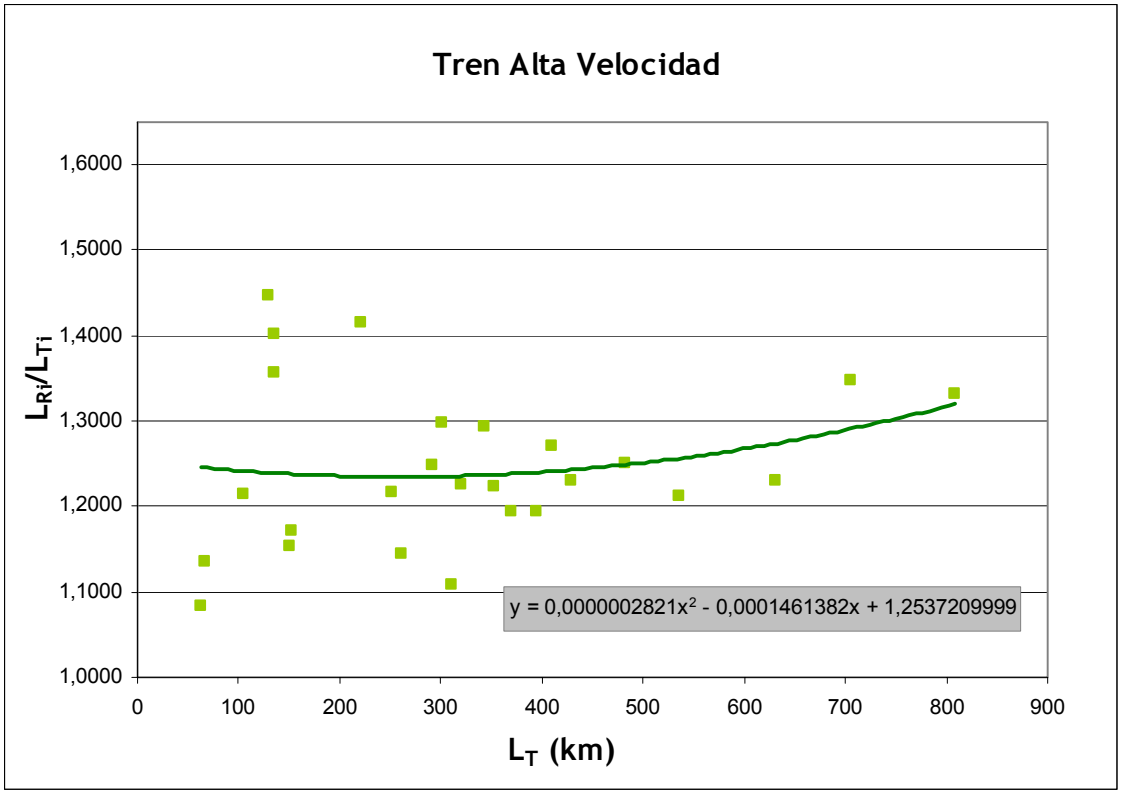
Tabla 12. Cálculo del CT del Tren de alta velocidad (CT_{tren_AV})

Tren Alta Velocidad - Interurbano						
Origen	Destino	L_T (km)	L_{Ri} (km)	$CT_i=L_{Ri}/Lti$	Suma de poblaciones	L_{Ri} / Lti ponderado
Madrid	Barcelona	481,68	602	1,2504	4.734.202	0,0801
Madrid	Valencia	301,2	391	1,2975	3.926.254	0,0689
Madrid	Sevilla	394,14	471	1,1937	3.833.014	0,0619
Madrid	Zaragoza	252,06	307	1,2168	3.777.781	0,0622
Madrid	Málaga	428,85	528	1,2307	3.689.231	0,0615
Madrid	Murcia	342,54	443	1,2933	3.545.596	0,0621
Madrid	Alicante	353,22	432	1,2230	3.451.031	0,0571
Madrid	Córdoba	310,37	344	1,1074	3.451.467	0,0517
Madrid	Segovia	63	68	1,0841	3.184.647	0,0467
Madrid	Valladolid	153	179	1,1712	3.445.164	0,0546
Madrid	Lleida	370	442	1,1946	3.255.914	0,0526
Madrid	Tarragona	410	521	1,2707	3.262.763	0,0561
Madrid	Huesca	320	392	1,2250	3.178.419	0,0527
Madrid	Cuenca	130	188	1,4469	3.181.580	0,0623
Madrid	Albacete	221,8	314	1,4157	3.293.371	0,0631
Madrid	Toledo	66,23	75	1,1349	3.207.218	0,0493
Madrid	Ciudad Real	150	173	1,1533	3.199.605	0,0499
Barcelona	Valencia	292,41	365	1,2482	2.410.906	0,0407
Barcelona	Sevilla	809,03	1.078	1,3324	2.310.016	0,0417
Barcelona	Zaragoza	260,63	299	1,1453	2.254.783	0,0350
Barcelona	Córdoba	705,5	951	1,3486	1.928.469	0,0352
Valencia	Alicante	135,61	190	1,4011	1.127.735	0,0214
Sevilla	Zaragoza	631,79	777	1,2302	1.353.595	0,0225
Sevilla	Córdoba	104,36	127	1,2150	1.027.281	0,0169
Zaragoza	Córdoba	536,56	650,4	1,2122	972.048	0,0159
Málaga	Córdoba	135,65	184,1	1,3572	883.498	0,0162
			$CT^E_{tren_AV}$	1,2461	$CT^P_{tren_AV}$	1,2385

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Nota Técnica Enertrans 5 y www.tutiempo.net

A continuación se representan, para el tren de alta velocidad, los CT_i de cada trayecto frente a las L_T:

Figura 7. Relación entre Coeficiente de Trayectoria y L_T del Tren_AV



Fuente: Elaboración propia

En este caso, la tendencia es la contraria a la observada hasta ahora. Se observa una relación ligeramente decreciente al principio y creciente al final.

Empleando la ecuación de segundo orden obtenida, se calcula, para cada uno de los tipos de movilidad definidos, el valor de $CT^E_{tren_AV}$ y de $CT^P_{tren_AV}$:

Tabla 13. CT_{tren_AV} por tipo de movilidad

CT Tren_AV - Interurbano				
Movilidad	$L_{C\ min}$ (km)	$L_{C\ max}$ (km)	$CT^E_{Tren_AV}$	$CT^P_{Tren_AV}$
Interurbano 1	45	190	1,242	**1,234**
Interurbano 2	190	350	1,237	**1,229**
Interurbano 3	350	460	1,242	**1,234**
Interurbano 4	460	930	1,304	**1,296**
Interurbano 5	930	1.400	-	**-**

Fuente: Elaboración propia

3.2.7 Tren de mercancías

A continuación se presenta el cálculo del CT^E y CT^P del ferrocarril de mercancías.

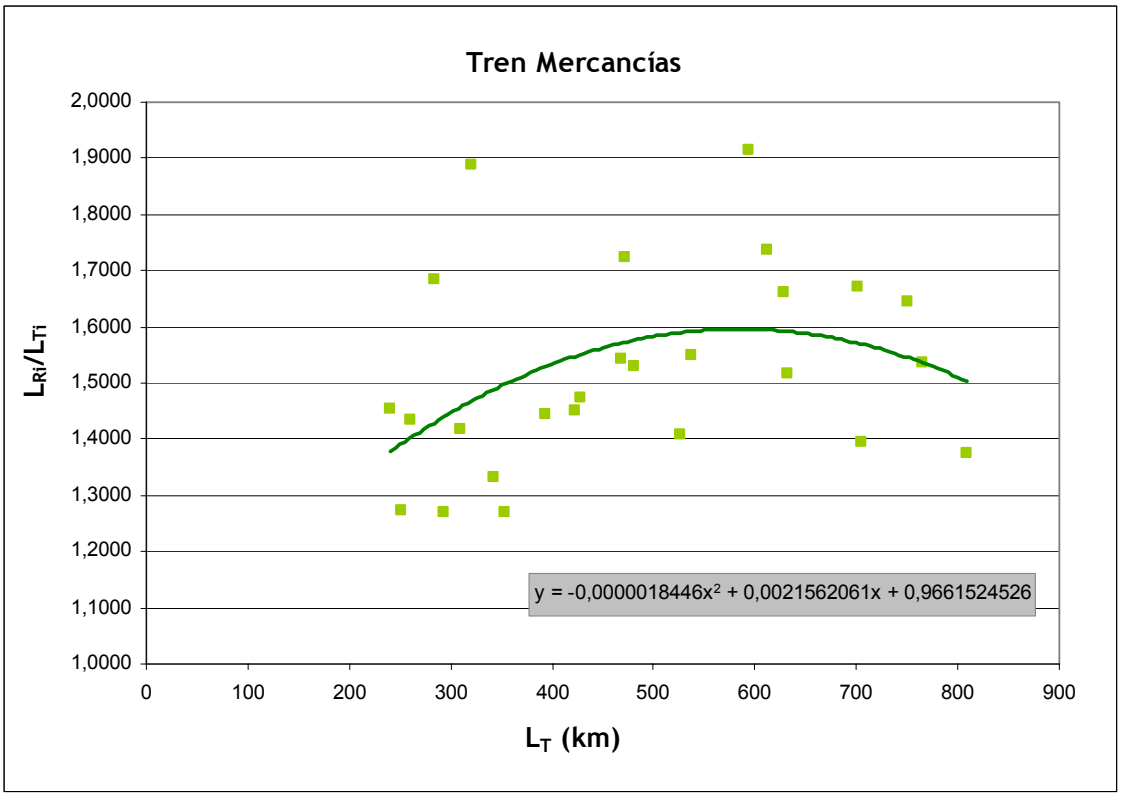
Tabla 14. Cálculo del CT del Tren de Mercancías (CT_{tren_merc})

Tren Mercancías - Interurbano						
Origen	Destino	L_T (km)	L_{Ri} (km)	$CT_i=L_{Ri}/Lti$	Suma de poblaciones	L_{Ri} / Lti ponderado
Madrid	Barcelona	481,68	737	1,5305	4.734.202	0,1217
Madrid	Valencia	283,43	478	1,6851	3.933.904	0,1114
Madrid	Sevilla	394,14	570	1,4454	3.833.014	0,0931
Madrid	Zaragoza	252,06	321	1,2723	3.777.781	0,0808
Madrid	Málaga	428,85	631	1,4721	3.689.231	0,0912
Madrid	Murcia	342,54	457	1,3333	3.545.596	0,0794
Madrid	Bilbao	321,3	607	1,8886	3.482.745	0,1105
Madrid	Alicante	353,22	448	1,2683	3.451.031	0,0735
Madrid	Córdoba	310,37	440	1,4173	3.451.467	0,0822
Barcelona	Valencia	292,41	371	1,2688	2.410.906	0,0514
Barcelona	Sevilla	809,03	1.112	1,3750	2.310.016	0,0534
Barcelona	Zaragoza	260,63	374	1,4331	2.254.783	0,0543
Barcelona	Málaga	764,59	1.174	1,5355	2.166.233	0,0559
Barcelona	Bilbao	468,77	723	1,5417	1.959.747	0,0508
Barcelona	Córdoba	705,5	984	1,3952	1.928.469	0,0452
Valencia	Sevilla	527,14	743	1,4091	1.509.718	0,0357
Valencia	Málaga	472,42	814	1,7237	1.365.935	0,0396
Valencia	Bilbao	470,36	1.059	2,2504	1.159.449	0,0438
Valencia	Córdoba	422,78	613	1,4504	1.128.171	0,0275
Sevilla	Zaragoza	631,79	959	1,5174	1.353.595	0,0345
Sevilla	Bilbao	701,37	1.171	1,6696	1.058.559	0,0297
Zaragoza	Bilbao	240,4	349,2	1,4526	1.003.326	0,0245
Zaragoza	Córdoba	536,56	830,6	1,5480	972.048	0,0253
Málaga	Bilbao	750	1232,6	1,6435	914.776	0,0253
Murcia	Bilbao	612,5	1064,1	1,7373	771.141	0,0225
Bilbao	Alicante	593,31	1135	1,9130	676.576	0,0217
Bilbao	Córdoba	627,81	1042,9	1,6612	677.012	0,0189
			$CT^E_{tren_merc}$	1,5496	$CT^P_{tren_merc}$	1,5038

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Nota Técnia Enertrans 5 y www.tutiempo.net

A continuación se representan, para el tren de mercancías, los CT_i de cada trayecto frente a las L_T:

Figura 8. Relación entre Coeficiente de Trayectoria y L_T del Tren de Mercancías



Fuente: Elaboración propia

Se observa una relación creciente al principio y decreciente al final.

Empleando la ecuación de segundo orden obtenida, se calcula, para cada uno de los tipos de movilidad definidos, el valor de $CT^E_{tren_merc}$ y de $CT^P_{tren_merc}$:

Tabla 15. CT_{tren_Merc} por tipo de movilidad

CT Tren_merc - Interurbano				
Movilidad	$L_{C\ min}$ (km)	$L_{C\ max}$ (km)	$CT^E_{Tren_merc}$	$CT^P_{Tren_merc}$
Interurbano 1	45	190	1,184	**1,149**
Interurbano 2	190	350	1,402	**1,361**
Interurbano 3	350	460	1,531	**1,486**
Interurbano 4	460	930	1,472	**1,428**
Interurbano 5	930	1.400	-	**-**

Fuente: Elaboración propia

3.2.8 Transporte aéreo

En el transporte aéreo[3], los factores que influyen en las trayectorias y en el incremento de los recorridos son muy diferentes a los modos de transporte terrestres vistos hasta ahora.

Entre estos factores destacan los siguientes:

- Los rodajes en tierra y la complejidad del *Layout* aeroportuario.
- Las salidas instrumentales y las arribadas estándar
- La estructura del espacio aéreo.
- La existencia de zonas restringidas al vuelo.
- Las condiciones meteorológicas
- Las regulaciones por afluencia de tráfico RAD
- Los condicionantes de las aeronaves.

Para tener representatividad de trayectos del tipo Interurbano 5 (más de 930 km en línea recta) se han seleccionado 6 trayectos adicionales que conectan Madrid con diferentes aeropuertos de las Islas Canarias.

Representando todos los valores en una misma gráfica, se observa una discontinuidad para los valores del Interurbano 5, por lo que se ha optado por realizar los cálculos de este tipo de movilidad de forma separada.

[3] Los datos presentados en este apartado forman parte de la Nota Técnica *NT 4. Variables que influyen en el recorrido y cociente entre trayectoria y desplazamiento en el transporte aéreo*, elaborada por el Grupo de Investigación en consumo energético del transporte aéreo de la Universidad Autónoma de Madrid, en el marco del proyecto EnerTrans.

A continuación se presenta el cálculo del CT^E y CT^P para el transporte aéreo para movilidades inferiores a Interurbano 5:

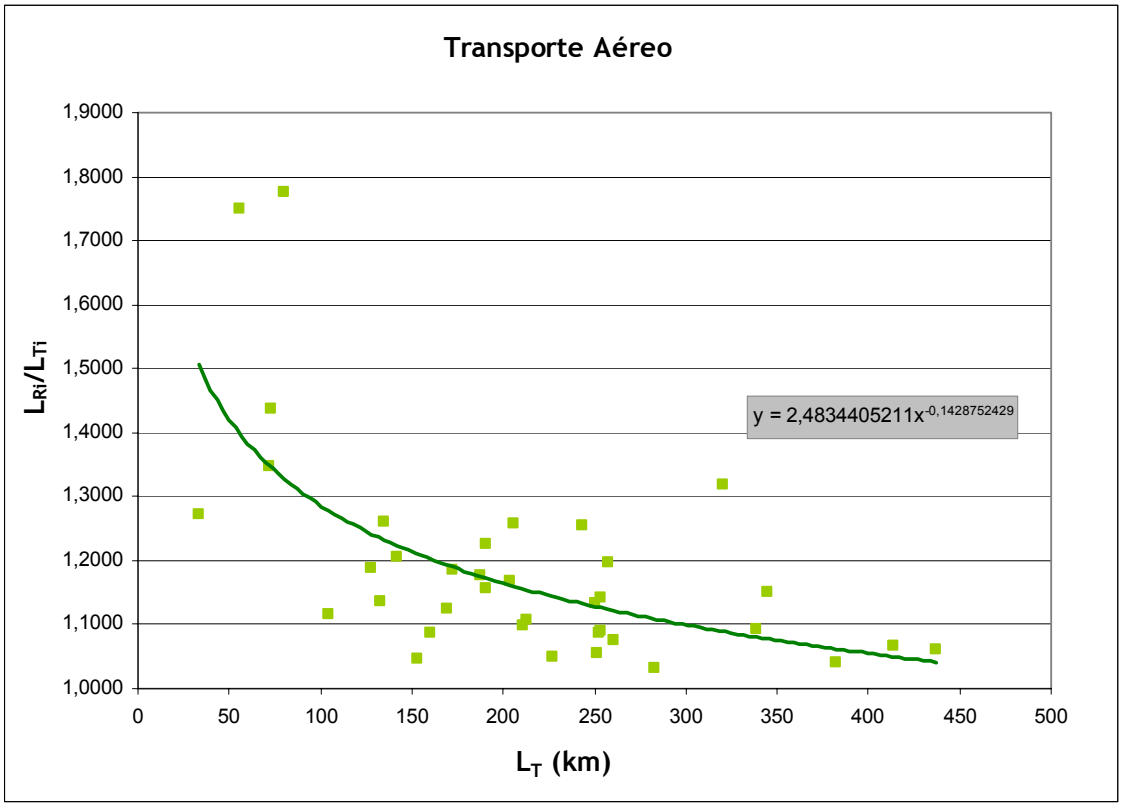
Tabla 16. Cálculo del CT del Avión ($CT_{avión}$) para movilidades tipo Interurbano 1-4

Avión - Interurbano 1- 4						
Origen	Destino	L_T (NM) ORTODROMICA	L_{Ri} (NM) RUTA	$CT_i=L_{Ri}/L_{Ti}$	Suma de poblaciones	L_{Ri} / Lti ponderado
Madrid	Barcelona	261	281	1,0766	4.734.202	0,0724
Madrid	Valencia	153	160	1,0458	3.933.904	0,0585
Madrid	Sevilla	213	236	1,1080	3.833.014	0,0604
Madrid	Zaragoza	135	170	1,2593	3.777.781	0,0676
Madrid	Málaga	254	277	1,0906	3.689.231	0,0572
Madrid	Murcia	206	259	1,2573	3.545.596	0,0634
Madrid	Bilbao	172	204	1,1860	3.482.745	0,0587
Madrid	Alicante	191	221	1,1571	3.451.031	0,0568
Madrid	Córdoba	169	190	1,1243	3.451.467	0,0552
Barcelona	Valencia	160	174	1,0875	2.410.906	0,0373
Barcelona	Sevilla	437	464	1,0618	2.310.016	0,0349
Barcelona	Zaragoza	142	171	1,2042	2.254.783	0,0386
Barcelona	Málaga	414	441	1,0652	2.166.233	0,0328
Barcelona	Murcia	250	283	1,1320	2.022.598	0,0325
Barcelona	Bilbao	252	266	1,0556	1.959.747	0,0294
Barcelona	Córdoba	382	398	1,0419	1.928.469	0,0286
Valencia	Sevilla	283	292	1,0318	1.509.718	0,0221
Valencia	Zaragoza	133	151	1,1353	1.454.485	0,0235
Valencia	Málaga	254	290	1,1417	1.365.935	0,0222
Valencia	Murcia	104	116	1,1154	1.222.300	0,0194
Valencia	Bilbao	253	275	1,0870	1.159.449	0,0179
Valencia	Alicante	73	105	1,4384	1.127.735	0,0231
Valencia	Córdoba	227	238	1,0485	1.128.171	0,0168
Sevilla	Málaga	80	142	1,7750	1.265.045	0,0319
Sevilla	Murcia	243	305	1,2551	1.121.410	0,0200
Sevilla	Alicante	258	309	1,1977	1.026.845	0,0175
Sevilla	Córdoba	56	98	1,7500	1.027.281	0,0256
Zaragoza	Bilbao	128	152	1,1875	1.003.326	0,0169
Málaga	Murcia	188	221	1,1755	977.627	0,0163
Málaga	Alicante	211	232	1,0995	883.062	0,0138
Málaga	Córdoba	72	97	1,3472	883.498	0,0169
Murcia	Bilbao	345	397	1,1507	771.141	0,0126
Murcia	Alicante	33	42	1,2727	739.427	0,0134
Murcia	Córdoba	191	234	1,2251	739.863	0,0129
Bilbao	Alicante	320	422	1,3188	676.576	0,0127
Bilbao	Córdoba	339	370	1,0914	677.012	0,0105
Alicante	Córdoba	204	238	1,1667	645.298	0,0107
			$CT^E_{avión}$	1,1882	$CT^P_{avión}$	1,1607

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Grupo de Investigación de Consumo Energético de Transporte Aéreo de la UAM

Si se representan los CT_i de cada trayecto frente a las L_T, se observa lo siguiente:

Figura 9. Relación entre Coeficiente de Trayectoria y L_T del Avión



Fuente: Elaboración propia

Aparece en el análisis una relación fuertemente decreciente en cortas distancias y, menos pronunciada y tendiendo a 1, a medida que aumentan las distancias.

Por otro lado, se realiza el cálculo del CT^E y CT^P para el transporte aéreo de tipo Interurbano 5:

Tabla 17. Cálculo del CT del Avión ($CT_{avión}$) para el tipo de movilidad Interurbano 5

Avión - Interurbano 5						
Origen	Destino	L_T (NM)	L_{Ri} (NM)	$CT_i=L_{Ri}/L_{Ti}$	Suma de poblaciones	L_{Ri} / Lti ponderado
		ORTODROMICA	RUTA			
Madrid	Tenerife norte	958	1039	1,0846	3.349.502	0,1848
Madrid	Tenerife sur	999	1083	1,0841	3.349.502	0,1848
Madrid	La Palma	999	1108	1,1091	3.145.953	0,1775
Madrid	Lanzarote	851	936	1,0999	3.148.600	0,1762
Madrid	Fuerteventura	883	968	1,0963	3.153.600	0,1759
Madrid	Gran Canaria	999	1083	1,0841	3.505.803	0,1934
			$CT^E_{avión}$	1,0930	$CT^P_{avión}$	1,0927

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se calcula, para cada uno de los tipos de movilidad definidos, el valor de $CT^E_{avión}$ y de $CT^P_{avión}$, empleando la ecuación de segundo orden obtenida para los tipos de movilidad Interurbano 1 al 4 y se mantienen los valores ya calculados para el Interurbano 5.

Tabla 18. $CT_{Avión}$ por tipo de movilidad

$CT_{Avión - Interurbano}$				
Movilidad	$L_{C\ min}$ (km)	$L_{C\ max}$ (km)	$CT^E_{Avión}$	$CT^P_{Avión}$
Interurbano 1	45	190	1,308	**1,277**
Interurbano 2	190	350	1,124	**1,098**
Interurbano 3	350	460	1,069	**1,044**
Interurbano 4	460	930	1,062	**1,037**
Interurbano 5	930	1.400	1,093	**1,093**

Nota: Los valores del tipo de movilidad Interurbano 4 se han corregido manteniendo como $CT_{máx}$ el valor de 1,062, que es el más bajo encontrado a esas distancias.

Fuente: Elaboración propia

3.2.9 Transporte marítimo

En el transporte marítimo[4], al igual que ocurre con el aéreo, los factores que influyen en la trayectoria y en la variación de recorrido son muy diferentes a los que se observan en los transportes terrestres.

La ruta de navegación a seguir por un buque, para ir de un puerto a otro, depende de una decisión de las personas que dirigen el buque, estando obligados a seguir las directrices y acuerdos internacionales, las normas de los países cuyas aguas territoriales se atraviesen, así como recomendaciones de seguridad, como por ejemplo la situación meteorológica.

En las tablas de distancias, que encontramos disponibles en Internet, las distancias mostradas entre dos puertos se calculan siguiendo la ruta más probable que es la de navegación loxodrómica, es decir la ruta a seguir sin variar el rumbo y que en una proyección de Mercator sería una línea recta, teniendo en cuenta los obstáculos de tierra y las rutas más directas entre puntos permitidas por los acuerdos internacionales.

Si empleamos la metodología descrita hasta ahora para el cálculo de la CT^E y CT^P, sin hacer ninguna corrección, al representar los CT_i de cada trayecto frente a las L_T se obtiene una nube de puntos sin ninguna relación aparente.

Tomando como ejemplo, los trayectos Bilbao-A Coruña y Bilbao-Barcelona, la distancia en línea recta es muy similar (438 y 469 km respectivamente), y sin embargo la distancia recorrida por un barco en ambos trayectos (495 y 2.548 km, respectivamente), y por lo tanto la CT_i, es muy superior en el segundo caso, ya que, evidentemente tiene que bordear toda la Península Ibérica.

Para corregir este hecho, se suponen dos zonas "Norte" y "Sur" separadas por una línea imaginaria que cruce la Península desde Los Pirineos hasta Lisboa. De esta forma, se analizarán, por un lado, los trayectos entre puntos situados en distintas zonas (trayectos "Norte-Sur" o "Sur-Norte"), y por otro lado los trayectos entre puntos situados en la misma zona (trayectos "Norte-Norte" o "Sur-Sur").

[4] Los datos presentados en este apartado forman parte de la Nota Técnica *NT 8. Características de la navegación marítima*, elaborada por el Grupo de investigación del transporte marítimo de la Fundación de la Universidad de Oviedo, en el marco del proyecto EnerTrans.

Por otro lado, al igual que en el transporte aéreo, para analizar el tipo de movilidad Interurbano 5, se analizarán varios trayectos entre la Península y las Islas Canarias.

En primer lugar, se presenta el cálculo del CT^E y CT^P para el transporte marítimo de trayectos "Norte-Sur" y "Sur- Norte":

Tabla 19. Cálculo del CT del Transporte Marítimo (CT_{barco}) de trayectos "Norte-Sur" y "Sur-Norte"

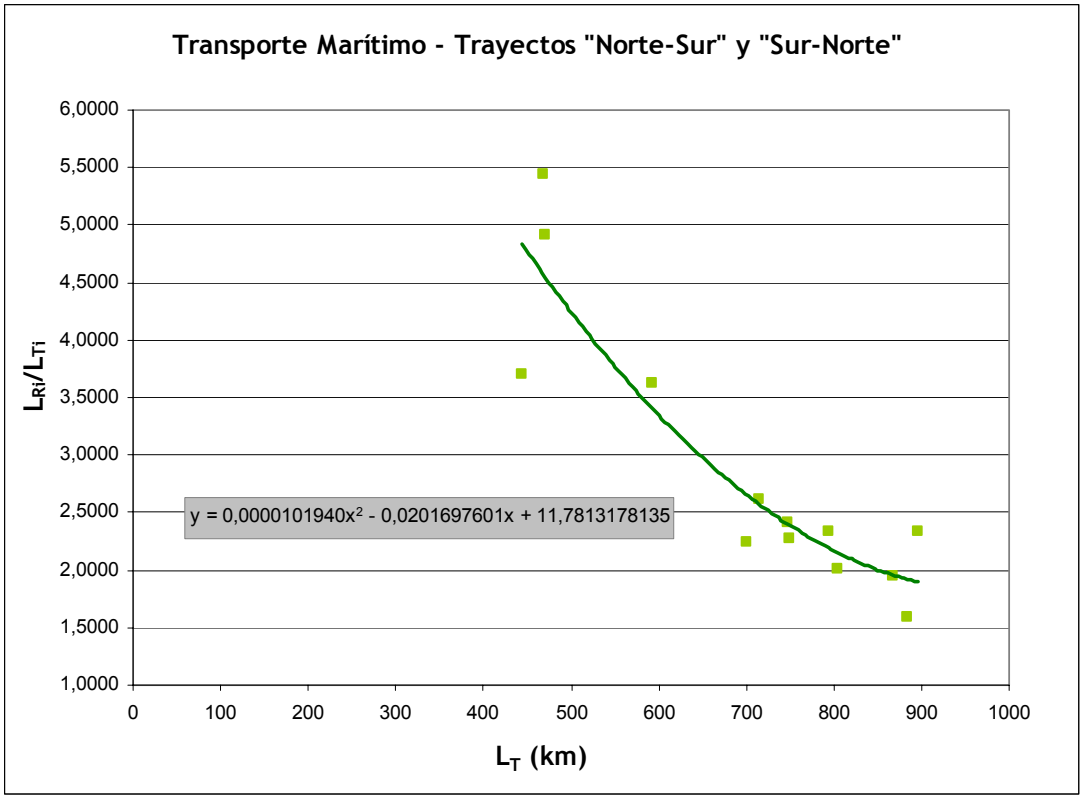
Barco - Distinta zona (Trayectos "Norte - Sur" y "Sur - Norte")						
Origen	Destino	L_T (km)	L_{Ri} (km)	$CT_i=L_{Ri}/L_{Ti}$	Suma de poblaciones	L_{Ri} / Lti ponderado
Barcelona	Bilbao	468,77	2.548	5,4355	1.959.747	0,9421
Valencia	Bilbao	470,36	2.313	4,9175	1.159.449	0,5043
Sevilla	Bilbao	701,37	1.578	2,2499	1.058.559	0,2106
Málaga	Bilbao	750	1.709	2,2787	914.776	0,1844
Bilbao	Alicante	593,31	2.150	3,6237	676.576	0,2168
Coruña	Alicante	867,65	1.691	1,9488	566.819	0,0977
Coruña	Almería	884,87	1.413	1,5969	431.039	0,0609
Coruña	Barcelona	895,75	2.089	2,3322	1.849.990	0,3816
Coruña	Valencia	795,25	1.852	2,3288	1.049.692	0,2162
Almería	Santander	747	1.806	2,4173	368.453	0,0788
Almería	Avilés	804,35	1.622	2,0170	269.971	0,0482
Almería	Bilbao	715,54	1.872	2,6167	540.796	0,1252
Almería	Gijón	444,62	1.645	3,6988	460.688	0,1507
			CT^E_{barco}	2,8817	CT^P_{barco}	3,2174

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Grupo de Investigación de Transporte Marítimo de la Universidad de Oviedo

Como es de esperar, por la forma de la Península, los valores de CT para los trayectos marítimos "Norte-Sur" o "Sur-Norte" son muy elevados.

Si se representan los CT_i de cada trayecto frente a las L_T, se observa lo siguiente:

Figura 10. Relación entre Coeficiente de Trayectoria y L_T del Barco para trayectos "Norte-Sur" y "Sur-Norte"



Fuente: Elaboración propia

Se observa una relación fuertemente decreciente, es decir, a medida que aumentan las distancias en línea recta.

En segundo lugar, se presenta el cálculo del CT^E y CT^P para el transporte marítimo de trayectos "Norte-Norte" y "Sur- Sur":

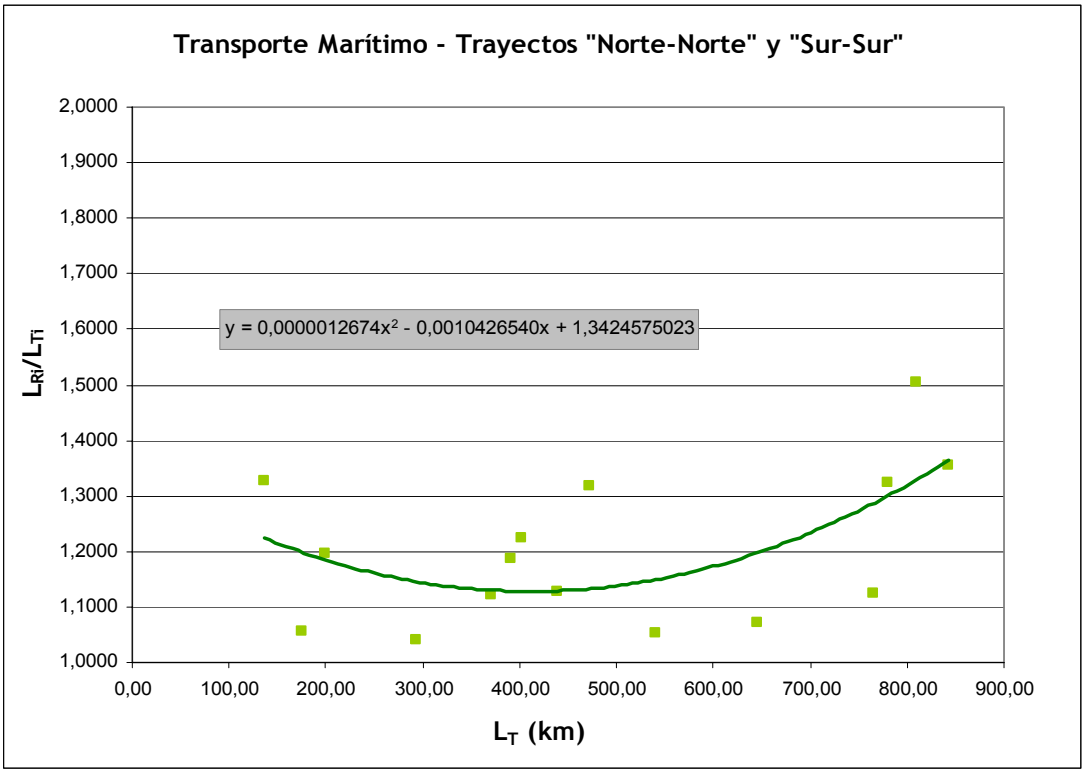
Tabla 20. Cálculo del CT del Transporte Marítimo (CT_{barco}) de trayectos "Norte-Sur" y "Sur-Norte"

Barco - Misma zona (Trayectos "Norte - Norte" y "Sur - Sur")						
Origen	Destino	L_T (km)	L_{Ri} (km)	$CT_i=L_{Ri}/L_{Ti}$	Suma de poblaciones	L_{Ri} / Lti ponderado
Barcelona	Valencia	292,41	304	1,0396	2.410.906	0,1587
Barcelona	Sevilla	809,03	1217	1,5043	2.310.016	0,2201
Barcelona	Málaga	764,59	861	1,1261	2.166.233	0,1545
Valencia	Málaga	472,42	622	1,3166	1.365.935	0,1139
Valencia	Alicante	135,61	180	1,3273	1.127.735	0,0948
Málaga	Alicante	391,32	465	1,1883	883.062	0,0665
Coruña	Avilés	199,74	239	1,1961	327.708	0,0248
Coruña	Algeciras	843,68	1143	1,3544	358.400	0,0307
Coruña	Cádiz	780,97	1033	1,3232	372.942	0,0313
Coruña	Santander	370,31	415	1,1203	426.190	0,0302
Coruña	Bilbao	438,82	495	1,1285	598.533	0,0428
Almería	Barcelona	645,22	691	1,0706	1.792.253	0,1215
Almería	Huelva	402,59	493	1,2237	332.824	0,0258
Almería	Baleares	539,80	569	1,0533	569.758	0,0380
Almería	Málaga	175,24	185	1,0568	747.901	0,0501
			CT^E_{barco}	1,2019	CT^P_{barco}	1,2036

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Grupo de Investigación de Transporte Marítimo de la Universidad de Oviedo

Si se representan los CT_i de cada trayecto frente a las L_T, se observa lo siguiente:

Figura 11. Relación entre Coeficiente de Trayectoria y L_T del Barco para trayectos "Norte-Sur" y "Sur-Norte"



Fuente: Elaboración propia

En este caso, la tendencia es decreciente al principio y creciente al final, pero con valores de CT mucho más bajos que en el caso anterior.

Por último, se realizan los cálculos para trayectos de tipo Interurbano 5:

Tabla 21. Cálculo del CT del Transporte Marítimo (CT_{barco}) de trayectos "Norte-Sur" y "Sur-Norte"

Barco - Interurbano 5						
Origen	Destino	L_T (km)	L_{Ri} (km)	$CT_i=L_{Ri}/L_{Ti}$	Suma de poblaciones	L_{Ri} / Lti ponderado
Coruña	Tenerife	1.802,68	1.848,30	1,0253	465.290	0,1399
Alicante	Tenerife	1.590,73	1.889,04	1,1875	543.333	0,1892
Barcelona	Tenerife	2204,46	2.287,22	1,0375	1.826.504	0,5557
Bilbao	Tenerife	2030,58	2.307,59	1,1364	575.047	0,1916
			CT^E_{barco}	1,0967	CT^P_{barco}	1,0764

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Grupo de Investigación de Transporte Marítimo de la Universidad de Oviedo

Finalmente, se calcula, para cada uno de los tipos de movilidad definidos, el valor de CT^E_{barco} y de CT^P_{barco}, empleando las ecuaciones de segundo orden obtenidas y manteniendo los valores ya calculados para el Interurbano 5.

Tabla 22. CT_{Barco} por tipo de movilidad

	CT Barco - Interurbano				
Trayectos	Movilidad	$L_{C\ min}$ (km)	$L_{C\ max}$ (km)	CT^E_{Barco}	CT^P_{Barco}
"Norte-Norte" y "Sur-Sur"	Interurbano 1	45	190	1,244	1,246
	Interurbano 2	190	350	1,161	1,163
	Interurbano 3	350	460	1,132	1,133
	Interurbano 4	460	930	1,300	1,302
"Norte-Sur" y "Sur-Norte"	Interurbano 1	45	190	-	-
	Interurbano 2	190	350	-	-
	Interurbano 3	350	460	5,315	5,935
	Interurbano 4	460	930	3,250	3,629
Interurbano 5		930	1.400	1,097	1,076

Fuente: Elaboración propia

3.2.10 Transporte por tubería

La metodología de cálculo empleada para el cálculo de los coeficientes de trayectoria en el caso del transporte por tubería es ligeramente diferente respecto a la utilizada en los modos anteriores.

En los modos anteriores, para obtener el CT ponderado, se ha empleado como factor de ponderación, al no disponer de datos de tráficos de todos los modos, la suma de las poblaciones de origen y destino.

En el caso del transporte por tubería, se va a considerar como factor de ponderación, el diámetro de las tuberías, ya que este parámetro está directamente relacionado con el volumen transportado.

Asimismo, se analizará de forma diferenciada los coeficientes de trayectoria de los gasoductos y los oleoductos[5].

Gasoductos

Para el cálculo del coeficiente de trayectoria del transporte a través de gasoductos, se analizará la Red de Gasoductos de Transporte a Alta Presión en España, teniendo en cuenta tramos de gasoductos que constituyen una longitud total de tuberías de 5.948 km, lo que representa el 79 % del total de la red de gasoductos de alta presión de ENAGAS (7.538 km a finales de 2005).

A continuación se presenta el cálculo del $CT^{E}_{Gasoducto}$ y $CT^{P}_{Gasoducto}$.

Tabla 23. Cálculo del CT del Transporte por Gasoducto ($CT_{gasoducto}$)

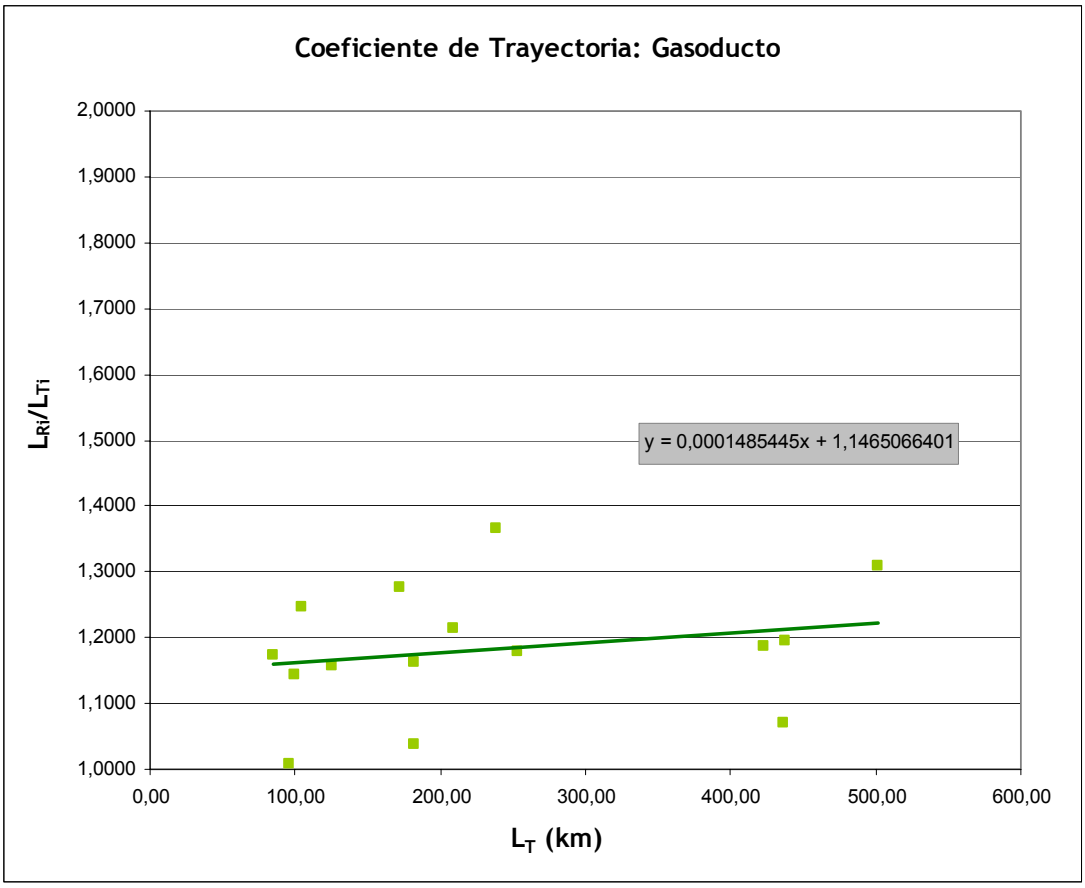
Gasoducto - Tipo: Interurbano						
Eje	Tramo del gasoducto	L_T (km)	L_{Ri} (km)	$CT_i=L_{Ri}/L_{Ti}$	Diámetro de tubería (mm)	L_{Ri} / Lti ponderado
Eje Central	Palos de la Frontera-Dos Hermanas-Villafracanca-Almodovár-Aranjuez	423,45	502,17	1,1859	609,6	0,0783
	Villafranca-Alcázar San Juan - Villarobledo	239,12	326,43	1,3651	863,6	0,1277
	Tarifa - Córdoba	209,53	254,57	1,2150	1.219,2	0,1605
	Gamonal-Villapresente-Llanera	253,00	298,45	1,1796	355,6	0,0455
	Haro-Gamonal-Villamayor-Sto Tomé del Puerto	172,46	220,11	1,2763	609,6	0,0843
	Aranda-Los Rábanos	99,79	114,08	1,1432	304,8	0,0378
	Santaella-Cártama	96,26	96,99	1,0076	508,0	0,0555
	Zarza de Tajo-Cuenca	85,28	100,11	1,1739	304,8	0,0388
Eje Oriental	Barcelona-Tivissa-Ribarroja-Alicante-Cartagena	501,21	655,77	1,3084	635,0	0,0900
	Barcelona-Tivissa-Zaragoza-VillarArnedo-Haro	437,25	522,97	1,1960	694,3	0,0900
Eje del Ebro	Serrablo-Zaragoza	104,68	130,36	1,2453	558,8	0,0754
	Conexión Francia-Villar Arnedo	125,00	144,58	1,1567	660,4	0,0828
Eje Occidental	Almendralejo-Coreses-Valverde de la Virgen	436,44	467,30	1,0707	584,2	0,0678
Eje Occidental hispano-portugués	Villafranca-Almendralejo	181,46	188,54	1,0390	812,8	0,0915
	Villalba-Santiago-Tuy	182,53	212,08	1,1619	508,0	0,0640
			$CT^{E}_{gasoducto}$	1,1816	$CT^{P}_{gasoducto}$	1,1898

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Cegarra, M. (2008)

[5] Los datos presentados en este apartado forman parte de la Nota Técnica NT 10. Incrementos del recorrido en el transporte por tubería, elaborada por Manuel Cegarra Plané, de la Fundación Agustín de Betancourt - Universidad Complutense de Madrid, en el marco del proyecto EnerTrans.

Si se representan los CT_i de cada trayecto frente a las L_T, se observa una tendencia ligeramente creciente:

Figura 12. Relación entre Coeficiente de Trayectoria y L_T de los Gasoductos



Fuente: Elaboración propia

Se calcula, empleando la ecuación lineal obtenida, el valor de $CT^E_{Gasoducto}$ y $CT^P_{Gasoducto}$ para cada uno de los tipos de movilidad definidos, en función de las distancias máximas y mínimas.

A continuación se presentan los resultados:

Tabla 24. $CT_{gasoducto}$ por tipo de movilidad

CT Gasoducto - Interurbano				
Movilidad	$L_{C\ min}$ (km)	$L_{C\ max}$ (km)	$CT^E_{Gasoducto}$	$CT^P_{Gasoducto}$
Interurbano 1	45	190	1,164	**1,172**
Interurbano 2	190	350	1,187	**1,195**
Interurbano 3	350	460	1,207	**1,215**
Interurbano 4	460	930	1,250	**1,258**
Interurbano 5	930	1.400	-	**-**

Fuente: Elaboración propia

Oleoductos

Para el cálculo del coeficiente de trayectoria del transporte a través de oleoductos, se tendrán en cuenta tramos de oleoductos de la Red de Oleoductos de CLH,S.A. (Transpote de productos petrolíferos refinados) y del Oleoducto de Repsol Petóleo, S.A. (Transporte de petróleo sin refinar) entre Cartagena y Puertollano.

A continuación se presenta el cálculo del $CT^{E}_{Oleoducto}$.

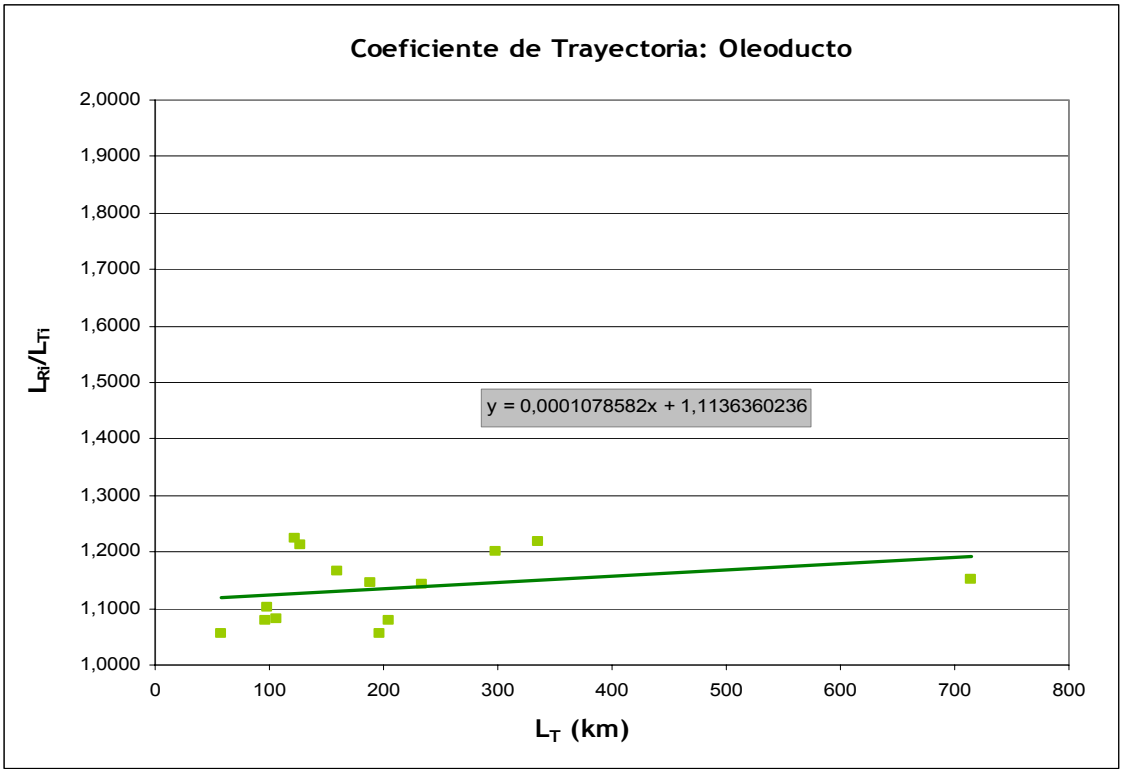
Tabla 25. Cálculo del CT del Transporte por Oleoducto ($CT_{Oleoducto}$)

Oleoducto - Tipo: Interurbano				
Oleoducto	**Tramo del oleoducto**	**L_T (km)**	**L_{Ri} (km)**	**$CT_i=L_{Ri}/L_{Ti}$**
Red de Oleoductos de CLH,S.A	Rota-Puertollano-La Muela	713,78	821,9	1,1515
	Alomodóvar-Loeches	197	208,1	1,0563
	Almodovar-Mérida	188	215,3	1,1452
	Algeciras-Rota	98	107,9	1,1010
	Tarragona-Zaragoza	123	150,5	1,2236
	Mafumet-Gerona	160,22	186,9	1,1665
	Huelva-Sevilla-Málaga	233,22	266,6	1,1431
	Somorrostro-Salamanca	334,81	407,4	1,2168
	Palencia-León	106	114,5	1,0802
	Miranda-Zaragoza	205	221	1,0780
	Castellón-Valencia	58	61,2	1,0552
	Cartagena-Alicante	96	103,5	1,0781
	A Coruña-Vigo	128	155	1,2109
Oleoducto de Repsol Petróleo, S.A.	Cartagena-Puertollano	298	358	1,2013
			$CT^{E}_{oleoducto}$	**1,1363**

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Cegarra, M. (2008)

Si se representan los CT_i de cada trayecto frente a las L_T, se observa una tendencia ligeramente creciente:

Figura 13. Relación entre Coeficiente de Trayectoria y L_T de los Gasoductos



Fuente: Elaboración propia

Se calcula, empleando la ecuación lineal obtenida, el valor de $CT^E_{Oleoducto}$ para cada uno de los tipos de movilidad definidos en función de las distancias máximas y mínimas.

Para obtener el valor de $CT^P_{Oleoducto}$, dado que no ha sido posible conseguir los datos de los diámetros de las tuberías, se ha multiplicado cada uno de los $CT^E_{Oleoducto}$ por el coeficiente resultante de dividir $CT^P_{Gasoducto}$ entre $CT^E_{Gasoducto}$.

A continuación se presentan los resultados:

Tabla 26. $CT_{Oleoducto}$ por tipo de movilidad

CT Oleoducto - Interurbano				
Movilidad	$L_{C\ min}$ (km)	$L_{C\ max}$ (km)	$CT^E_{Oleoducto}$	$CT^P_{Oleoducto}$
Interurbano 1	45	190	1,126	**1,134**
Interurbano 2	190	350	1,143	**1,151**
Interurbano 3	350	460	1,157	**1,165**
Interurbano 4	460	930	1,189	**1,197**
Interurbano 5	930	1.400	-	**-**

Fuente: Elaboración propia

3.3. Cálculo del Coeficiente de centralidad de terminales

Una vez calculado el *Coeficiente de trayectoria* en el ámbito interurbano, se procede al cálculo del coeficiente de Centralidad de Terminales. Para ello se parte de la siguiente fórmula:

$$CC_i = \frac{L_{Ti}}{L_C} \quad [15]$$

donde:

CC_i es el Coeficiente de Centralidad de Terminales para el modo i (km/km).

L_{Ti} (*Distancia entre Terminales*) es la distancia en línea recta (ortodrómica) entre la Terminal del modo i en el origen y la Terminal del modo i en el destino (km).

L_C (*Distancia entre Centros*) es la distancia en línea recta (ortodrómica) entre los centros del origen y de destino (km).

Como ya se ha comentado con anterioridad, en el ámbito interurbano, para prácticamente todos los modos, las L_{Ti} y las L_C son muy similares, ya que las terminales suelen estar cerca de los centros de las ciudades. La única excepción son los aeropuertos, que se suelen ubicar a cierta distancia de las ciudades.

Por lo tanto, se asume que CC_i es igual a 1 para todos los modos analizados, excepto para el avión.

A continuación se procede al cálculo del $CC_{avión}$, para el que se emplea una metodología muy similar a la empleada para el cálculo de los CT_i.

Tabla 27. Cálculo del $CC_{Avión}$

CC Avión - Interurbano						
Origen	Destino	L_{Ti} (km)	L_{Ci} (km)	$CC_i=L_{Ti}/L_{Ci}$	Suma de poblaciones	L_{Ri} / L_C ponderado
Madrid	Barcelona	483,372	481,68	1,0035	4.734.202	0,0675
Madrid	Valencia	283,356	283,43	0,9997	3.933.904	0,0559
Madrid	Sevilla	394,476	394,14	1,0009	3.833.014	0,0545
Madrid	Zaragoza	250,02	252,06	0,9919	3.777.781	0,0533
Madrid	Málaga	470,408	428,85	1,0969	3.689.231	0,0575
Madrid	Murcia	381,512	342,54	1,1138	3.545.596	0,0561
Madrid	Bilbao	318,544	321,3	0,9914	3.482.745	0,0491
Madrid	Alicante	353,732	353,22	1,0014	3.451.031	0,0491
Madrid	Córdoba	312,988	310,37	1,0084	3.451.467	0,0495
Barcelona	Valencia	296,32	292,41	1,0134	2.410.906	0,0347
Barcelona	Sevilla	809,324	809,03	1,0004	2.310.016	0,0328
Barcelona	Zaragoza	262,984	260,63	1,0090	2.254.783	0,0323
Barcelona	Málaga	766,728	764,59	1,0028	2.166.233	0,0309
Barcelona	Murcia	463	466,5	0,9925	2.022.598	0,0285
Barcelona	Bilbao	466,704	468,77	0,9956	1.959.747	0,0277
Barcelona	Córdoba	707,464	705,5	1,0028	1.928.469	0,0275
Valencia	Sevilla	524,116	527,14	0,9943	1.509.718	0,0213
Valencia	Zaragoza	246,316	245,59	1,0030	1.454.485	0,0207
Valencia	Málaga	470,408	472,42	0,9957	1.365.935	0,0193
Valencia	Murcia	192,608	184,91	1,0416	1.222.300	0,0181
Valencia	Bilbao	468,556	470,36	0,9962	1.159.449	0,0164
Valencia	Alicante	135,196	135,61	0,9969	1.127.735	0,0160
Valencia	Córdoba	420,404	422,78	0,9944	1.128.171	0,0159
Sevilla	Málaga	148,16	151,02	0,9811	1.265.045	0,0176
Sevilla	Murcia	450,036	415,28	1,0837	1.121.410	0,0173
Sevilla	Alicante	477,816	479,91	0,9956	1.026.845	0,0145
Sevilla	Córdoba	103,712	104,36	0,9938	1.027.281	0,0145
Zaragoza	Bilbao	237,056	631,68	0,3753	1.003.326	0,0054
Málaga	Murcia	348,176	321,19	1,0840	977.627	0,0151
Málaga	Alicante	390,772	391,32	0,9986	883.062	0,0125
Málaga	Córdoba	133,344	135,65	0,9830	883.498	0,0123
Murcia	Bilbao	638,94	612,5	1,0432	771.141	0,0114
Murcia	Alicante	61,116	70,41	0,8680	739.427	0,0091
Murcia	Córdoba	353,732	317,81	1,1130	739.863	0,0117
Bilbao	Alicante	592,64	593,31	0,9989	676.576	0,0096
Bilbao	Córdoba	627,828	627,81	1,0000	677.012	0,0096
Alicante	Córdoba	377,808	379,84	0,9947	645.298	0,0091
			$CC^E_{avión}$	0,9671	$CC^P_{avión}$	1,0048

Fuente: Elaboración propia

Se observa que el $CC^E_{avión}$ es ligeramente inferior a 1, es decir, como media, la distancia en línea recta entre aeropuertos es inferior a la distancia entre los centros de las ciudades correspondientes.

Sin embargo, si se tienen en cuenta los tráficos de cada aeropuerto, es decir, si se pondera por la población de las ciudades, el $CC^P_{avión}$ es ligeramente superior a 1.

3.4. Cálculo de la Constante modal de acceso y dispersión

Una vez calculados los *Coeficientes de Trayectoria* y los *Coeficientes de Centralidad* de Terminales, se procede al cálculo de la *Constante modal de acceso y dispersión* en el ámbito interurbano (AD_i).

Para ello,se calcula en primer lugar la Distancia modal de acceso y sispersión (L_{ADi}) como la media ponderada por la población de las distancias de acceso y dispersión de las 45 combinaciones para cada modo:

$$L_{ADi} = MediaPonderada\left(L_{acceso_i} + L_{dispersión_i}\right) \quad [16]$$

donde:

L_{ADi} es la distancia media ponderada que debe recorrer un viajero, que emplee un determinado modo i, desde su punto de origen a la estación de partida y desde la estación de llegada y su punto de destino final ($km_{recorridos\ de\ acceso\ y\ dispersión}$.

L_{Acceso_i} es la distancia recorrida en el modo j por un viajero del modo i entre el punto de origen inicial y la estación de salida (km_{acceso}).

$L_{Dispersión_i}$ es la distancia recorrida en el modo j por un viajero del modo i entre la estación de llegada y el punto de destino final ($km_{dispersión}$).

Partiendo de las 10 ciudades anteriores, se calculan las distancias desde el centro de cada una de ellas a las estaciones del modo correspondiente. Estas serán distancias de acceso (L_{Acceso}) o distancias de dispersión ($L_{Dispersión}$) en función de las 45 combinaciones definidas con anterioridad.

Para poder establecer una comparación y homogeneizar las distancias entre las diferentes ciudades analizadas, se establece como "punto de origen/destino" el "centro de ciudad" dado por la web www.viamichelin.es.

Empleando dicha web se obtienen las distancias entre el centro de cada ciudad y las diferentes estaciones:

Tabla 28. Distancias de acceso y dispersión

Distancias de acceso (L_{acceso}) y Distancias de dispersión ($L_{dispersión}$) (km)							
Madrid (Puerta del Sol)	**Autocar**	Estación Sur Mendez Álvaro	5,0	**Málaga (Plaza del Obispo)**	**Autocar**	Estación de autobuses.	2,0
	TurPje	-	0,0		**TurPje**	-	0,0
	TurConv	-	0,0		**TurConv**	-	0,0
	TrenAV	Glorieta del Emperador	1,6		**TrenAV**	Estación de tren.	1,7
	TrenConv	Glorieta del Emperador	1,6		**TrenConv**	Estación de tren.	1,7
	TrenMer	C/ Méndez Alvaro nº 84	5,0		**TrenMer**	Polig. Guadalhorce,	10,0
	Barco	-	-		**Barco**	Puerto	1,3
	Avión	Barajas, 28042 Madrid	15,0		**Avión**	Aeropuerto de Málaga	10,0
Barcelona (Plaza de Catalunya)	**Autocar**	Barcelona Nord. Carrer d'Alí	2,0	**Murcia (Plaza del Cardenal Belluga)**	**Autocar**	Estación de autobuses.	1,5
	TurPje	-	0,0		**TurPje**	-	0,0
	TurConv	-	0,0		**TurConv**	-	0,0
	TrenAV	Estació de Sants.	3,0		**TrenAV**	Estación del Carmen.	1,5
	TrenConv	Estació de Sants.	3,0		**TrenConv**	Estación del Carmen.	1,5
	TrenMer	Josep Carner s/n	4,5		**TrenMer**	Ctra Alcantarilla Km 6	5,3
	Barco	Port de europa	10,5		**Barco**	-	-
	Avión	El Prat de Llobregat	17,0		**Avión**	Aeropuerto de Murcia.	48,0
Valencia (Plaza del Ayuntamiento)	**Autocar**	Estación de Autobuses.	2,5	**Bilbao (Calle de la Rivera)**	**Autocar**	Estación de autobuses -	3,0
	TurPje	-	0,0		**TurPje**	-	0,0
	TurConv	-	0,0		**TurConv**	-	0,0
	TrenAV	Estación del Norte. Xàtiva,	0,3		**TrenAV**	-	0,0
	TrenConv	Estación del Norte. Xàtiva,	0,3		**TrenConv**	Estación de tren de	1,7
	TrenMer	Cami de Benlloch s/n 46013	6,5		**TrenMer**	Avda. Iparaguirre nº 58	19,0
	Barco	Av. Ingeniero manuel soto	4,7		**Barco**	muelle rina victoria	18,6
	Avión	Aeropuerto de Valencia -	10,0		**Avión**	Aeropuerto de Bilbao -	14,0
Sevilla (Paseo de Cristóbal Colón)	**Autocar**	Estación Plaza de Armas.	1,2	**Alicante (Plaza del Ayuntamiento)**	**Autocar**	Estación de autobuses	1,1
	TurPje	-	0,0		**TurPje**	-	0,0
	TurConv	-	0,0		**TurConv**	-	0,0
	TrenAV	Estación de Santa Justa	3,5		**TrenAV**	Alacant Terminal. Avda.	1,6
	TrenConv	Estación de Santa Justa	3,5		**TrenConv**	Alacant Terminal. Avda.	1,6
	TrenMer	Ronda La Doctora, s/n. Bda.	6,5		**TrenMer**	Avda. Elche s/n 3008	1,5
	Barco	Avda. Molini 6	1,8		**Barco**	muelle de Poniente	2,4
	Avión	Aeropuerto de Sevilla. San	19,0		**Avión**	Elche - Aeropuerto de	13,0
Zaragoza (Plaza de Nuestra Señora del Pilar)	**Autocar**	Estación de Delicias. Avda.	3,0	**Cordoba (Plaza del Cardenal Toledo)**	**Autocar**	Estación de autobuses.	1,5
	TurPje	-	0,0		**TurPje**	-	0,0
	TurConv	-	0,0		**TurConv**	-	0,0
	TrenAV	Estación de Delicias. Avda.	3,0		**TrenAV**	Estación de tren.	1,5
	TrenConv	Estación de Delicias. Avda.	3,0		**TrenConv**	Estación de tren.	1,5
	TrenMer	Camino Corbera Baja s/n	4,0		**TrenMer**	Ctra. Palma del Rio,	16,0
	Barco	-	-		**Barco**	-	0,0
	Avión	Aeropuerto de Zaragoza	18,0		**Avión**	-	0,0

Fuente: Elaboración propia a partir de www.viamichelin.es

Partiendo de estas distancias, se calculan las distancias totales de acceso y dispersión para cada una de las 45 combinaciones.

Tabla 29. Distancia Modal de Acceso y Dispersión Estática (L^{E}_{ADi})

		$L_{acceso} + L_{dispersión}$ (*km acceso+dispersión*)								
		Barcelona	Valencia	Sevilla	Zaragoza	Málaga	Murcia	Bilbao	Alicante	Córdoba
Madrid	Autocar	7,0	7,5	6,2	8,0	7,0	6,5	8,0	6,1	6,5
	TurPje									
	TurConv									
	TrenAV	4,6	1,9	5,1	4,6	3,3	3,1		3,2	3,1
	TrenConv	4,6	1,9		4,6			3,3		
	TrenMer	9,5	11,5	11,5	9,0	15,0	10,3	24,0	6,5	21,0
	Barco									
	Avión	32,0	25,0	34,0	33,0	25,0	63,0	29,0	28,0	
Barcelona	Autocar		4,5	3,2	5,0	4,0	3,5	5,0	3,1	3,5
	TurPje									
	TurConv									
	TrenAV		3,3	6,5	6,0				4,6	4,5
	TrenConv		3,3	6,5	6,0	4,7	4,5	4,7	4,6	4,5
	TrenMer		11,0	11,0	8,5	14,5		23,5	6,0	20,5
	Barco		15,2	12,3		11,8		29,1	12,9	
	Avión		27,0	36,0		27,0	65,0	31,0	30,0	
Valencia	Autocar			3,7	5,5	4,5	4,0	5,5	3,6	4,0
	TurPje									
	TurConv									
	TrenAV								1,9	
	TrenConv			3,8	3,3	2,0	1,8		1,9	1,8
	TrenMer			13,0		16,5		25,5		22,5
	Barco			6,5		6,0		23,3	7,1	
	Avión			29,0		20,0		24,0		
Sevilla	Autocar					3,2	2,7		2,3	2,7
	TurPje									
	TurConv									
	TrenAV				6,5					5,0
	TrenConv					5,2				5,0
	TrenMer				10,5			25,5		
	Barco					3,1		20,4	4,2	
	Avión							33,0	32,0	
Zaragoza	Autocar							6,0		
	TurPje							0,0	0,0	
	TurConv					0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	TrenAV									4,5
	TrenConv							4,7		
	TrenMer							23,0		20,0
	Barco									
	Avión									
Málaga	Autocar						3,5		3,1	3,5
	TurPje									
	TurConv									
	TrenAV									3,2
	TrenConv							3,4		3,2
	TrenMer							29,0		
	Barco							19,9	3,7	
	Avión							24,0		
Murcia	Autocar							4,5	2,6	3,0
	TurPje									
	TurConv									
	TrenAV									
	TrenConv								3,1	
	TrenMer							24,3		
	Barco									
	Avión									
Bilbao	Autocar								4,1	4,5
	TurPje									
	TurConv									
	TrenAV									
	TrenConv									3,2
	TrenMer								20,5	35,0
	Barco								21,0	
	Avión								27,0	
Alicante	Autocar									2,6
	TurPje									
	TurConv									0,0
	TrenAV									
	TrenConv									
	TrenMer									
	Barco									
	Avión									

Fuente: Elaboración propia

Para poder sumar las distancias de acceso y dispersión se ha supuesto que el viajero emplea el mismo modo para desplazarse desde el punto inicial de origen a la estación de origen y desde la estación de destino hasta el punto final de destino.

Tabla 30. Distancia Modal de Acceso y Dispersión Estática (L^{E}_{ADi})

Distancia Modal de Acceso y Dispersión	
Modo	**L^{E}_{ADi} (km)**
Autocar	4,19
Turismo por carretera convencional	0,00
Turismo por carretera peaje	0,00
Tren Convencional	3,79
Tren de Alta Velocidad	3,99
Tren de Mercancías	20,83
Avión	29,58
Barco	13,80

Fuente: Elaboración propia

Al igual que para el Coeficiente de Trayectoria, es necesario tener en cuenta la diferencia de tráficos en los 45 trayectos analizados.

Por ello, la suma de las distancias de acceso y dispersión se pondera por la suma de las poblaciones de origen y destino ya descritas con anterioridad.

Tabla 31. Distancias totales de acceso y dispersión ponderadas por población

		$L_{acceso} + L_{dispersión}$ (*km acceso+dispersión*) ponderado por población								
		Barcelona	Valencia	Sevilla	Zaragoza	Málaga	Murcia	Bilbao	Alicante	Córdoba
Madrid	Autocar	0,978	0,870	0,701	0,892	0,762	0,680	0,822	0,621	0,662
	TurPje									
	TurConv									
	TrenAV	0,713	0,246	0,642	0,573	0,400	0,362	0,000	0,364	0,352
	TrenConv	1,362	0,470		1,095			0,721		
	TrenMer	1,322	1,336	1,299	1,006	1,630	1,079	2,463	0,663	2,141
	Barco									
	Avión	4,957	3,233	4,276	4,107	3,026	7,349	3,314	3,181	0,000
Barcelona	Autocar		0,639	0,435	0,664	0,510	0,417	0,577	0,352	0,397
	TurPje									
	TurConv									
	TrenAV		0,735	1,382	1,254				0,819	0,800
	TrenConv		0,469	0,882	0,801	0,598	0,537	0,540	0,523	0,511
	TrenMer		1,776	1,696	1,288	2,094		3,066	0,775	2,642
	Barco		3,411	2,635		2,368		5,276	2,315	
	Avión		5,100	6,490		4,560	10,292	4,731	4,531	
Valencia	Autocar			0,623	0,892	0,685	0,545	0,711	0,453	0,503
	TurPje									
	TurConv									
	TrenAV								1,900	
	TrenConv			0,731	0,618	0,348	0,282		0,275	0,260
	TrenMer			3,800		4,359		5,714		4,938
	Barco			1,899		1,584		5,217	1,562	
	Avión			10,860		6,769		6,890	0,000	
Sevilla	Autocar					0,912	0,682		0,532	0,625
	TurPje									
	TurConv									
	TrenAV				3,709					2,147
	TrenConv					2,863				2,247
	TrenMer				5,932			11,094		
	Barco					1,168		6,419	1,296	
	Avión							16,661	15,844	
Zaragoza	Autocar							6,000		
	TurPje									
	TurConv									
	TrenAV									4,500
	TrenConv							4,700		
	TrenMer							11,638		9,880
	Barco									
	Avión									
Málaga	Autocar						0,668		1,254	1,416
	TurPje									
	TurConv									
	TrenAV									3,200
	TrenConv							1,723		1,579
	TrenMer							29,000		
	Barco							10,063	1,829	
	Avión							12,136		
Murcia	Autocar							1,542	0,854	0,986
	TurPje									
	TurConv									
	TrenAV									
	TrenConv								3,100	
	TrenMer							24,300		
	Barco									
	Avión									
Bilbao	Autocar								2,049	2,251
	TurPje									
	TurConv									
	TrenAV									
	TrenConv									3,200
	TrenMer								10,278	17,452
	Barco								21,000	
	Avión								27,000	
Alicante	Autocar									2,600
	TurPje									
	TurConv									0,000
	TrenAV									
	TrenConv									
	TrenMer									
	Barco									
	Avión									

Fuente: Elaboración propia

A continuación se presentan las L^P_{ADi} obtenidas después de ponderar:

Tabla 32. Distancia Modal de Acceso y Dispersión Ponderada (L^P_{ADi})

Distancia Modal de Acceso y Dispersión L^P_{ADi} (km)	
Modo	**L^P_{ADi} (km)**
Autocar	4,20
Turismo por carretera convencional	0,00
Turismo por carretera peaje	0,00
Tren Convencional	3,80
Tren de Alta Velocidad	4,02
Tren de Mercancías	20,58
Avión	26,37
Barco	13,61

Fuente: Elaboración propia

La *Constante modal de acceso y dispersión* (AD_i) se calcula multiplicando las L_{ADi} por el consumo medio del modo empleado para el acceso y la dispersión.

A modo de ejemplo, si se asume que el modo de acceso y dispersión es un taxi ya que es un modo presente en todas las ciudades y de acceso y dispersión a todos los modos, la constante modal se calcularía como:

$$AD_{Modoi} = C_{Taxi} \cdot DAD_i \quad [17]$$

Siendo C_{Taxi} la energía final consumida por kilómetro por el taxi empleado para el acceso y la dispersión.

Por lo tanto, es necesario fijar un consumo medio por kilómetro para el vehículo de acceso y dispersión en las unidades que deseemos obtener el consumo total por modo de transporte ($kWh/km_{acceso+dispersión}$).

Suponiendo que el taxi empleado para el acceso y la dispersión es un turismo de gasóleo de tamaño medio, el consumo medio en ciudad estaría entorno a los 7 litros/100 km. Suponiendo, además, que 1 litro de gasóleo equivale aproximadamente a 10 kWh (el consumo medio de un turismo de gasóleo por zona urbana es de 0,7 kWh/km), la Constante Modal de Accesibilidad y Dispersión sería la siguiente:

Tabla 33. Ejemplo de cálculo de la Constante Modal de Accesibilidad y Dispersión Ponderada (AD^P_i)

Constante Modal de Accesibilidad y Dispersión Ponderada	
Modo	**AD^P_i (kWh*)**
Autocar	2,94
Turismo por carretera convencional	0,00
Turismo por carretera peaje	0,00
Tren Convencional	2,81
Tren de Alta Velocidad	2,66
Tren de Mercancías	14,41
Avión	18,46
Barco	9,53

kWh de energía primaria consumida en el acceso y la dispersión, suponiendo que éste se realiza en un turismo medio de gasóleo con un consumo de 7l/100km (suponiendo que 1l/gasóleo equivale a 10 kWh).

Fuente: Elaboración propia

4. COEFICIENTES DE TRAYECTORIA DE CENTRALIDAD DE TERMINALES Y CONSTANTES DE ACCESO Y DISPERSIÓN EN LOS ÁMBITOS URBANO Y METROPOLITANO

En este apartado se detalla el procedimiento seguido para el cálculo de los *Coeficientes de Trayectoria* (CT_i), los *Coeficientes de Centralidad de Terminales* (CC_i) y la *Constante de Acceso y Dispersión (*AD_i) en los ámbitos urbano y metropolitano, así como los resultados obtenidos.

4.1. Consideraciones previas

Para el cálculo de los coeficientes de trayectoria en el ámbito urbano y metropolitano, se han tenido en cuenta los siguientes factores:

- Los vehículos públicos están sujetos a restricciones debidas a la aplicación de concesiones o autorizaciones en la línea correspondiente. Dichas concesiones obligan a los operadores a realizar una ruta determinada por un itinerario y con unas paradas y características definidas, que en muchas ocasiones no resultan ser las óptimas entre dos puntos. Las distancias reales se calculan a partir de los itinerarios resultantes de las restricciones.
- Los vehículos privados, al no estar sujetos a este tipo de restricciones, pueden realizar diferentes rutas entre los mismos puntos. Para el cálculo del coeficiente de corrección se analizarán la ruta óptima (más comodidad y seguridad en el menor tiempo posible).
- Se supone que el origen inicial y el destino final de los viajeros son los centros del barrio de origen y del barrio de destino, respectivamente. Para estandarizar los cálculos, se asume además, que este centro coincide con la parada de metro ubicada en el mismo.

Los Modos de transporte analizados en el ámbito urbano y metropolitano son:

- *Turismo*: incluye los vehículos particulares y taxis que realizan trayectos en los ámbitos urbano y metropolitano.
- *Bus*: incluye los autobuses de ámbito urbano y metropolitano.
- *Tren*: Incluye el metro pesado, el metro ligero, el tranvía y el tren de cercanías, al circular todos por ámbito urbano y metropolitano y tener características muy similares.

4.2. Coeficiente de Trayectoria

Para realizar el cálculo del *Coeficiente de Trayectoria* (CT_i) en el ámbito urbano y metropolitano se ha analizado el transporte de la ciudad de Madrid.

Se han seleccionado los 10 barrios madrileños con mayor número de habitantes censados, tratando a su vez de abarcar el mayor número de distritos posible.

Tabla 34. Barrios de Madrid seleccionados para el cálculo del VR

Barrio	Distrito
ALUCHE	LATINA
PUEBLO NUEVO	CIUDAD LINEAL
PINAR DEL REY	HORTALEZA
VENTAS	CIUDAD LINEAL
EL PILAR	FUENCARRAL-EL PARDO
EMBAJADORES	CENTRO
NUMANCIA	PUENTE DE VALLECAS
VISTA ALEGRE	CARABANCHEL
CASCO H.VICALVARO	VICALVARO
PROSPERIDAD	CHAMARTIN

Fuente: Elaboración propia

Surgen así un total de 45 combinaciones de trayectos entre los 10 barrios. Para cada una de estas combinaciones, se analizan los recorridos realizados por los tres modos ya definidos (Turismo, Bus urbano y Metro).

En segundo lugar, se calcula, para cada combinación, las distancias reales recorridas (L_{Ri}) por los diferentes modos.

Las distancias del Turismo se han calculado mediante la web www.viamichelin.es, suponiendo que el origen y el destino es exactamente la dirección de las entradas de metro, y escogiendo la "Ruta recomendada" ya que sería la que emplearía un ciudadano que conociese la ciudad.

Las distancias del Tren se han calculado realizando mediciones de los tramos de las líneas del metro sobre un mapa a escala 1:200 (Serie 3 del Consorcio de Transportes de Madrid).

Las distancias del Autobús se han calculado a partir de la web http://www.ctm-madrid.es/ mediante la aplicación "Itinerario recomendado entre dos puntos". Partiendo de los tiempos de viaje dados por la aplicación se han calculado los $km_{recorridos}$, asumiendo la velocidad comercial de 12 km/h, que es la que emplea la aplicación.

A continuación se presentan los resultados:

Tabla 35. Matriz de distancias reales recorridas entre estaciones (L_{Ri})

		Distancias reales recorridas por el modo entre estaciones (km_{reales})								
		Pueblo Nuevo	Pinar del Rey	Ventas	El Pilar	Embajadores	Numancia	Vista Alegre	Casco Hco. Vicálvaro	Prosperidad
Aluche	Bus urbano	12,40	17,80	12,20	14,00	8,20	13,60	2,20	16,20	14,00
	Turismo	15,70	19,90	14,40	16,10	9,50	16,00	3,00	20,00	22,00
	Metro	13,94	15,92	12,12	15,80	5,36	9,40	2,18	16,06	12,34
Pueblo Nuevo	Bus urbano		5,80	2,00	9,60	7,40	6,20	10,80	6,40	5,40
	Turismo		5,00	1,70	12,00	11,00	8,50	14,00	7,50	4,50
	Metro		8,12	1,82	9,64	7,00	6,88	11,66	10,06	4,00
Pinar del Rey	Bus urbano			6,40	8,00	9,30	9,40	12,20	11,20	4,10
	Turismo			5,50	6,00	15,00	10,00	18,00	11,00	4,50
	Metro			6,57	6,88	9,82	9,66	14,44	12,84	5,88
Ventas	Bus urbano				9,40	5,40	4,60	9,00	5,60	3,80
	Turismo				8,00	10,00	5,00	12,00	11,00	3,50
	Metro				8,09	5,18	5,06	9,84	8,24	2,80
El Pilar	Bus urbano					10,80	13,60	14,60	13,40	7,80
	Turismo					16,00	14,00	17,00	18,00	6,00
	Metro					9,70	13,92	13,71	15,46	7,40
Embajadores	Bus urbano						3,60	3,80	9,60	5,80
	Turismo						4,00	5,00	11,00	6,00
	Metro						5,30	3,18	13,88	6,26
Numancia	Bus urbano							8,00	7,60	8,40
	Turismo							9,00	8,50	7,50
	Metro							7,22	9,10	6,76
Vista Alegre	Bus urbano								13,20	9,80
	Turismo								18,00	14,00
	Metro								13,88	11,32
Casco Hco. Vicálvaro	Bus urbano									10,20
	Turismo									14,00
	Metro									9,72
Properidad	Bus urbano									
	Turismo									
	Metro									

Las distancias del turismo se ha calculado mediante la web www.viamichelin.es, suponiendo que el origen y el destino es exactamente la dirección de las entradas de metro, y escogiendo la "Ruta recomendada" ya que sería la que emplearía un ciudadano que conociese la ciudad.
Las distancias del metro se ha calculado realizando mediciones de los tramos de las líneas del metro sobre un mapa a escala 1:200 (Serie 3 del Consorcio de Transportes de Madrid)
Las distancias del autobús urbano se han calculado a partir de la web http://www.ctm-madrid.es/ mediante la aplicación de "Itinerario recomendado entre dos puntos". A partir de los tiempos de viaje dados por la aplicación se han calculado los kmrecorridos, asumiendo la velocidad comercial de 12 km/h, que es la que emplea la aplicación)
Turismo (Vehículo privado o taxi), **Metro** (Metro pesado, metro ligero, tranvía y cercanías), **Bus urbano** (Autobuses urbanos y metropolitanos)

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de www.viamichelin.es, www.ctm-madrid.es/ y Plano de Transportes "Serie 3" del Consorcio de Transportes de Madrid

Posteriormente, se calcula para cada una de las rutas existentes, las distancias en línea recta entre terminales (L_{Ti}). Para facilitar los cálculos, se asume que las distancias en línea recta entre terminales (L_{Ti}) son prácticamente iguales a las distancias en línea recta entre centros (L_C).

Para todos los modos se ha calculado la distancia en línea recta entre los barrios realizando mediciones sobre un mapa a escala 1:200 (Serie 3 del Consorcio de Transportes de Madrid).

A continuación se presentan los datos:

Tabla 36. Distancias en línea recta entre barrios ($L_c \approx L_{Ti}$)

	Distancias en línea recta entre barrios (km_{recta})								
	Pueblo Nuevo	Pinar del Rey	Ventas	El Pilar	Embajadores	Numancia	Vista Alegre	Casco H. Vicálvaro	Prosperidad
Aluche	11,4	13,1	9,7	9,2	5,5	8,3	2,0	13,0	9,7
Pueblo Nuevo		3,5	1,8	7,9	6,1	4,2	9,6	4,6	2,8
Pinar del Rey			4,2	4,9	8,3	8,2	11,5	7,9	3,4
Ventas				6,2	4,3	4,1	7,5	5,6	1,7
El Pilar					8,1	9,8	10,0	11,0	4,5
Embajadores						3,4	3,5	7,6	4,9
Numancia							5,8	4,7	5,6
Vista Alegre								11,0	8,1
Casco H. Vicálvaro									7,1

Las distancias están en km en línea recta, calculada a partir de mediciones sobre un mapa a escala 1:200 (Serie 3 del Consorcio de Transportes de Madrid).

Fuente: Elaboración propia a partir de mediciones sobre el Plano de Transportes "Serie 3" del Consorcio de Transportes de Madrid

Una vez hallados estos valores, se calcula para cada ruta y para cada modo de transporte el cociente entre la Distancia total recorrida y la distancia en línea entre terminales (L_{Ri}/L_{Ti}).

En la Tabla 16 se presentan los resultados.

Tabla 37. Matriz de cocientes entre distancias recorridas y distancias en línea recta entre estaciones (L_{Ri}/L_{Ti})

		Distancia real recorrida / Distancia linea recta								
		Pueblo Nuevo	Pinar del Rey	Ventas	El Pilar	Embajadores	Numancia	Vista Alegre	Casco Hco. Vicálvaro	Prosperidad
Aluche	Bus urbano	1,084	1,355	1,263	1,515	1,502	1,643	1,111	1,242	1,440
	Turismo	1,372	1,514	1,491	1,742	1,740	1,932	1,515	1,534	2,263
	Metro	1,219	1,212	1,255	1,710	0,982	1,135	1,101	1,232	1,270
Pueblo Nuevo	Bus urbano		1,638	1,099	1,209	1,217	1,462	1,130	1,385	1,901
	Turismo		1,412	0,934	1,511	1,809	2,005	1,464	1,623	1,585
	Metro		2,294	1,000	1,214	1,151	1,623	1,220	2,177	1,408
Pinar del Rey	Bus urbano			1,509	1,646	1,120	1,146	1,057	1,421	1,199
	Turismo			1,297	1,235	1,807	1,220	1,560	1,396	1,316
	Metro			1,550	1,416	1,183	1,178	1,251	1,629	1,719
Ventas	Bus urbano				1,519	1,244	1,133	1,206	1,007	2,289
	Turismo				1,292	2,304	1,232	1,609	1,978	2,108
	Metro				1,307	1,194	1,246	1,319	1,482	1,687
El Pilar	Bus urbano					1,340	1,388	1,457	1,219	1,749
	Turismo					1,985	1,429	1,697	1,638	1,345
	Metro					1,203	1,420	1,368	1,407	1,659
Embajadores	Bus urbano						1,056	1,076	1,263	1,174
	Turismo						1,173	1,416	1,447	1,215
	Metro						1,554	0,901	1,826	1,267
Numancia	Bus urbano							1,375	1,603	1,511
	Turismo							1,546	1,793	1,349
	Metro							1,241	1,920	1,216
Vista Alegre	Bus urbano								1,196	1,210
	Turismo								1,630	1,728
	Metro								1,257	1,398
Casco Hco. Vicálvaro	Bus urbano									1,433
	Turismo									1,966
	Metro									1,365

Fuente: Elaboración propia

Calculando la media aritmética de los cocientes de L_{Ri}/L_{Ti} se obtiene el Coeficiente de Trayectoria Estático (CT^E_i):

Tabla 38. Coeficientes de Trayectoria Estáticos (CT^E_i) para los ámbitos urbano y metropolitano

Coeficiente de Trayectoria Estático (CT^E_i)	
Modo	**CT^E_i**
Bus	1,348
Turismo	1,614
Tren	1,390

Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, con objeto de que el cálculo del coeficiente de trayectoria sea lo más aproximado posible a la realidad es necesario tener en cuenta los tráficos de viajeros entre cada barrio y a través de los diferentes modos.

Debido a la imposibilidad de obtener los tráficos reales entre los diferentes barrios, se ha optado por ponderar cada uno de los cocientes calculados en la tabla anterior por la suma de los habitantes censados entre los diferentes barrios.

Las cifras del censo de población de los barrios estudiados a 1 de octubre de 2007 son las siguientes:

Tabla 39. Censo de población de los barrios de Madrid analizados

Barrio	Habitantes
Aluche	74.851
Pueblo Nuevo	64.404
Pinar del Rey	57.785
Ventas	51.668
El Pilar	50.170
Embajadores	49.176
Numancia	48.525
Vista Alegre	48.457
Casco H. de Vicálvaro	45.968
Prosperidad	37.961

Padrón municipal de octubre de 2007

Fuente: www.munimadrid.es

A partir de estos datos se calculan los totales de población para cada uno de los trayectos.

Tabla 40. Suma de poblaciones para cada trayecto

	Suma de habitantes censados de ambos barrios (nº habitantes)								
	Pueblo Nuevo	Pinar del Rey	Ventas	El Pilar	Embajadores	Numancia	Vista Alegre	Casco H. Vicálvaro	Prosperidad
Aluche	139.255	132.636	126.519	125.021	124.027	123.376	123.308	120.819	112.812
Pueblo Nuevo		122.189	116.072	114.574	113.580	112.929	112.861	110.372	102.365
Pinar del Rey			109.453	107.955	106.961	106.310	106.242	103.753	95.746
Ventas				101.838	100.844	100.193	100.125	97.636	89.629
El Pilar					99.346	98.695	98.627	96.138	88.131
Embajadores						48.525	97.633	95.144	87.137
Numancia							96.982	94.493	86.486
Vista Alegre								94.425	86.418
Casco Hco. Vicálvaro									83.929

Las distancias están en km en línea recta, teniendo en cuenta las coordenadas de latitud y longitud de cada una de las ciudades.

Fuente: Elaboración propia

El *Coeficiente de Trayectoria Ponderado* (CT^P_i) se calcula como la media ponderada por la población de los cocientes de las 45 combinaciones para cada modo:

$$CT_i = MediaPonderada\left(\frac{L_{Ri}}{L_{Ti}}\right) \quad [18]$$

donde:

CT_i es el coeficiente de Trayectoria para el modo i, siendo los modos el Turismo, el Bus y el Tren ($km_{recorrida}/km_{recta}$).

L_{Ri} es la distancia real recorrida por el modo i entre los puntos de origen y destino ($km_{recorridos}$).

L_{Ti} es la distancia en línea recta entre terminales de origen y destino (km_{recta}).

Se presentan a continuación los resultados:

Tabla 41. Coeficientes de Trayectoria Ponderados (CT^P_i) para los ámbitos urbano y metropolitano

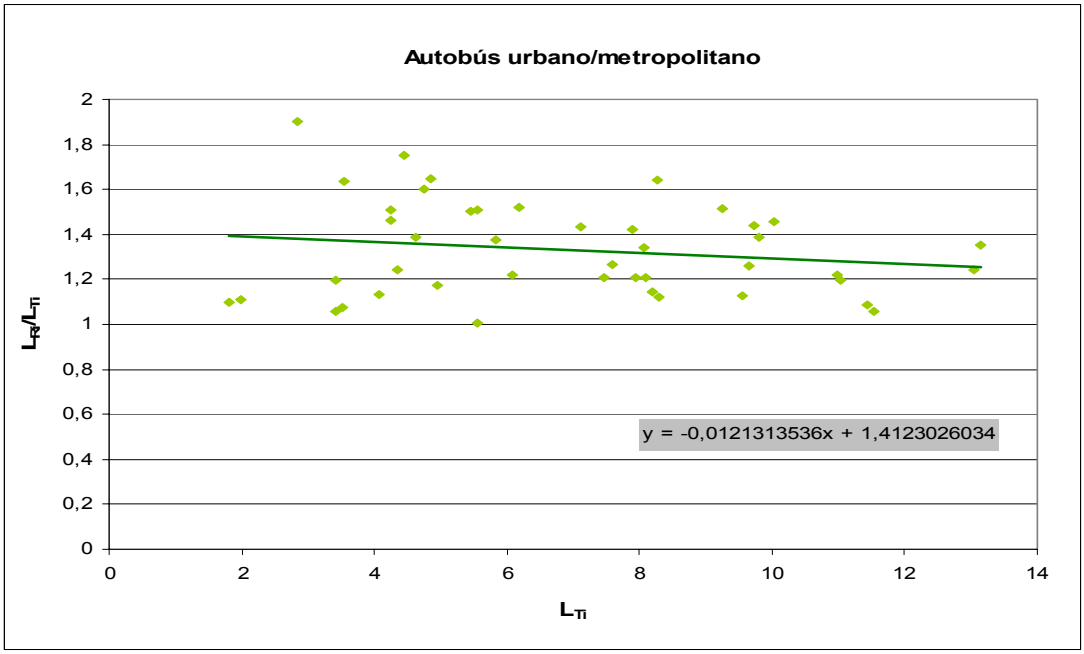
Coeficiente de Trayectoria Ponderado (CT^P_i)	
Modo	**CT^P_i**
Bus	1,346
Turismo	1,615
Tren	1,387

Fuente: Elaboración propia

Al igual que se ha realizado en el ámbito interurbano, si se representan los CT_i de cada trayecto frente a las L_T para cada uno de los modos analizados, puede desprenderse cierta relación.

Para el autobús urbano y metropolitano la relación es de carácter decreciente:

Figura 14. Relación entre Coeficiente de Trayectoria y L_T del Autobús



Fuente: Elaboración propia

Se calcula el valor de $CT^E_{Autobús}$ y $CT^P_{Autobús}$ para cada uno de los tipos de movilidad definidos, empleando la ecuación lineal obtenida.

A continuación se presentan los resultados:

Tabla 42. $CT_{Autobús}$ por tipo de movilidad

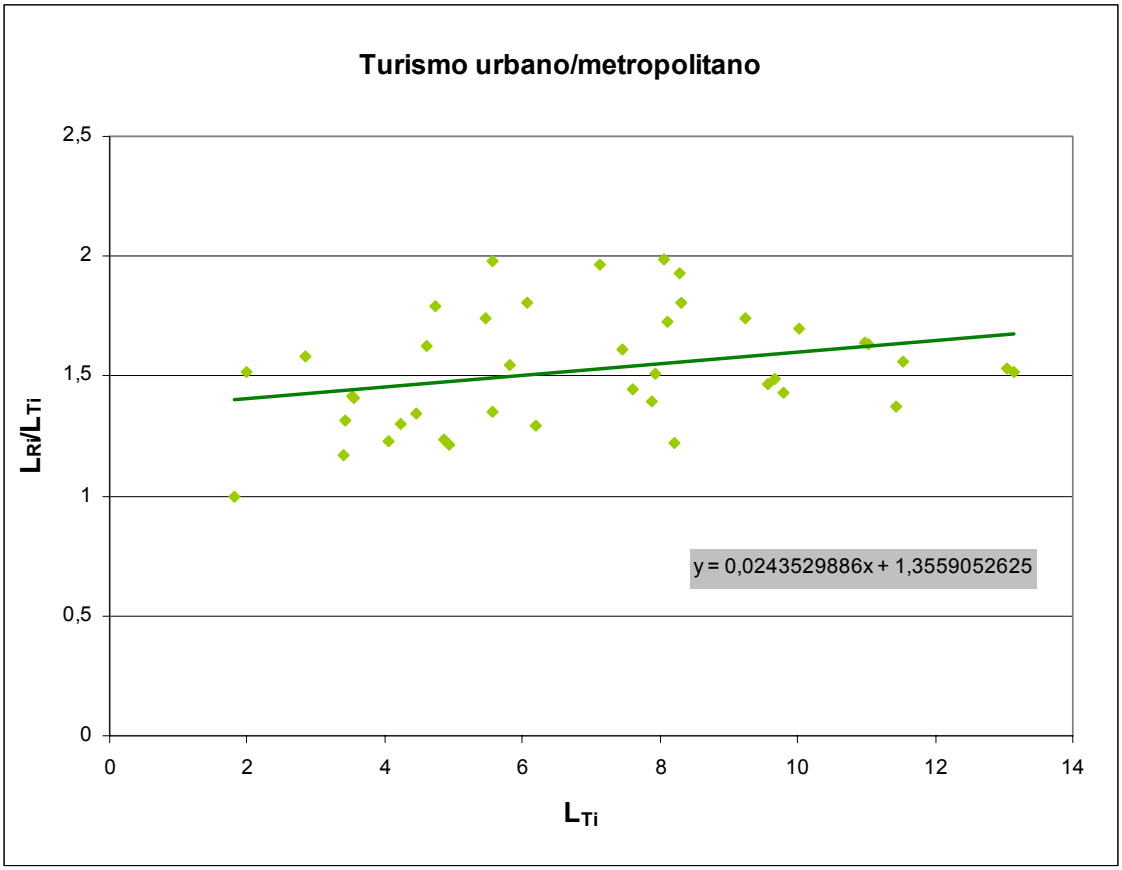
CT Autobús - Urbano y Metropolitano				
Movilidad	**$L_{C\ min}$ (km)**	**$L_{C\ max}$ (km)**	**$CT^E_{Autobús}$**	**$CT^P_{Autobús}$**
Urbano 1	0	4	1,388	**1,386**
Urbano 2	4	8	1,340	**1,338**
Metropolitano 1	8	15	1,273	**1,271**
Metropolitano 2	15	30	1,230	**1,229**
Metropolitano 3	30	45	1,230	**1,229**

Nota: Para el Metropolitano 2 y 3 se mantiene fijo el valor obtenido a 15 km, asumiendo que no sigue descendiendo.

Fuente: Elaboración propia

Para el vehículo particular en ámbito urbano y metropolitano la relación es de carácter creciente:

Figura 15. Relación entre Coeficiente de Trayectoria y L_T del Turismo



Fuente: Elaboración propia

Se calcula el valor de $CT^E_{Turismo}$ y $CT^P_{Turismo}$ para cada uno de los tipos de movilidad definidos, empleando la ecuación lineal obtenida.

A continuación se presentan los resultados:

Tabla 43. $CT_{Turismo}$ por tipo de movilidad

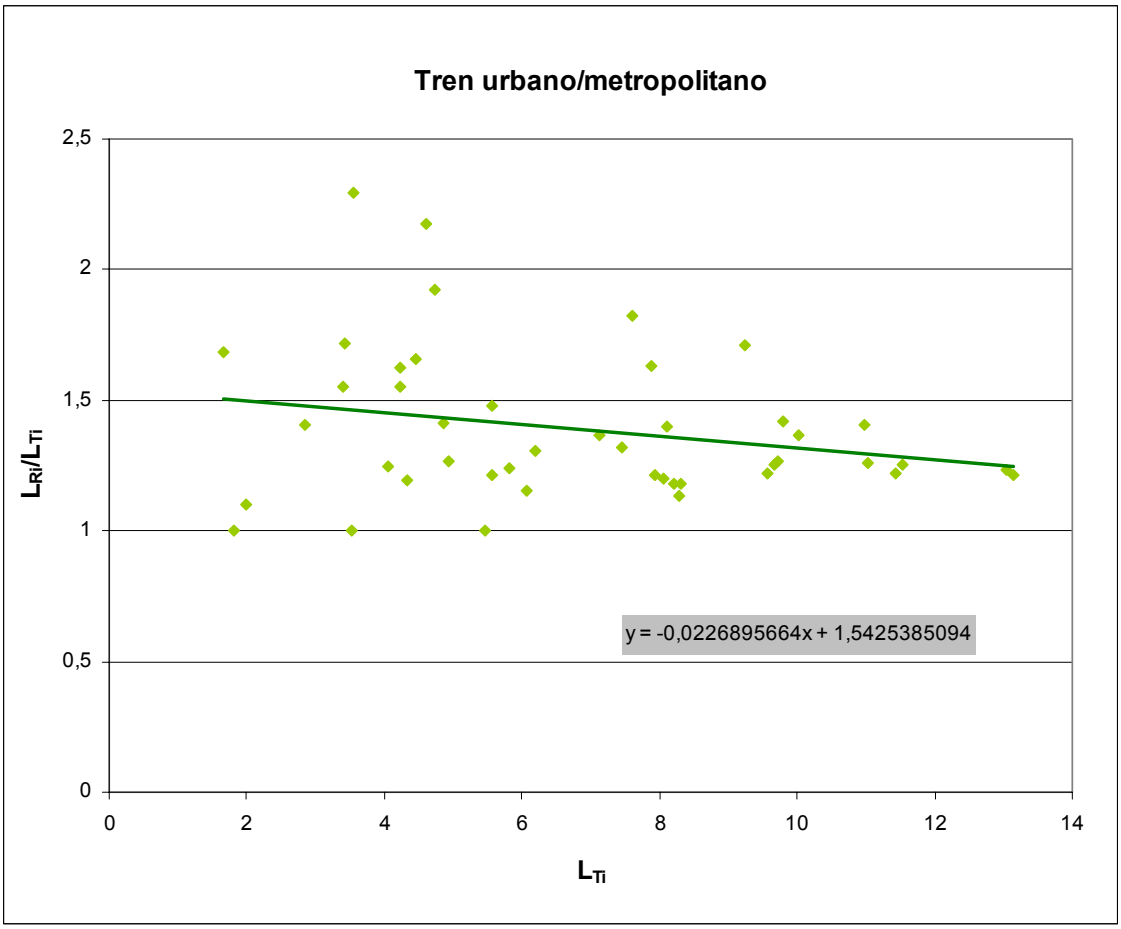
CT Turismo - Urbano y Metropolitano				
Movilidad	**$L_{C\ min}$ (km)**	**$L_{C\ max}$ (km)**	**$CT^E_{Turismo}$**	**$CT^P_{Turismo}$**
Urbano 1	0	4	1,424	**1,425**
Urbano 2	4	8	1,510	**1,511**
Metropolitano 1	8	15	1,553	**1,554**
Metropolitano 2	15	30	1,553	**1,554**
Metropolitano 3	30	45	1,553	**1,554**

Nota: Para el Metropolitano 2 y 3 se mantiene fijo el valor obtenido a 15 km, asumiendo que no sigue aumentando

Fuente: Elaboración propia

Por último, para el tren urbano y metropolitano (metro, tranvía, cercanías, etc.) la relación es de carácter decreciente:

Figura 16. Relación entre Coeficiente de Trayectoria y L_T del Tren



Fuente: Elaboración propia

Se calcula el valor de CT^E_{Tren} y CT^P_{Tren} para cada uno de los tipos de movilidad definidos, empleando la ecuación lineal obtenida.

A continuación se presentan los resultados:

Tabla 44. CT_{Tren} por tipo de movilidad

CT_{Tren} - Urbano y Metropolitano				
Movilidad	$L_{C\ min}$ (km)	$L_{C\ max}$ (km)	CT^{E}_{Tren}	CT^{P}_{Tren}
Urbano 1	0	4	1,497	**1,494**
Urbano 2	4	8	1,406	**1,407**
Metropolitano 1	8	15	1,282	**1,283**
Metropolitano 2	15	30	1,202	**1,203**
Metropolitano 3	30	45	1,202	**1,203**

Nota: Para el Metropolitano 2 y 3 se mantiene fijo el valor obtenido a 15 km, asumiendo que no sigue descendiendo.

Fuente: Elaboración propia

4.3. Coeficiente de centralidad de terminales

Las diferencias entre la L_{Ti} y la L_C en el ámbito urbano y metropolitano son prácticamente despreciables. Por lo tanto, a efectos de cálculo, se asume que para todos los tipos de movilidad del ámbito urbano y metropolitano CC_i=1.

4.4. Constante de Acceso y Dispersión (AD_i)

Del mismo modo, las distancias de acceso y dispersión en el ámbito urbano y metropolitano son muy pequeñas, y con frecuencia no se utilizan modos motorizados para realizarlas. Por lo tanto, a efectos de cálculo, se asume que para todos los tipos de movilidad del ámbito urbano y metropolitano AD_i=0.

BIBLIOGRAFÍA

DOCUMENTOS ENERTRANS

Grupo de Investigación en consumo energético del transporte aéreo de la Universidad Autónoma de Madrid, en el marco del proyecto EnerTrans. ***NT 4. Variables que influyen en el recorrido y cociente entre trayectoria y desplazamiento en el transporte aéreo***. Proyecto Enertrans.

García Álvarez, A. y Fernández González, E. (2008): Nota Técnica EnerTrans 5 "Estudio de las variables que influyen en el incremento de recorridos e incidencia del cociente entre trayectoria y desplazamiento en el transporte ferroviario".

Grupo de investigación del transporte marítimo de la Fundación de la Universidad de Oviedo. ***NT 8. Características de la navegación marítima***.

Alberto Cillero, Paula Bouzada, Alberto García, María del Pilar Martín. **Criterios y Métrica de estandarización de los consumos y emisiones en el transporte.** *Monografía 5. Proyecto ENERTRANS*.

Manuel Cegarra Plané, Fundación Agustín de Betancourt - Universidad Complutense de Madrid. ***NT 10. Incrementos del recorrido en el transporte por tubería***. Proyecto Enertrans.

LIBROS

C. Hass-Klau, G. Crampton, M Weidauer y V. Deutsch. ***Bus or Light Rail: Making the Right Choice***. Bergische Universitat. 2000.

J. M. Ruiz. ***Transporte por carretera***. Biblioteca de Logística. 2006

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Figura 1. Tipologías de distancias 5

Tabla 1. Resumen de los coeficientes y constantes de corrección del incremento del recorrido por longitud de caminos, operación y gestión..... 7

Figura 2. Tipologías de distancias 11

Tabla 2. Matriz de operadores por modos entre ciudades..... 18

Tabla 3. Población de la 10 capitales de provincia con mayor número de habitantes censados 19

Tabla 4. Cálculo del Coeficiente de Trayectoria del Autocar ($CT_{autocar}$)..... 20

Figura 3. Relación entre el Coeficiente de Trayectoria y la L_T del Autocar 21

Tabla 5. $CT_{autocar}$ por tipo de movilidad 21

Tabla 6. Cálculo del CT del Turismo por carretera convencional ($CT_{turismo_conv}$)..... 22

Figura 4. Relación entre Coeficiente de Trayectoria y L_T del Turismo por Carretera Convencional..... 23

Tabla 7. CT_{tur_conv} por tipo de movilidad 23

Tabla 8. Cálculo del CT del Turismo por autopista de peaje. (CT_{tur_pejae})..... 24

Figura 5. Relación entre CT y L_T del Turismo por autopista de peaje 25

Tabla 9. CT_{tur_pejae} por tipo de movilidad 25

Tabla 10. Cálculo del CT del Tren convencional (CT_{tren_conv}) 26

Figura 6. Relación entre CT y L_T del Tren convencional 27

Tabla 11. CT_{tren_conv} por tipo de movilidad 27

Tabla 12. Cálculo del CT del Tren de alta velocidad (CT_{tren_AV}) 28

Figura 7. Relación entre Coeficiente de Trayectoria y L_T del Tren_AV 29

Tabla 13. CT_{tren_AV} por tipo de movilidad 29

Tabla 14. Cálculo del CT del Tren de Mercancías (CT_{tren_merc}) 30

Figura 8. Relación entre Coeficiente de Trayectoria y L_T del Tren de Mercancías 31

Tabla 15. CT_{tren_Merc} por tipo de movilidad 31

Tabla 16. Cálculo del CT del Avión ($CT_{avión}$) para movilidades tipo Interurbano 1-4 .. 33

Figura 9. Relación entre Coeficiente de Trayectoria y L_T del Avión 34

Tabla 17. Cálculo del CT del Avión ($CT_{avión}$) para el tipo de movilidad Interurbano 5 34

Tabla 18. $CT_{Avión}$ por tipo de movilidad 35

Tabla 19. Cálculo del CT del Transporte Marítimo (CT_{barco}) de trayectos “Norte-Sur” y “Sur-Norte” 36

Figura 10. Relación entre Coeficiente de Trayectoria y L_T del Barco para trayectos “Norte-Sur” y “Sur-Norte”..... 37

Tabla 20. Cálculo del CT del Transporte Marítimo (CT_{barco}) de trayectos “Norte-Sur” y “Sur-Norte” 38

Figura 11. Relación entre Coeficiente de Trayectoria y L_T del Barco para trayectos "Norte-Sur" y "Sur-Norte" 38

Tabla 21. Cálculo del CT del Transporte Marítimo (CT_{barco}) de trayectos "Norte-Sur" y "Sur-Norte" 39

Tabla 22. CT_{Barco} por tipo de movilidad 39

Tabla 23. Cálculo del CT del Transporte por Gasoducto ($CT_{gasoducto}$) 40

Figura 12. Relación entre Coeficiente de Trayectoria y L_T de los Gasoductos 41

Tabla 24. $CT_{gasoducto}$ por tipo de movilidad 41

Tabla 25. Cálculo del CT del Transporte por Oleoducto ($CT_{Oleoducto}$) 42

Figura 13. Relación entre Coeficiente de Trayectoria y L_T de los Gasoductos 43

Tabla 26. $CT_{Oleoducto}$ por tipo de movilidad 43

Tabla 27. Cálculo del $CC_{Avión}$ 45

Tabla 28. Distancias de acceso y dispersión 47

Tabla 29. Distancia Modal de Acceso y Dispersión Estática (L^E_{ADi}) 48

Tabla 30. Distancia Modal de Acceso y Dispersión Estática (L^E_{ADi}) 49

Tabla 31. Distancias totales de acceso y dispersión ponderadas por población 50

Tabla 32. Distancia Modal de Acceso y Dispersión Ponderada (L^P_{ADi}) 51

Tabla 33. Ejemplo de cálculo de la Constante Modal de Accesibilidad y Dispersión Ponderada (AD^P_i) 51

Tabla 34. Barrios de Madrid seleccionados para el cálculo del VR 53

Tabla 35. Matriz de distancias reales recorridas entre estaciones (L_{Ri}) 54

Tabla 36. Distancias en línea recta entre barrios ($L_c \approx L_{Ti}$) 55

Tabla 37. Matriz de cocientes entre distancias recorridas y distancias en línea recta entre estaciones (L_{Ri}/L_{Ti}) 55

Tabla 38. Coeficientes de Trayectoria Estáticos (CT^E_i) para los ámbitos urbano y metropolitano 56

Tabla 39. Censo de población de los barrios de Madrid analizados 56

Tabla 40. Suma de poblaciones para cada trayecto 56

Tabla 41. Coeficientes de Trayectoria Ponderados (CT^P_i) para los ámbitos urbano y metropolitano 57

Figura 14. Relación entre Coeficiente de Trayectoria y L_T del Autobús 57

Tabla 42. $CT_{Autobús}$ por tipo de movilidad 58

Figura 15. Relación entre Coeficiente de Trayectoria y L_T del Turismo 58

Tabla 43. $CT_{Turismo}$ por tipo de movilidad 59

Figura 16. Relación entre Coeficiente de Trayectoria y L_T del Tren 59

Tabla 44. CT_{Tren} por tipo de movilidad 60

Documentos del Proyecto EnerTrans

Monografías EnerTrans

Monografía 1: **"El sistema español de transporte y sus impactos sobre la sostenibilidad":** José Ignacio Pérez Arriaga, Eduardo Pilo de la Fuente, Ignacio de L. Hierro Ausín

Monografía 2: **"Usos de la energía en el transporte":** Alberto García Álvarez, Mª del Pilar Martín Cañizares

Monografía 3: **"Modelos de consumos y emisiones: Estado del arte":** Timoteo Martínez Aguado, Aurora Ruiz Rúa, Ana Isabel Muro

Monografía 4: **"Análisis de las estadísticas de consumos energéticos y emisiones de CO2 en el transporte":** Alberto Cillero, Paula Bouzada Outeda

Monografía 5: **"Tablas input-output relacionadas con las estadísticas de consumos y emisiones en el transporte":** Timoteo Martínez Aguado, Aurora Ruíz Rúa, Ana Isabel Muro Rodríguez

Monografía 6: **"Métrica y estandarización de los consumos y emisiones en el transporte":** Alberto Cillero Hernández, Paula Bouzada Outeda, Alberto García Álvarez, Mª del Pilar Martín Cañizares

Monografía 7: **"Incremento de recorrido en el transporte por longitud de caminos, operación y gestión":** Alberto Cillero Hernández, Paula Bouzada Outeda, Alberto García Álvarez, Mª del Pilar Martín Cañizares

Monografía 8: **"Flujos del petróleo y del gas natural para el transporte":** José Mª López Martínez, Javier Sánchez Alejo, Álvaro Gómez, Ángel Fernández.

Monografía 9: **"Flujos de la energía de la electricidad para el transporte":** Eduardo Pilo de la Fuente, José Ignacio Pérez Arriaga, Ignacio de L. Hierro Ausín, Jesús Jiménez Octavio

Monografía 10: **"Consumo de energía y emisiones asociadas a la construcción y mantenimiento de infraestructuras":** Timoteo Martínez Aguado, Mª José Calderón Milán, Ana Isabel Muro Rodríguez

Monografía 11: **"Consumo de energía y emisiones asociadas a la construcción y mantenimiento de vehículos":** José Mª López Martínez, Javier Sánchez Alejo

Monografía 12: **"Consumo de energía y emisiones asociadas al transporte por coche y camión":** José María López Martínez, Javier Sánchez Alejo

Monografía 13: **"Consumo de energía y emisiones asociadas al transporte por autobús y autocar":** Alberto Cillero Hernández, Gustavo Martinelli, Paula Bouzada Outeda

Monografía 14: **"Consumo de energía y emisiones asociadas al transporte por avión":** Grupo de investigación en consumo energético del transporte aéreo de la Universidad Autónoma de Madrid

Monografía 15: **"Consumo de energía y emisiones asociadas al transporte por barco":** Grupo de investigación del transporte marítimo de la Fundación Universidad de Oviedo

Monografía 16: **"Consumo de energía y emisiones asociadas al transporte por ferrocarril":** Alberto García Álvarez, Mª del Pilar Martín Cañizares

Monografía 17: **"Consumo de energía y emisiones asociadas al transporte por tubería":** Manuel Cegarra Plané

Monografía 18: **"ENERTRANS: Modelo de cálculo y predicción de los consumos energéticos y emisión del sistema de transporte que permita valorar la sensibilidad de los consumos a las decisiones de inversión en infraestructura y de política de transporte":** Grupo de investigación del proyecto Enertrans

Notas técnicas EnerTrans

Nota técnica 1: **"Introducción al transporte por tubería":** Manuel Cegarra Plané

Nota técnica 2: **"Informe sobre el tráfico internacional y el consumo de carburante en el sector aeronáutico**": Grupo de investigación en consumo energético del transporte aéreo de la Universidad Autónoma de Madrid

Nota técnica 3: **"Informe sobre el suministro de combustible en los aeropuertos en España":** Grupo de investigación en consumo energético del transporte aéreo de la Universidad Autónoma de Madrid

Nota técnica 4: **"Estudio sobre las variables que influyen en el incremento de recorridos o incidencia del cociente entre trayectoria y desplazamiento en el transporte aéreo":** Grupo de investigación en consumo energético del transporte aéreo de la Universidad Autónoma de Madrid

Nota técnica 5: **"Estudio sobre las variables que influyen en el incremento de recorridos o incidencia del cociente entre trayectoria y desplazamiento en el transporte ferroviario":** Alberto García Álvarez, Eduardo Fernández González

Nota técnica 6: **"Estudio sobre las variables que influyen en el incremento de recorridos o incidencia del cociente entre trayectoria y desplazamiento en el transporte por tubería":** Manuel Cegarra Plané

Nota técnica 7: **"Informe sobre el tráfico español y el consumo de carburante en el sector marítimo":** Grupo de investigación del transporte marítimo de la Fundación Universidad de Oviedo

Nota técnica 8: **"Análisis de documentación referida al transporte marítimo**": Grupo de investigación del transporte marítimo de la Fundación Universidad de Oviedo

Nota técnica 9: **"Aspectos generales del transporte marítimo":** Grupo de investigación del transporte marítimo de la Fundación Universidad de Oviedo

Nota técnica 10: **"Características de la navegación marítima":** Grupo de investigación del transporte marítimo de la Fundación Universidad de Oviedo

Nota técnica 11: **"Consumo de los servicios auxiliares en el automóvil":** José Mª López Martínez, Juan José Herrero

Nota técnica 12: **"Notas sobre los valores del coeficiente de resistencia a la rodadura":** José Mª López Martínez, Juan José Herrero

Nota técnica 13: **"Tipos de aeronaves según su compañía constructora":** Grupo de investigación en consumo energético del transporte aéreo de la Universidad Autónoma de Madrid