



**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

**ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

**Grado en Ingeniería Mecánica**

**DISEÑO DE UN MODELO DE DINÁMICA DE  
SISTEMAS PARA ANALIZAR LAS CUENTAS  
ENERGÉTICAS DEL TRANSPORTE EN ESPAÑA**

**Autora:**

**Benito Núñez, Beatriz**

**Tutora:**

**Mediavilla Pascual, Margarita**

Departamento de Ingeniería de  
Sistemas y Automática

**Valladolid, noviembre de 2016.**





**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

**ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

**Grado en Ingeniería Mecánica**

**Diseño de un modelo de dinámica de  
sistemas para analizar las cuentas  
energéticas del transporte en España**

**Autora:**

**Benito Núñez, Beatriz**

**Tutora:**

**Mediavilla Pascual, Margarita  
Departamento de Ingeniería de  
Sistemas y Automática**

**Valladolid, noviembre de 2016.**



## AGRADECIMIENTOS

*En primer lugar a mi familia, que desde la pequeña distancia que nos ha separado todo este tiempo, me ha apoyado desde un principio, animándome cada día desde el día que elegí adentrarme en esta aventura. A mi madre y a mi padre por esa paciencia que han tenido conmigo y el sacrificio y empeño que han puesto en que acabara este grado y así asegurarme un buen futuro. A mi hermano por alentarme, apoyarme siempre. Y por último un miembro de la familia muy especial para mí, una gatita que empezó a formar parte de mi vida durante esta etapa y que tantos días me ha acompañado en mi estudio.*

*A mi tutora por darme la oportunidad de realizar este TFG y enseñándome el camino que tenía que seguir este proyecto.*

*Por último, a todas las personas que he conocido desde que comencé esta andadura en la Universidad de Valladolid, tanto a mis compañeros de clase (de los cuales mencionar un grupo muy especial con los que he compartido y sigo compartiendo infinidad de vivencias), compañeros de piso y compañeras de equipos de competiciones deportivas. De cada una de estas facetas me llevo un cúmulo de cosas positivas y un gran aprendizaje.*

*En definitiva, gracias a todas aquellas personas que hicieron y hacen que cada día me desarrolle como persona y alcance mis metas tanto en los estudios como profesionalmente.*





## RESUMEN

En el presente Trabajo de Fin de Grado se plantea el estudio del consumo energético debido al transporte en España mediante un modelo en dinámica de sistemas creado para este propósito. A partir de los datos extraídos del estudio Las Cuentas Ecológicas del Transporte en España encargado por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente y publicado en 2014, se ha modelado una estructura de variables relacionadas entre sí en forma de ecuaciones diferenciales. Esto permite realizar simulaciones y visualizar el comportamiento del modelo mediante tablas y gráficos en un periodo de tiempo determinado hasta el presente. De la misma forma, e imponiendo determinadas políticas de crecimiento o disminución de ciertos modos y medios de transporte, la simulación del modelo permite estimar las tendencias de aumento o reducción del consumo de energía en el transporte en un futuro próximo.

## PALABRAS CLAVE

Dinámica de Sistemas, transporte, cuentas ecológicas, cuentas energéticas, energía



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES

*TFG: Diseño de un modelo de dinámica de sistemas para  
analizar las cuentas energéticas del transporte en España*

*Beatriz Benito Núñez*

---





## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>19</b>
1.1. Presentación.....	20
1.2. Objetivos .....	21
1.3. Presentación de la memoria .....	22
<b>2. DINÁMICA DE SISTEMAS</b> .....	<b>23</b>
2.1. Introducción .....	24
2.1.1. ¿Quién lo utiliza?.....	25
2.1.2. Etapas del modelado .....	25
2.2. Historia .....	26
2.3. Campos de aplicación.....	28
2.4. Software comercial.....	28
2.5. Elementos básicos en el modelado con dinámica de sistemas .....	29
2.5.1. Variables de estado, <i>stock</i> , memoria o almacén .....	30
2.5.2. Flujo o variación de la variable de estado.....	30
2.5.3. Variables auxiliares.....	31
2.5.4. Variables <i>shadow</i> .....	32
<b>3. LAS CUENTAS ENERGÉTICAS DEL TRANSPORTE</b> .....	<b>34</b>
3.1. Introducción .....	34
3.2. El transporte interior de personas y mercancías.....	34
3.3. Consumo de energía en el transporte .....	36
3.4. Energía en la fabricación y puesta en uso .....	41
3.5. Energía en la construcción de infraestructuras.....	42
3.6. Energía en la fase de desplazamiento o circulación .....	42
3.7. Energía en el mantenimiento y gestión del sistema .....	44
3.8. Energía en el fin de la vida útil de los vehículos .....	45
<b>4. PRINCIPALES MAGNITUDES DEL TRANSPORTE</b> .....	<b>47</b>
4.1. Introducción .....	48
4.2. El transporte interior de personas .....	48
4.3. El transporte interior de bienes y mercancías .....	53

5. LA ENERGÍA EN EL TRANSPORTE .....	59
5.1. Introducción .....	60
5.2. Energía en la fabricación y puesta en uso .....	60
5.3. Energía en la construcción de infraestructuras .....	62
5.4. Energía en la fase de desplazamiento o circulación .....	64
5.5. Energía en el mantenimiento y gestión del sistema.....	68
5.6. Energía en el fin de la vida útil de los vehículos .....	68
5.7. Consumo total de energía.....	69
6. SIMULACIONES DEL MODELO.....	71
6.1. Introducción .....	72
6.2. Escenario 1 .....	73
6.3. Escenario 2 .....	76
6.4. Escenario 3 .....	78
6.5. Escenario 4 .....	82
6.6. Escenario 5 .....	84
6.7. Escenario 6 .....	87
6.8. Escenario 7 .....	89
6.9. Escenario 8 .....	93
6.10. Escenario 9.....	95
6.11. Escenario 10 .....	99
6.12. Escenario 11 .....	101
6.13. Escenario 12 .....	105
7. DISCUSIÓN SOBRE LOS RESULTADOS.....	107
8. CONCLUSIONES .....	121
9. BIBLIOGRAFÍA .....	125
ANEXOS.....	129

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1.1.</b> Esquema general del proceso de modelado científico. La figura muestra un proceso secuencial por claridad aunque el proceso de modelado contiene en general varios bucles de retroalimentación. Fuente: revista EMPIRIA [1].....	25
<b>Figura 2.1.2.1.</b> Esquema del proceso de modelado en dinámica de sistemas que resume las tres etapas. Fuente: revista EMPIRIA [1].....	26
<b>Figura 2.2.1.</b> Logotipo actual de la empresa General Electric. Fuente: General Electric España.....	27
<b>Figura 2.2.2.</b> Fotografía reciente del profesor Jay Wright Forrester. Fuente: www.industryweek.com.....	27
<b>Figura 2.4.1.</b> Logotipo del software Vensim®. Fuente: Ventana Systems. INC. [4].....	29
<b>Figura 2.4.2.</b> Figura 2.4.2. Logotipos de distintos programas que se utilizan en dinámica de sistemas.....	29
<b>Figura 2.5.1.1.</b> Variable stock “desplazamientos INTERIOR PERSONAS” .....	30
<b>Figura 2.5.1.2.</b> Variable stock “motocicleta + ciclomotor” .....	30
<b>Figura 2.5.2.1.</b> Variable de flujo “incremento tendencial desplazamientos interior personas”. Es positiva.....	31
<b>Figura 2.5.2.2.</b> Variable de flujo “incremento coches”. Positiva.....	31
<b>Figura 2.5.2.3.</b> Variable de flujo “aux2 int. pers.”. Es una variable negativa..	31
<b>Figura 2.5.3.1.</b> Variable auxiliar “% coches” .....	32
<b>Figura 2.5.3.2.</b> Variable auxiliar “incremento política coches” .....	32
<b>Figura 2.5.4.1.</b> Variable auxiliar “tasa cambio int. pers.” que relaciona las variables shadow “Time”, “T política general” y “política general int pers” .....	32
<b>Figura 2.5.4.2.</b> Variable shadow “<desplazamiento INTERIOR PERSONAS>” que influye sobre la variable auxiliar “% motocicleta + ciclomotor” .....	32
<b>Figura 3.3.1.</b> Esquema de los componentes de las diferentes fases del transporte en España en las distintas esferas de valor.....	37
<b>Figura 4.2.1.</b> Parte ampliada del modelo en Vensim que se refiere al número total de desplazamientos de personas en el interior de España.....	49

<b>Figura 4.2.2.</b> Parte ampliada del modelo en Vensim que se refiere al transporte de personas en turismo.....	50
<b>Figura 4.2.3.</b> Parte ampliada del modelo en Vensim que se refiere a la suma del transporte de personas en motocicletas y ciclomotor.....	50
<b>Figura 4.2.4.</b> Parte ampliada del modelo en Vensim que se refiere al transporte de personas en autobús.....	51
<b>Figura 4.2.5.</b> Parte ampliada del modelo en Vensim que se refiere a la suma del transporte de personas en metro y tranvía.....	51
<b>Figura 4.2.6.</b> Parte ampliada del modelo en Vensim que se refiere al transporte de personas en tren.....	51
<b>Figura 4.2.7.</b> Parte ampliada del modelo en Vensim que se refiere al transporte de personas en avión.....	52
<b>Figura 4.2.8.</b> Relación entre las políticas sobre los desplazamientos de personas en tren y en avión en Vensim.....	52
<b>Figura 4.2.9.</b> Parte ampliada del modelo en Vensim que se refiere al transporte de personas en barco.....	53
<b>Figura 4.2.10.</b> El incremento total de las políticas es la suma de las políticas individuales de cada medio de transporte de personas.....	53
<b>Figura 4.2.11.</b> División de porcentajes que resultan de la disminución de los desplazamientos de personas en coche.....	54
<b>Figura 4.3.1.</b> Parte ampliada del modelo en Vensim que se refiere al número total de desplazamientos de mercancías en el interior de España.....	54
<b>Figura 4.3.2.</b> Parte ampliada del modelo en Vensim que se refiere al transporte de mercancías en el modo viario.....	55
<b>Figura 4.3.3.</b> Parte ampliada del modelo en Vensim que se refiere al transporte de mercancías en el modo ferroviario.....	55
<b>Figura 4.3.4.</b> Parte ampliada del modelo en Vensim que se refiere al transporte de mercancías en el modo aéreo.....	55
<b>Figura 4.3.5.</b> Parte ampliada del modelo en Vensim que se refiere al transporte de mercancías en el modo marítimo.....	56
<b>Figura 4.3.6.</b> El incremento total de las políticas es la suma de las políticas individuales de cada modo de transporte de mercancías.....	56
<b>Figura 4.3.7.</b> División de porcentajes que resultan de la disminución de los desplazamientos de mercancías en el modo viario.....	57

<b>Figura 5.2.1.</b> Detalle del modelo en dinámica de sistemas del consumo de energía en la fabricación y puesta en uso de los diferentes vehículos.....	61
<b>Figura 5.3.1.</b> Detalle del modelo en dinámica de sistemas del consumo de energía en la construcción y mantenimiento de infraestructuras en el modo viario.....	62
<b>Figura 5.3.2.</b> Detalle del modelo en dinámica de sistemas del consumo de energía en la construcción y mantenimiento de infraestructuras en el modo ferroviario.....	62
<b>Figura 5.3.3.</b> Detalle del modelo en dinámica de sistemas del consumo de energía en la construcción y mantenimiento de infraestructuras en el modo aéreo.....	63
<b>Figura 5.3.4.</b> Detalle del modelos en dinámica de sistemas del consumo de energía en la construcción y mantenimiento de infraestructuras en los modos viario, ferroviario y aéreo en los que se invierte según el deterioro.....	63
<b>Figura 5.3.5.</b> Detalle del modelo en dinámica de sistemas del consumo total de energía en la construcción y mantenimiento de infraestructuras.....	64
<b>Figura 5.3.6.</b> Detalle del modelo en dinámica de sistemas del stock energético de infraestructuras.....	64
<b>Figura 5.4.1.</b> Detalle del modelo en dinámica de sistemas del consumo de energía de los coches en la fase de desplazamiento o circulación.....	65
<b>Figura 5.4.2.</b> Detalle del modelo en dinámica de sistemas del consumo de energía de los autobuses en la fase de desplazamiento o circulación.....	66
<b>Figura 5.4.3.</b> Detalle del modelo en dinámica de sistemas del consumo de energía de las motocicletas y los ciclomotores en la fase de desplazamiento o circulación.....	66
<b>Figura 5.4.4.</b> Detalle del modelo en dinámica de sistemas del consumo de energía del modo viario en la fase de desplazamiento o circulación.....	66
<b>Figura 5.4.5.</b> Detalle del modelo en dinámica de sistemas del consumo de energía del modo ferroviario en la fase de desplazamiento o circulación.....	66
<b>Figura 5.4.6.</b> Esquema en dinámica de sistemas del reparto entre gasóleo y electricidad del consumo de energía del modo ferroviario en la fase de desplazamiento o circulación.....	67
<b>Figura 5.4.7.</b> Detalle del modelo en dinámica de sistemas del consumo de energía del modo aéreo en la fase de desplazamiento o circulación.....	67
<b>Figura 5.4.8.</b> Detalle del modelo en dinámica de sistemas del consumo total de energía del transporte de personas en la fase de desplazamiento o circulación.....	67

<b>Figura 5.5.1.</b> Detalle del modelo en dinámica de sistemas del consumo de energía en el mantenimiento y gestión del sistema.....	68
<b>Figura 5.6.1.</b> Detalle del modelo en dinámica de sistemas del consumo de energía en el mantenimiento y gestión del sistema.....	69
<b>Figura 5.7.1.</b> Detalle del modelo en dinámica de sistemas del consumo total de energía descontando el consumo energético en la fase de circulación.....	70
<b>Figura 5.7.2.</b> Detalle del modelo en dinámica de sistemas del consumo energético total incluyendo todas las fases del transporte.....	70
<b>Figura I.I.I.</b> Logotipo del INE. Fuente: INE [8].....	131
<b>Figura I.III.I.</b> Bandera de las Naciones Unidas. Fuente: ONU [9].....	141

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 3.2.1.</b> Evolución del transporte de personas en el interior de España..	35
<b>Tabla 3.2.2.</b> Evolución del transporte de mercancías en el interior de España.....	36
<b>Tabla 3.3.1.</b> Consumo total de energía primaria por medio de transporte de personas en toneladas equivalentes de petróleo [TEP] en 1992.....	38
<b>Tabla 3.3.2.</b> Consumo total de energía primaria por medio de transporte de mercancías en toneladas equivalentes de petróleo [TEP] en 1992.....	39
<b>Tabla 3.3.3.</b> Consumo total de energía primaria por modo de transporte en toneladas equivalentes de petróleo [TEP] en 1992.....	40
<b>Tabla 3.3.4.</b> Consumo total de energía primaria por medio de transporte en toneladas equivalentes de petróleo [TEP] en 2012.....	40
<b>Tabla 3.3.5.</b> Consumo total de energía primaria por modo de transporte en toneladas equivalentes de petróleo [TEP] en 2012.....	41
<b>Tabla 3.6.1.</b> Ocupación aparente de los vehículos motorizados individuales en desplazamientos interurbanos por carretera. Fuente: Metodología de las Cuentas [10].....	43
<b>Tabla 3.6.2.</b> Ocupación aparente de los vehículos motorizados individuales en desplazamientos en el viario urbano. Fuente: Metodología de las Cuentas [10].....	43
<b>Tabla 3.6.3.</b> Consumo de energía del modo ferroviario en la fase de desplazamiento o circulación en 2012. Fuente: Cuentas Ecológicas del Transporte [6].....	44
<b>Tabla 3.8.1.</b> Consumo de energía primaria en el fin de la vida útil de los vehículos por medio y modo de transporte en toneladas equivalentes de petróleo [TEP] en 1992 y 2012.....	46
<b>Tabla I.I.I.</b> Datos de población en España proporcionados por el INE. Fuente: INE [8].....	133
<b>Tabla I.I.II.</b> Datos de población en España proporcionados por el INE y cálculos posteriores de la variación de población cada seis meses en tanto por ciento y tanto por uno.....	134
<b>Tabla I.I.III.</b> Promedio de la variación entre etapas cuyo formato condicional nos muestra un aumento, disminución o estabilidad de la población.....	135

<b>Tabla I.I.IV.</b> Promedio de la variación entre las etapas consideradas en el modelo en Vensim (1992 – 2007 – 2012) cuyo formato condicional nos muestra un aumento, disminución o estabilidad de la población.....	135
<b>Tabla I.II.I.</b> Datos de la proyección de la población en España proporcionados por el INE. Fuente: INE [8].....	138
<b>Tabla I.II.II.</b> Datos de población en España proporcionados por el INE y cálculos posteriores de la variación de población cada seis meses en tanto por ciento y tanto por uno.....	140
<b>Tabla I.II.III.</b> Promedio de la variación entre etapas cuyo formato condicional nos muestra un aumento, disminución o estabilidad de la población.....	140
<b>Tabla II.I.I.</b> Evaluación de la producción global de servicios de transporte por modos en 1992. Fuente: [5].....	145
<b>Tabla II.I.II.</b> Consumos totales por medios de transporte en 1992. Fuente: [5].....	146
<b>Tabla II.I.III.</b> Página 346 del libro de Antonio Estevan y Alfonso Sanz. Fuente: [5].....	146
<b>Tabla II.I.IV.</b> Datos agregados para el conjunto del transporte en 1992. Fuente: [5].....	147
<b>Tabla II.I.V.</b> Consumos específicos por modos en 1992. Fuente: [5].....	147
<b>Tabla II.I.VI.</b> Consumos específicos desglosados en 1992. Fuente: [5].....	148
<b>Tabla II.II.I.</b> Longitud de los recorridos medios dentro del país realizados por las personas en cada medio de transporte en 2007. Fuente: [6].....	148
<b>Tabla II.II.II.</b> Recorridos de las toneladas desplazadas en el interior por modo de transporte (2007). Fuente: [6].....	149
<b>Tabla II.II.III.</b> Evolución 2007-2012 de las personas-km en el interior del país. Fuente: [6].....	149
<b>Tabla II.II.IV.</b> Evolución 2007-2012 de los desplazamientos interiores de mercancías convencionales en toneladas-kilómetro. Fuente: [6].....	149
<b>Tabla II.II.V.</b> Consumo energético en la fabricación (producción de materiales y ensamblado) de vehículos en España (2012). Fuente: [6].....	150
<b>Tabla II.II.VI.</b> Coste monetario y energético de las infraestructuras viarias y ferroviarias construidas en España en los años de referencia. Fuente: [6]..	150
<b>Tabla II.II.VII.</b> Consumo energético asociado a la construcción de las infraestructuras aeroportuarias. Fuente: [6].....	150
<b>Tabla II.II.VIII.</b> Consumo de energía en circulación del modo viario (2012). Fuente: [6].....	151





<b>Tabla II.II.IX.</b> Consumo de energía en la operación de los servicios ferroviarios (2012). Fuente: [6].....	151
<b>Tabla II.II.X.</b> Reparto del consumo de energía primaria en el ferrocarril en función de la carga bruta remolcada (2012). Fuente: [6].....	151
<b>Tabla II.II.XI.</b> Consumo energético en tracción en los metropolitanos en España (energía primaria). Fuente: [6].....	152
<b>Tabla II.II.XII.</b> Consumo energético en los sistemas tranviarios en España (energía primaria). Fuente: [6].....	152
<b>Tabla II.II.XIII.</b> Consumo energético (tep EP) en el mantenimiento y gestión de los sistemas de transporte (2012). Fuente: [6].....	152
<b>Tabla II.II.XIV.</b> Consumo de energía primaria en el fin de la vida útil de los automóviles en España (2012). Fuente: [6].....	153
<b>Tabla II.II.XV.</b> Recuperación de energía proveniente de los vehículos fuera de uso (2012). Fuente: [6].....	153
<b>Tabla II.II.XVI.</b> Consumo de energía primaria (tep) del ciclo global del transporte en España (2012). Fuente: [6].....	153
<b>Tabla II.II.XVII.</b> Consumo energético (tep EP) de las diferentes fases y medios del modo viario (2012). Fuente: [6].....	154



## ÍNDICE DE GRÁFICAS

<b>Gráfica 6.2.1.</b> Escenario 1. Proyección por medios de transporte de personas en el interior de España.....	73
<b>Gráfica 6.2.2.</b> Escenario 1. Detalle de la proyección por medios de transporte de personas en el interior de España.....	74
<b>Gráfica 6.2.3.</b> Escenario 1. Proyección por modos de transporte de personas en el interior de España.....	74
<b>Gráfica 6.2.4.</b> Escenario 1. Consumo energético total diferenciando la fase de circulación respecto de la suma de los consumos del resto de fases.....	75
<b>Gráfica 6.2.5.</b> Escenario 1. Detalle del consumo energético de las distintas fases del transporte exceptuando la fase de circulación.....	75
<b>Gráfica 6.2.6.</b> Escenario 1. Stock energético de la fase de construcción y mantenimiento de infraestructuras.....	76
<b>Gráfica 6.3.1.</b> Escenario 2. Consumo energético total diferenciando la fase de circulación respecto de la suma de los consumos del resto de fases.....	77
<b>Gráfica 6.3.2.</b> Escenario 2. Detalle del consumo energético de las distintas fases del transporte exceptuando la fase de circulación.....	77
<b>Gráfica 6.3.3.</b> Escenario 2. Stock energético de la fase de construcción y mantenimiento de infraestructuras.....	78
<b>Gráfica 6.4.1.</b> Escenario 3. Proyección por medios de transporte de personas en el interior de España.....	79
<b>Gráfica 6.4.2.</b> Escenario 3. Detalle de la proyección por medios de transporte de personas en el interior de España.....	79
<b>Gráfica 6.4.3.</b> Escenario 3. Proyección por modos de transporte de personas en el interior de España.....	80
<b>Gráfica 6.4.4.</b> Escenario 3. Consumo energético total diferenciando la fase de circulación respecto de la suma de los consumos del resto de fases.....	80
<b>Gráfica 6.4.5.</b> Escenario 3. Detalle del consumo energético de las distintas fases del transporte exceptuando la fase de circulación.....	81
<b>Gráfica 6.4.6.</b> Escenario 3. Stock energético de la fase de construcción y mantenimiento de infraestructuras.....	81

<b>Gráfica 6.5.1.</b> Escenario 4. Consumo energético total diferenciando la fase de circulación respecto de la suma de los consumos del resto de fases.....	82
<b>Gráfica 6.5.2.</b> Escenario 4. Detalle del consumo energético de las distintas fases del transporte exceptuando la fase de circulación.....	83
<b>Gráfica 6.5.3.</b> Escenario 4. Stock energético de la fase de construcción y mantenimiento de infraestructuras.....	83
<b>Gráfica 6.6.1.</b> Escenario 5. Proyección por medios de transporte de personas en el interior de España.....	84
<b>Gráfica 6.6.2.</b> Escenario 5. Detalle de la proyección por medios de transporte de personas en el interior de España.....	85
<b>Gráfica 6.6.3.</b> Escenario 5. Proyección por modos de transporte de personas en el interior de España.....	85
<b>Gráfica 6.6.4.</b> Escenario 5. Consumo energético total diferenciando la fase de circulación respecto de la suma de los consumos del resto de fases.....	86
<b>Gráfica 6.6.5.</b> Escenario 5. Detalle del consumo energético de las distintas fases del transporte exceptuando la fase de circulación.....	86
<b>Gráfica 6.6.6.</b> Escenario 5. Stock energético de la fase de construcción y mantenimiento de infraestructuras.....	87
<b>Gráfica 6.7.1.</b> Escenario 6. Consumo energético total diferenciando la fase de circulación respecto de la suma de los consumos del resto de fases.....	88
<b>Gráfica 6.7.2.</b> Escenario 6. Detalle del consumo energético de las distintas fases del transporte exceptuando la fase de circulación.....	88
<b>Gráfica 6.7.3.</b> Escenario 6. Stock energético de la fase de construcción y mantenimiento de infraestructuras.....	89
<b>Gráfica 6.8.1.</b> Escenario 7. Proyección por medios de transporte de personas en el interior de España.....	90
<b>Gráfica 6.8.2.</b> Escenario 7. Detalle de la proyección por medios de transporte de personas en el interior de España.....	90
<b>Gráfica 6.8.3.</b> Escenario 7. Proyección por modos de transporte de personas en el interior de España.....	91
<b>Gráfica 6.8.4.</b> Escenario 7. Consumo energético total diferenciando la fase de circulación respecto de la suma de los consumos del resto de fases.....	91
<b>Gráfica 6.8.5.</b> Escenario 7. Detalle del consumo energético de las distintas fases del transporte exceptuando la fase de circulación.....	92

<b>Gráfica 6.8.6.</b> Escenario 7. Stock energético de la fase de construcción y mantenimiento de infraestructuras.....	92
<b>Gráfica 6.9.1.</b> Escenario 8. Consumo energético total diferenciando la fase de circulación respecto de la suma de los consumos del resto de fases.....	93
<b>Gráfica 6.9.2.</b> Escenario 8. Detalle del consumo energético de las distintas fases del transporte exceptuando la fase de circulación.....	94
<b>Gráfica 6.9.3.</b> Escenario 8. Stock energético de la fase de construcción y mantenimiento de infraestructuras.....	94
<b>Gráfica 6.10.1.</b> Escenario 9. Proyección por medios de transporte de personas en el interior de España.....	95
<b>Gráfica 6.10.2.</b> Escenario 9. Detalle de la proyección por medios de transporte de personas en el interior de España.....	96
<b>Gráfica 6.10.3.</b> Escenario 9. Proyección por modos de transporte de personas en el interior de España.....	96
<b>Gráfica 6.10.4.</b> Escenario 9. Consumo energético total diferenciando la fase de circulación respecto de la suma de los consumos del resto de fases.....	97
<b>Gráfica 6.10.5.</b> Escenario 9. Detalle del consumo energético de las distintas fases del transporte exceptuando la fase de circulación.....	97
<b>Gráfica 6.10.6.</b> Escenario 9. Stock energético de la fase de construcción y mantenimiento de infraestructuras.....	98
<b>Gráfica 6.10.7.</b> Escenario 9. Reparto del consumo de energía del modo ferroviario en la fase de circulación.....	98
<b>Gráfica 6.11.1.</b> Escenario 10. Consumo energético total diferenciando la fase de circulación respecto de la suma de los consumos del resto de fases.....	99
<b>Gráfica 6.11.2.</b> Escenario 10. Detalle del consumo energético de las distintas fases del transporte exceptuando la fase de circulación.....	100
<b>Gráfica 6.11.3.</b> Escenario 10. Stock energético de la fase de construcción y mantenimiento de infraestructuras.....	100
<b>Gráfica 6.12.1.</b> Escenario 11. Proyección por medios de transporte de personas en el interior de España.....	101
<b>Gráfica 6.12.2.</b> Escenario 11. Detalle de la proyección por medios de transporte de personas en el interior de España.....	102
<b>Gráfica 6.12.3.</b> Escenario 11. Proyección por modos de transporte de personas en el interior de España.....	102

<b>Gráfica 6.12.4.</b> Escenario 11. Consumo energético total diferenciando la fase de circulación respecto de la suma de los consumos del resto de fases.....	103
<b>Gráfica 6.12.5.</b> Escenario 11. Detalle del consumo energético de las distintas fases del transporte exceptuando la fase de circulación.....	103
<b>Gráfica 6.12.6.</b> Escenario 11. Stock energético de la fase de construcción y mantenimiento de infraestructuras.....	104
<b>Gráfica 6.12.7.</b> Escenario 11. Reparto del consumo de energía del modo ferroviario en la fase de circulación.....	104
<b>Gráfica 6.13.1.</b> Escenario 12. Consumo energético total diferenciando la fase de circulación respecto de la suma de los consumos del resto de fases.....	105
<b>Gráfica 6.13.2.</b> Escenario 12. Detalle del consumo energético de las distintas fases del transporte exceptuando la fase de circulación.....	106
<b>Gráfica 6.13.3.</b> Escenario 12. Stock energético de la fase de construcción y mantenimiento de infraestructuras.....	106
<b>Gráfica 7.1.</b> Comparación en la modificación de la primera política sobre los desplazamientos totales en el interior de España.....	108
<b>Gráfica 7.2.</b> Gráfica comparativa entre los desplazamientos en los distintos medios de transporte sin aplicar ninguna política y estableciendo una política concreta.....	109
<b>Gráfica 7.3.</b> Detalle de la gráfica comparativa entre los desplazamientos en los distintos medios de transporte sin aplicar ninguna política y estableciendo una política concreta.....	110
<b>Gráfica 7.4.</b> Comparación entre los consumos de energía de la circulación y de la suma del resto de fases.....	111
<b>Gráfica 7.5.</b> Ejemplo del consumo energético en la fase de circulación.....	112
<b>Gráfica 7.6.</b> Reparto del consumo energético en el modo ferroviario dentro de la fase de circulación.....	113
<b>Gráfica 7.7.</b> Consumo energético en la fase de fabricación y puesta en uso de los vehículos según el modo de transporte (Escenario 12).....	113
<b>Gráfica 7.8.</b> Comparación entre las dos políticas diferentes sobre la fase de construcción y mantenimiento de infraestructuras.....	114
<b>Gráfica 7.9.</b> Comparación entre las dos políticas diferentes sobre la fase de construcción y mantenimiento de infraestructuras.....	114



<b>Gráfica 7.10.</b> Estimaciones de extracción de petróleo de diferentes autores.....	115
<b>Gráfica 7.11.</b> Gráfica comparativa entre los desplazamientos en los distintos medios de transporte del Escenario 9 y el nuevo escenario.....	116
<b>Gráfica 7.12.</b> Detalle de la gráfica comparativa entre los desplazamientos en los distintos medios de transporte del Escenario 9 y el nuevo escenario.....	117
<b>Gráfica 7.13.</b> Comparación entre los consumos de energía de la circulación y de la suma del resto de fases.....	117
<b>Gráfica I.I.I.</b> Población en España entre los años 1992 y 2015.....	135
<b>Gráfica I.I.II.</b> Variación porcentual cada seis meses de la población en España entre los años 1992 y 2015.....	136
<b>Gráfica I.II.I.</b> Población en España entre los años 1992 y 2015.....	140
<b>Gráfica I.II.II.</b> Variación porcentual cada seis meses de la población en España entre los años 2014 y 2064.....	141
<b>Gráfica I.III.I.</b> Población total en España y predicción de futuro hasta 2100 según la ONU. Fuente: ONU [9].....	142
<b>Gráfica I.III.II.</b> Pirámide de población en el año 1950. Fuente: ONU [9].....	142
<b>Gráfica I.III.III.</b> Pirámide de población en el año 2015. Fuente: ONU [9].....	143
<b>Gráfica I.III.IV.</b> Pirámide de población en el año 2050. Fuente: ONU [9].....	143
<b>Gráfica I.III.V.</b> Población total de España desde 1950 hasta hoy y proyección hasta 2100. Fuente: ONU [9].....	144







1. INTRODUCCIÓN.....	19
1.1. Presentación.....	20
1.2. Objetivos.....	21
1.3. Presentación de la memoria.....	22

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Presentación

Este Trabajo de Fin de Grado ha sido realizado en el entorno del Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática de la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid. En este primer capítulo de introducción se presenta la justificación de la idea de realizar este TFG, añadiendo el planteamiento de unos objetivos concretos a alcanzar durante la realización del proyecto además de una breve explicación de lo que se va a poner en práctica en cada capítulo del Trabajo de Fin de Grado.

La idea de la realización de este proyecto surge en torno a la sostenibilidad del planeta y la posibilidad de realizar planes de acción para un futuro próximo. Dos razones principales por las que se realiza este trabajo son la preocupación por el cambio climático y el problema del pico del petróleo. El cambio climático se produce por el aumento del efecto invernadero al emitir gases contaminantes a la atmósfera, y el pico del petróleo es el momento en el cual se alcanza el valor máximo de extracción de petróleo global y tras el cual la producción de éste y otros combustibles fósiles entran en un declive terminal. En primer lugar, España debe reducir su consumo energético debido al pico del petróleo ya que tiene una gran dependencia energética de otros países e importa la mayor parte del petróleo que se consume y el gas que prácticamente no produce; y en segundo lugar, para evitar las consecuencias que sufre actualmente debido al efecto invernadero.

Uno de los gases principales que causan el efecto invernadero es el CO<sub>2</sub>. Las emisiones a la atmósfera de este gas se producen naturalmente en volcanes o incendios forestales, pero donde se producen artificialmente grandes cantidades de emisiones de este gas y de forma continua es en cualquier tipo de industria y en el transporte. El transporte es una de las mayores fuentes de emisiones de gases contaminantes a la atmósfera ya que los diferentes medios para desplazar personas o mercancías utilizan derivados del petróleo como combustible. Según el IDAE, el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía perteneciente al Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital, en la actualidad el transporte es el sector que más energía consume en España, alcanzando un 39% del consumo energético total nacional, y apunta que solamente el vehículo turismo representa aproximadamente el 15% de toda la energía final consumida en el país.

A lo largo de este trabajo se va a tratar el consumo energético que se produce en los desplazamientos de personas y mercancías mediante medios de transporte motorizados. Se va a realizar un modelo en dinámica de

sistemas y se van a analizar distintos escenarios aplicando diferentes políticas para observar la tendencia hacia el año 2040 del consumo de energía en los desplazamientos en el interior de España. De esta forma y con una visión de futuro, se podrán sacar conclusiones, ajustar las políticas establecidas y crear planes de acción para un fin común que es evitar el cambio climático.

Este proyecto se ha centrado básicamente en el análisis de los datos de *Las cuentas ecológicas del transporte en España* recogidos por la Fundación Biodiversidad por encargo del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente y publicado por Ecologistas en Acción en el año 2014. Este texto recoge datos básicamente de los años 2007 y 2012 sobre los desplazamientos y el consumo energético en el transporte en España, los cuales se utilizarán para modelar la estructura en dinámica de sistemas.

Para completar este modelo en dinámica de sistemas con más datos, ha servido de apoyo la consulta a la publicación *Hacia la reconversión ecológica del transporte en España* de Antonio Estevan y Alfonso Sanz publicado en el año 1996 con datos sobre el consumo de energía en el transporte en España en 1992.

El desarrollo sostenible es un concepto que con los años ha ido adentrándose en el pensamiento de todos y cada día lo hace con más fuerza. Para poder reducir el consumo energético en el transporte en España hay que seguir estudiando nuevas alternativas al petróleo como combustible, mejorar la eficiencia energética de este importante sector y apostar por las energías renovables.

## 1.2. Objetivos

Con el fin de obtener unas conclusiones precisas, este Trabajo de Fin de Grado pretende cumplir los siguientes objetivos:

- Aprender a realizar modelos y simulaciones en dinámica de sistemas con el software propuesto: Vensim®.
- Estudiar y extraer datos de consumos de energía de Las cuentas ecológicas del transporte en España y de otras publicaciones para poder trabajar con ellos en Vensim.
- Realizar modelos en dinámica de sistemas sobre el transporte en España que se ajusten a la realidad de los datos proporcionados por las publicaciones.

- Partiendo tanto de valores obtenidos a lo largo de los años sobre la población en España como de proyecciones de futuro, realizar modelos que se ajusten a esas estadísticas.
- Con el conjunto de datos obtenido analizar los posibles escenarios de los consumos energéticos de los diferentes medios y modos de transporte según las políticas aplicadas en el modelo en dinámica de sistemas.

### 1.3. Presentación de la memoria

El contenido de este TFG se resume en siete capítulos donde se encuentra el desarrollo del proyecto y además dos anexos que incluyen tablas que se han consultado para realizarlo.

El segundo capítulo es una introducción a la dinámica de sistemas, su historia, el contexto en el que surge, aplicaciones y programas que se utilizan.

El tercer capítulo del trabajo contiene una descripción de las cuentas ecológicas y las tablas de valores que se han introducido en Vensim para analizar los desplazamientos y consumos de energía en el interior de España.

El cuarto capítulo expone el modelo que se ha realizado en dinámica de sistemas en Vensim sobre los desplazamientos de personas y mercancías en el interior del país, las variables que se han incluido y cómo están relacionadas entre ellas.

En el quinto capítulo se muestra el modelo en dinámica de sistemas del ciclo global del transporte por fases. En él se incluyen todos los consumos energéticos por medios y modos de transporte y cómo se relacionan entre sí las variables creadas para realizar el modelo.

En el sexto capítulo se reflejan las gráficas correspondientes a los distintos escenarios que se han analizado en el programa.

El séptimo capítulo de este proyecto contiene la discusión y el análisis sobre los resultados de los escenarios del capítulo anterior.

El octavo capítulo es el penúltimo y se recogen todas las conclusiones destacadas de la discusión sobre los resultados del séptimo capítulo.

Finalmente, el noveno capítulo recoge detalladamente todas las referencias bibliográficas que se han utilizado a lo largo de este trabajo.



2. DINÁMICA DE SISTEMAS.....	23
2.1. Introducción.....	24
2.1.1. ¿Quién lo utiliza?.....	25
2.1.2. Etapas del modelado.....	25
2.2. Historia.....	26
2.3. Campos de aplicación.....	28
2.4. Software comercial.....	28
2.5. Elementos básicos en el modelado con dinámica de sistemas.....	29
2.5.1. Variable de estado, stock, memoria o almacén.....	30
2.5.2. Flujo o variación de la variable de estado.....	30
2.5.3. Variables auxiliares.....	31
2.5.4. Variables <i>shadow</i> .....	32

## 2. DINÁMICA DE SISTEMAS

### 2.1. Introducción

En este capítulo se va a explicar en qué consiste el modelado de dinámica de sistemas y para qué sirve este tipo de simulaciones.

La dinámica de sistemas es una metodología orientada al modelado y simulación por ordenador de sistemas de diferente índole como pueden ser sistemas económicos, biológicos, tecnológicos, sociales. En este caso, el presente trabajo tratará un sistema tanto tecnológico como social y económico, que consta de un estudio energético y trata de estudiar cómo es la movilidad y su consumo de energía en el interior de España.

Los sistemas pueden ser muy sencillos desde el estudio del crecimiento de una población teniendo en cuenta los nacimientos y fallecimientos hasta un sistema complejo como el que se analiza en este TFG. La complejidad de los modelos depende de la cantidad de variables que se utilicen: un gran número de variables constituirán un sistema más complejo que un modelo que esté formado por pocas variables. También influye en la dificultad de estos modelos la incertidumbre de las variables y el conocimiento que se tenga sobre las mismas, la relación que exista entre ellas, la estructura que las relaciona y otros muchos factores que pueden llegar a complicar el sistema.

Un mismo modelo sobre un tema generalizado puede comprender variables de cualquier naturaleza. La dinámica de sistemas nos ayuda a comprender la estructura y el funcionamiento de los sistemas complejos, a entender su comportamiento y nos facilita la toma de decisiones sobre ellos. Las variables de los modelos pueden ser de ámbito tecnológico, económico, social, de mercado, de medio ambiente y pueden servir para ayudar en la toma de decisiones en la política actual.

Existen infinidad de temas que abordar con la dinámica de sistemas pero un ejemplo clásico y muy conocido de un sistema complejo es el cambio climático. Este tema concierne a toda la humanidad, es un sistema general que abarca variables de cualquier tipo: medioambientales y ecológicas, tecnológicas, económicas, sociales, etc. La comprensión de la estructura del modelo del cambio climático permite análisis de escenarios y alternativas que facilitan la toma de decisiones políticas sobre el medioambiente, la economía y la sociedad.

A continuación se muestra una figura que resume en un pequeño esquema en qué consiste el modelado en dinámica de sistemas:

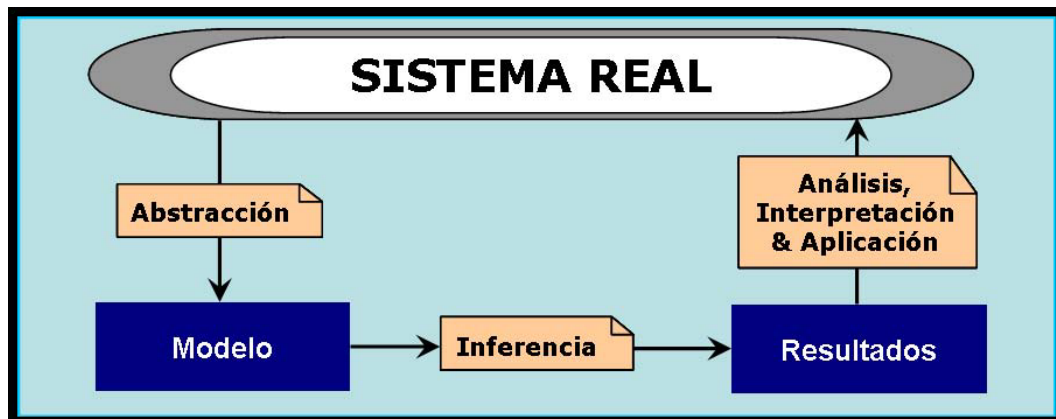


Figura 2.1.1. Esquema general del proceso de modelado científico. La figura muestra un proceso secuencial por claridad aunque el proceso de modelado contiene en general varios bucles de retroalimentación. Fuente: revista EMPIRIA [1]

Se parte de un sistema real del que se extrae información y se genera un modelo en dinámica de sistemas. Mediante un procesador se obtienen resultados acerca del estudio en cuestión, se analizan, interpretan y se vuelven a aplicar en la realidad. Esta figura muestra una secuencia pero el proceso de modelado en general contiene varios bucles, esta secuencia se repite las veces que sean necesarias para mejorar el sistema real.

### 2.1.1. ¿Quién lo utiliza?

Estos modelos son utilizados por todo tipo de personas e instituciones para tomar decisiones sobre determinados temas tanto a corto plazo como a largo plazo:

- Equipos de dirección de empresas en la toma de decisiones estratégicas y operativas.
- Gobiernos y administraciones para orientar las decisiones políticas.
- Agencias internacionales como el Banco Mundial, Naciones Unidas...
- Consultores que trabajan para entidades públicas y privadas en el asesoramiento sobre qué decisiones concretas pueden ser las más convenientes en determinadas materias.
- Investigadores y docentes con proyectos educativos o privados para empresas o administraciones.

### 2.1.2. Etapas del modelado

En el modelado con dinámica de sistemas existen tres etapas bien definidas [2]:

1. Un cliente define un problema concreto de cualquier ámbito y los objetivos que se pretenden alcanzar.
2. El ingeniero en dinámica de sistemas aborda, trata de modelar el problema y simula las alternativas para alcanzar la solución óptima. Se analizan datos, variables y el conocimiento de expertos para establecer las relaciones dinámicas que existen entre las variables del problema.
3. El cliente utiliza las simulaciones proporcionadas por la estructura creada para tomar la mejor decisión posible sobre el problema que se había planteado al inicio. Se toman decisiones óptimas a corto y largo plazo.

A continuación se muestra un esquema que resume las tres etapas anteriormente descritas en el que intervienen dos personas que son el cliente (experto en la figura) y el modelador que mediante el ordenador realiza el modelo en dinámica de sistemas.

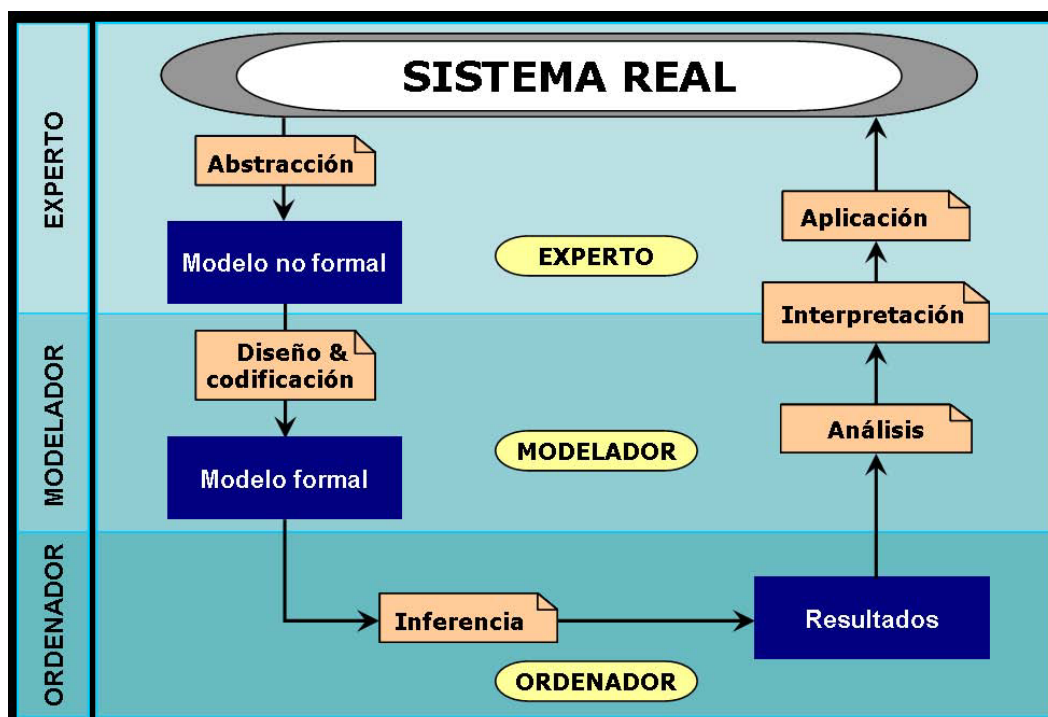


Figura 2.1.2.1. Esquema del proceso de modelado en dinámica de sistemas que resume las tres etapas. Fuente: revista EMPIRIA [1]



## 2.2. Historia

A mediados de los años 50 la empresa multinacional General Electric (GE) propuso un problema de dinámica de sistemas al profesor Jay W. Forrester. Los directivos de esta gran empresa querían saber cuál era la dinámica laboral y económica de la misma por lo que llevaron ante el profesor Forrester el problema de modelar ese comportamiento. El profesor por aquel entonces trabajaba para el MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) *Sloan School of Management* en Boston al cual llegó en 1939 para estudiar ingeniería eléctrica. Trabajó para el *Servomechanism Laboratory* del MIT e incluso realizó reparaciones en sistemas de aeronaves durante la Segunda Guerra Mundial. [2] [3]



Figura 2.2.1.  
Logotipo actual de la empresa General Electric.  
Fuente: General Electric España



Figura 2.2.2. Fotografía reciente del profesor Jay Wright Forrester.  
Fuente: [www.industryweek.com](http://www.industryweek.com)

Más tarde, después del trabajo del profesor con la multinacional General Electric, Richard Bennet desarrolló el primer lenguaje de modelado dinámico llamado SIMPLE (*Simulation of Industrial Management Problems with Lots of Equations*). Unos años después, en 1959, Phyllis Fox y A. Pugh mejoraron la versión anterior de SIMPLE para obtener un lenguaje optimizado llamado DYNAMO (*DYNAmic MOdels*). [2]

En 1961, una de las publicaciones históricas más relevantes fue *Industrial Dynamic* como consecuencia del trabajo realizado por el profesor Jay W. Forrester para la GE. Trata de explicar cómo se puede modelar en dinámica de sistemas la producción industrial.

John Collins, exalcalde de Boston, fue nombrado profesor visitante de Asuntos Urbanos del MIT y en colaboración con el profesor Jay Forrester publicaron *Urban Dynamics*. La unión Collins-Forrester en el libro *Urban Dynamics* trataba problemas sobre las ciudades, su crecimiento y desarrollo en los países desarrollados. Planteaba que políticas existentes eran poco

útiles y políticas aparentemente incorrectas podrían solucionar muchos problemas y establecer resultados muy efectivos.

En 1970 Jay Forrester fue invitado por el Club de Roma a una reunión en Berna, Suiza. En ese mismo lugar, se le cuestionó al profesor si la dinámica de sistemas podría servir para dirigir a la humanidad y su respuesta fue afirmativa. A partir de ese evento, el profesor realizó el primer boceto del modelo en dinámica de sistemas sobre el sistema socioeconómico del mundo. A este modelo le llamó *World1*. Más tarde, realizó otras versiones mejoradas *World2* y *World3*. *World2* fue incluido en la publicación *World Dynamics* en 1971. [3]

En 1972 la tercera versión *World3* fue incluido en “*The Limits to Growth*” (“Los Límites al Crecimiento”). Posteriormente en 2004 Meadows et al. publicaron una nueva versión del libro anteriormente escrito “*Limits to Growth: The 30-Year Update*” (“Límites al Crecimiento: 30 años después”) en el que se describe cómo podemos alcanzar un desarrollo sostenible del planeta mediante un modelado de una estructura del mundo con miles de variables. [2] [3]

### 2.3. Campos de aplicación

Existe una gran variedad de campos en los que se puede aplicar la dinámica de sistemas ya que interrelacionando variables y con datos suficientes se puede llegar a conclusiones precisas sobre un futuro próximo.

- Organización industrial
- Medioambiente
- Política económica
- Gestión urbana
- Gestión del territorio
- Gestión administrativa
- Psicología
- Educación
- Ingeniería

### 2.4. Software comercial

Hay una amplia variedad de programas que utilizan los ingenieros en dinámica de sistemas, entre ellos unos ejemplos que se muestran a continuación son:

- Vensim PLE 6.1. “Industrial strength simulation software for improving the performance of real systems.” [4]

Este programa es específicamente el que se ha utilizado en este proyecto.



Figura 2.4.1. Logotipo del software Vensim®. Fuente: Ventana Systems. INC. [4]

- Stella Professional y I Think de isee systems.



Figura 2.4.2. Logotipos de distintos programas que se utilizan en dinámica de sistemas.

Este tipo de modelos pueden ser ejecutados en otros lenguajes de simulación de propósito general utilizados en ingeniería como Simulink o Dynamo, pero los lenguajes orientados a la dinámica de sistemas facilitan la programación con esta metodología.

## 2.5. Elementos básicos en el modelado con dinámica de sistemas

Para este trabajo de fin de grado se ha utilizado el programa Vensim en el que surgen distintos elementos para elaborar modelos. La dinámica de sistemas simula ecuaciones diferenciales incluidas en estructuras de variables relacionadas entre sí las cuales son de distinta índole y se trabaja con ellas de diferente forma. Estas estructuras pueden tener distintas funciones, lo que se denomina en dinámica de sistemas dentro de los diagramas de influencia causa-efecto como polaridad positiva o negativa. Una polaridad positiva significa que incrementando una variable aumenta también la variable relacionada con ésta y una polaridad significa que si aumenta una variable, la variable relacionada disminuye. [2]

A continuación se explican los diferentes elementos que se pueden encontrar en el programa Vensim junto con ejemplos gráficos de variables del modelo en dinámica de sistemas que se ha realizado para este proyecto. Gran parte de esta información se ha obtenido gracias a los vídeos de la plataforma *Youtube* de Luis Javier Miguel profesor dentro del Departamento de Ingeniería de Ingeniería de Sistemas y Automática de la Universidad de Valladolid. [2]

### 2.5.1. Variables de estado, stock, memoria o almacén

Las variables de estado o *stock* son variables que acumulan información por eso se denominan variables de memoria, almacén o caja. Se caracterizan porque acumulan materia, energía o información. Son variables dinámicas, es decir, dependen del tiempo, y se representan por un rectángulo (o caja) con su nombre en el interior.



Figura 2.5.1.1. Variable stock "desplazamientos INTERIOR PERSONAS".

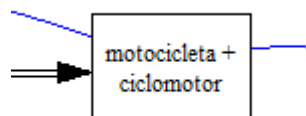


Figura 2.5.1.2. Variable stock "motocicleta + ciclomotor".

### 2.5.2. Flujo o variación de la variable de estado

Representan la variación o dinámica de las variables stock o almacenes. Los *stocks* son integrales y los flujos son sus derivadas. Estas variables pueden ser funciones que dependan de otras funciones, variables, constantes o dependientes del tiempo. Otra característica de las variables flujo es que pueden ser positivas o negativas.

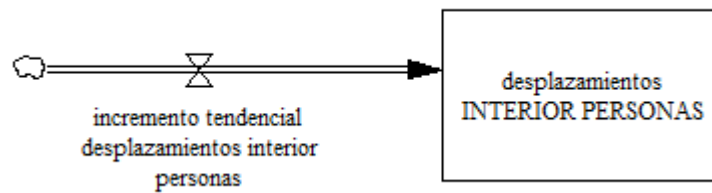


Figura 2.5.2.1. Variable de flujo “incremento tendencial desplazamientos interior personas”. Es positiva.

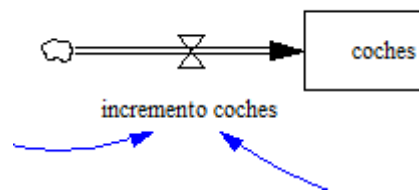


Figura 2.5.2.2. Variable de flujo “incremento coches”. Positiva.

Las variables flujo de los ejemplos anteriores son positivas porque aumentan los stocks que aparecen a su derecha.

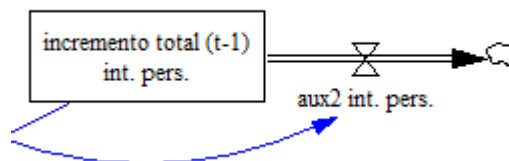


Figura 2.5.2.3. Variable de flujo “aux2 int. pers.”. Es una variable negativa.

El ejemplo anterior muestra una variable negativa ya que disminuye el stock que aparece a su izquierda.

### 2.5.3. Variables auxiliares

Las variables auxiliares aportan información para las anteriormente descritas. Se caracterizan al igual que las variables flujo en que pueden ser funciones, variables, constantes o dependientes del tiempo.

Estas variables pueden contener fórmulas, condiciones temporales e incluso condiciones iniciales si procede.

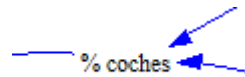


Figura 2.5.3.1. Variable auxiliar “% coches”.



Figura 2.5.3.2. Variable auxiliar “incremento política coches”.

### 2.5.4. Variables shadow

En la Figura 2.5.3.2. aparecen dos variables en color grisáceo las cuales son el último tipo de variables que se utilizan en el modelo realizado para este trabajo. Las variables *shadow* son una mera copia de cualquier tipo de variable del sistema que se ha descrito antes. Una de sus funciones es aclarar el esquema de la estructura en la que se está trabajando. Si se modifica algún parámetro de las variables iniciales *stock* o flujo, ese cambio se ve reflejado en la variable *shadow*.

Por ejemplo, el tiempo en Vensim también es una variable *shadow* pero no se puede modificar.

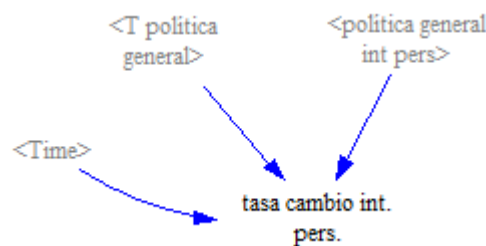


Figura 2.5.4.1. Variable auxiliar “tasa cambio int. pers.” que relaciona las variables shadow “Time”, “T política general” y “política general int pers”.

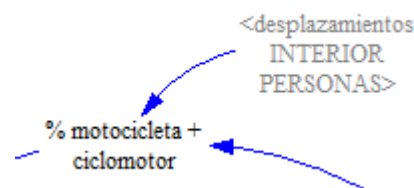


Figura 2.5.4.2. Variable shadow “<desplazamiento INTERIOR PERSONAS>” que influye sobre la variable auxiliar “% motocicleta + ciclomotor”.



3. LAS CUENTAS ENERGÉTICAS DEL TRANSPORTE.....	34
3.1. Introducción.....	34
3.2. El transporte interior de personas y mercancías.....	34
3.3. Consumo de energía en el transporte.....	36
3.4. Energía en la fabricación y puesta en uso.....	41
3.5. Energía en la construcción de infraestructuras.....	42
3.6. Energía en la fase de desplazamiento o circulación.....	42
3.7. Energía en el mantenimiento y gestión del sistema.....	44
3.8. Energía en el fin de la vida útil de los vehículos.....	45

## 3. LAS CUENTAS ENERGÉTICAS DEL TRANSPORTE

### 3.1. Introducción

El modelo que se ha realizado en dinámica de sistemas en Vensim analiza valores de los desplazamientos de personas y mercancías en el interior de España y su consumo energético. Los datos se han extraído de dos publicaciones principales. El primer libro que se ha consultado y el más antiguo es el publicado en 1996 por Antonio Estevan y Alfonso Sanz titulado “Hacia la reconversión ecológica del transporte en España” [5]. El segundo gran volumen consultado ha sido publicado en 2014 por Ecologistas en Acción y se titula “Las cuentas ecológicas del transporte en España” [6]. El análisis sobre el transporte en este trabajo se ha realizado básicamente sobre las cuentas energéticas de este último volumen recientemente publicado y se ha complementado con datos del primer libro citado.

Existe otra publicación que trata sobre el modelado en dinámica de sistemas y ha ayudado a comprender mejor este concepto y también en la realización del modelo y simulaciones. Este libro fue publicado en 2011 por Juan Martín y se titula “*Theory and Practical Exercises of System Dynamics*” [7].

Gracias a estas tres publicaciones que han sido básicas y esenciales para el proyecto, se ha podido realizar un modelo tanto del transporte de personas como de mercancías, aunque en este trabajo de fin de grado únicamente se analizará y sintetizará la parte del modelo del transporte de personas.

Para realizar la estimación de una proyección del consumo energético del transporte en el futuro se ha recurrido a bases de datos de población fiables como son el Instituto Nacional de Estadística (INE) [8] y la Organización de las Naciones Unidas (ONU) [9]. Dichas plataformas han permitido plantear unos datos aproximados sobre desplazamientos y energía según la realidad del futuro.

A lo largo de este capítulo se mostrarán las tablas con los datos que se han introducido en Vensim para realizar el modelo y sus simulaciones.

### 3.2. El transporte interior de personas y mercancías

Este apartado incluye las tablas sobre los distintos medios de transporte de personas y mercancías. En primer lugar, para los



desplazamientos de personas, los datos se han obtenido a partir de las tablas II.I.I, II.II.I. y II.II.III. del Anexo II pertenecientes a los volúmenes utilizados [5] y [6]. Las unidades que se han utilizado para los desplazamientos han sido personas-km. Dan una idea de los kilómetros recorridos por cada viaje que realizan las personas. Las tablas anteriores del Anexo II se han utilizado para resumir los datos en una única tabla para los desplazamientos de personas en el interior de España:

<b>Evolución del transporte de PERSONAS en el interior de España entre los años 1992, 2007 y 2012</b>						
<b>Año</b>	<b>1992</b>		<b>2007</b>		<b>2012</b>	
<b>Modo</b>	<b>millones de personas-km</b>	<b>%</b>	<b>millones de personas-km</b>	<b>%</b>	<b>millones de personas-km</b>	<b>%</b>
Automóvil privado	237.416	66,40	489.918	72,39	-	-
Motos	4.778	1,34	20.768	3,07	-	-
Autobús	51.876	14,51	75.582	11,17	-	-
<b>VIARIO</b>	<b>294.070</b>	<b>82,25</b>	<b>586.268</b>	<b>86,62</b>	<b>545.999</b>	<b>87,62</b>
Metro + tranvía	4.326	1,21	7.447	1,10	-	-
Ferrocarril	17.637	4,93	21.856	3,23	-	-
<b>FERROVIARIO</b>	<b>21.963</b>	<b>6,14</b>	<b>29.303</b>	<b>4,33</b>	<b>29.558</b>	<b>4,74</b>
<b>AÉREO</b>	<b>41.501</b>	<b>11,61</b>	<b>61.225</b>	<b>9,05</b>	<b>47.619</b>	<b>7,64</b>
<b>MARÍTIMO</b>			<b>1.612</b>	<b>0,24</b>	<b>1.429</b>	<b>0,23</b>
<b>TOTAL</b>	<b>357.534</b>	<b>100</b>	<b>676.796</b>	<b>100</b>	<b>623.176</b>	<b>100</b>

Tabla 3.2.1. Evolución del transporte de personas en el interior de España.

Los valores de 1992 corresponden a la publicación de Estevan [5] y los valores de 2007 y 2012 son de la publicación de Ecologistas en Acción [6]. Aunque en estas tablas se muestran los valores del transporte marítimo, posteriormente no se realizará su análisis debido a la falta de datos.

De la misma forma que en el transporte de personas, en este apartado se muestran las tablas realizadas para los desplazamientos de mercancías en el interior de España. El apartado que corresponde a las mercancías se ha modelado en Vensim y aunque no se ha analizado en profundidad, queda inicializado para un posterior trabajo.

Las unidades que se han utilizado para los desplazamientos de mercancías en el interior de España han sido toneladas-km. Los valores para los desplazamientos se han obtenido de las tablas II.I.I., II.II.II. y II.II.IV. del

Anexo II pertenecientes a los volúmenes utilizados [5] y [6]. Los datos se resumen en una única tabla:

<b>Evolución del transporte de MERCANCÍAS en el interior de España entre los años 1992, 2007 y 2012</b>						
<b>Año</b>	<b>1992</b>		<b>2007</b>		<b>2012</b>	
<b>Modo</b>	<b>millones de toneladas-km</b>	<b>%</b>	<b>millones de toneladas-km</b>	<b>%</b>	<b>millones de toneladas-km</b>	<b>%</b>
Furgonetas	42.336	17,45	-	-	-	-
Camiones	189.955	78,29	-	-	-	-
<b>VIARIO</b>	<b>232.291</b>	<b>95,74</b>	<b>388.750</b>	<b>97,16</b>	<b>265.793</b>	<b>97,23</b>
<b>FERROVIARIO</b>	<b>9.691</b>	<b>3,99</b>	<b>11.212</b>	<b>2,80</b>	<b>7.477</b>	<b>2,74</b>
<b>AÉREO</b>	<b>650</b>	<b>0,27</b>	<b>147</b>	<b>0,04</b>	<b>86</b>	<b>0,03</b>
<b>MARÍTIMO</b>			<b>44.040</b>	<b>11,01</b>	<b>38.970</b>	<b>14,26</b>
<b>TOTAL</b>	<b>242.632</b>	<b>100</b>	<b>400.109</b>	<b>100</b>	<b>273.356</b>	<b>100</b>

Tabla 3.2.2. Evolución del transporte de mercancías en el interior de España.

Al igual que para el transporte interior de personas, los valores de 1992 corresponden a la publicación de Estevan [5] y los valores de 2007 y 2012 son de Ecologistas en Acción [6], y de la misma forma que para los desplazamientos de personas, aunque en estas tablas se muestran los valores del transporte marítimo, posteriormente no se realizará su análisis debido a la falta de datos.

### 3.3. Consumo de energía en el transporte

Este apartado trata sobre el consumo energético en el transporte interior en España debido a que es el indicador fundamental que constituye el desarrollo de las “Cuentas Ecológicas del Transporte” [6]. La estimación de la energía consumida por el transporte tiene dos objetivos a destacar. Por un lado, el conocimiento de la totalidad de los requerimientos que supone cada actividad teniendo en cuenta los distintos modos de transporte y fases de su ciclo de vida y, por otra parte, relacionar este consumo energético con la cantidad de desplazamientos realizados. Este último objetivo se traduce en establecer una medida del consumo unitario de cada modo de transporte en kilómetros recorridos tanto de personas en unidades de personas-km como de mercancías en toneladas-km.

El análisis energético del ciclo global del transporte consta de varias fases que comprenden desde que se extraen los minerales necesarios para la construcción de un vehículo hasta que se elimina por completo una vez cumplido su ciclo de vida útil.

A continuación se muestra un esquema del libro de Antonio Estevan [5] de los distintos componentes y consumos energéticos analizados que forman el estudio de las diferentes fases del transporte en España en las esferas de valor (ambiental, social, económica y fiscal) en el año 1992.



Figura 3.3.1. Esquema de los componentes de las diferentes fases del transporte en España en las distintas esferas de valor.

De una forma más actualizada y en consonancia con las cuentas ecológicas [6], las fases del ciclo global del transporte en un inicio se dividen en 6 aunque posteriormente se resumen únicamente en 5 al igual que el esquema anterior.

- **Fase 0.** Extracción y procesamiento de materiales y energía:
- **Fase 1.** Fabricación de vehículos: conjunto de actividades cuya finalidad es la fabricación y venta de los vehículos.
- **Fase 2.** Construcción de infraestructuras: construcción de redes de circulación y de espacios para el estacionamiento de vehículos.
- **Fase 3.** Circulación: desplazamiento de los vehículos
- **Fase 4.** Mantenimiento y gestión del sistema: reparaciones, servicios y administración para el mantenimiento del sistema.
- **Fase 5.** Gestión de residuos: eliminación de los vehículos y otros residuos generados a lo largo del proceso del transporte.

Finalmente, incluyendo en una misma fase la extracción y procesado de materiales y energía, y la fabricación de vehículos, el análisis energético de las distintas fases del transporte que va a seguir este capítulo es el siguiente:

- Fase 1. Energía en la fabricación y puesta en uso de los vehículos.
- Fase 2. Energía en la construcción de infraestructuras.
- Fase 3. Energía en la fase de desplazamiento o circulación.
- Fase 4. Energía en el mantenimiento y gestión del sistema.
- Fase 5. Energía en el fin de la vida útil de los vehículos.

Para analizar el ciclo global del transporte en España y realizar el modelo en dinámica de sistemas, se han obtenido datos de las dos publicaciones mencionadas anteriormente con los cuales se han realizado unas tablas de los consumos de energía en los años 1992, 2007 y 2012. Se muestran a continuación las tablas de los consumos totales de energía primaria por medio de transporte tanto de personas como de mercancías en toneladas equivalentes de petróleo [TEP] en 1992.

<b>Consumo total de energía primaria por MEDIO de transporte de PERSONAS en toneladas equivalentes de petróleo [TEP] en 1992</b>									
Modo	millones de personas-km	Fabricación de vehículos			Construcción infraestructura	Circulación	Mantenimiento del sistema	Fin de vida útil	Total
		Materiales	Manufatura	Distribución					
Turismos	237.416	1.495.424	249.237	24.924	1.305.936	11.184.052	518.667	-79.756	14.698.484
Motos	4.778	22.852	3.809	381	16.346	128.462	5.957	-4.219	173.588
Autobús	51.876	26.536	4.423	442	78.815	617.578	28.641	-1.415	755.020
<b>VIARIO</b>	<b>294.070</b>	1.544.812	257.469	25.747	<b>1.401.097</b>	<b>11.930.092</b>	<b>553.265</b>	<b>-85.390</b>	<b>15.627.092</b>
		<b>1.828.028</b>							
Metro + tranvía	4.326	1.836	920	0	9.982	93.292	34.284	-98	140.216
Ferrocarril	17.637	20.285	10.161	0	138.109	341.474	69.465	-1081	578.413
<b>FERRO-VIARIO</b>	<b>21.963</b>	22.121	11.081	0	<b>148.091</b>	<b>434.766</b>	<b>103.749</b>	<b>-1.179</b>	<b>718.629</b>
		<b>33.202</b>							
<b>AÉREO</b>	<b>41.501</b>	5.315	3.054	0	<b>48.651</b>	<b>2.283.598</b>	<b>35.821</b>	<b>-283</b>	<b>2.376.156</b>
		<b>8.369</b>							
<b>MARÍTIMO</b>									
<b>TOTAL</b>	<b>357.534</b>	<b>1.572.248</b>	<b>271.604</b>	<b>25.747</b>	<b>1.597.839</b>	<b>14.648.456</b>	<b>692.835</b>	<b>-86.852</b>	<b>18.721.877</b>

Tabla 3.3.1. Consumo total de energía primaria por medio de transporte de personas en toneladas equivalentes de petróleo [TEP] en 1992.

Los valores para el transporte marítimo aparecen resaltados para indicar que es mera información, no se han utilizado para el modelado en dinámica en dinámica de sistemas, aunque sí que se ha llegado a plantear. La razón por la cual no se incluye su estudio en este trabajo es la falta de datos sobre este modo de transporte, tanto la división entre personas y mercancías como la energía empleada en las distintas fases del transporte.

<b>Consumo total de energía primaria por MEDIO de transporte de MERCANCÍAS en toneladas equivalentes de petróleo [TEP] en 1992</b>									
Modo	millones de toneladas-km	Fabricación de vehículos			Construcción infraestructura	Circulación	Mantenimiento del sistema	Fin de vida útil	Total
		Materiales	Manufactura	Distribución					
Furgonetas	42.336	210.723	35.120	3.512	623.792	5.092.228	236.155	-11.239	6.190.291
Camiones	189.955	258.897	43.150	4.315	1.395.898	5.504.382	255.269	-13.808	7.448.103
<b>VIARIO</b>	<b>232.291</b>	469.620	78.270	7.827	<b>2.019.690</b>	<b>10.596.610</b>	<b>491.424</b>	<b>-25.047</b>	<b>13.638.394</b>
		555.717							
<b>FERRO-VIARIO</b>	<b>9.691</b>	0	0	0	<b>61.426</b>	<b>245.118</b>	<b>49.113</b>	<b>0</b>	<b>355.657</b>
		0							
<b>AÉREO</b>	<b>650</b>	2.405	1.381	0	<b>22.009</b>	<b>407.213</b>	<b>6.388</b>	<b>-128</b>	<b>439.268</b>
		3.786							
<b>MARÍTIMO</b>									
<b>TOTAL</b>	<b>242.632</b>	<b>472.025</b>	<b>79.651</b>	<b>7.827</b>	<b>2.103.125</b>	<b>11.248.941</b>	<b>546.925</b>	<b>-25.175</b>	<b>14.433.319</b>

Tabla 3.3.2. Consumo total de energía primaria por medio de transporte de mercancías en toneladas equivalentes de petróleo [TEP] en 1992.

Los datos anteriores se resumen en la siguiente tabla dividida por modos de transporte:

Consumo total de energía primaria por MODO de transporte en toneladas equivalentes de petróleo [TEP] en 1992						
Modo	Fabricación de vehículos	Construcción infraestructura	Circulación	Mantenimiento del sistema	Fin de vida útil	Total
VIARIO	2.383.745	3.420.787	22.526.702	1.044.689	-110.437	29.265.486
FERROVIARIO	33.202	209.517	679.884	152.862	-1.179	1.074.286
AÉREO	12.155	70.660	2.690.811	42.209	-411	2.815.424
MARÍTIMO						
<b>TOTAL</b>	<b>2.429.102</b>	<b>3.700.964</b>	<b>25.897.397</b>	<b>1.239.760</b>	<b>-112.027</b>	<b>33.155.196</b>

Tabla 3.3.3. Consumo total de energía primaria por modo de transporte en toneladas equivalentes de petróleo [TEP] en 1992.

A continuación se muestran las tablas de los consumos totales de energía primaria por medio de transporte tanto de personas como de mercancías en toneladas equivalentes de petróleo [TEP] en 2012.

Consumo total de energía primaria por MEDIO de transporte en toneladas equivalentes de petróleo [TEP] en 2012						
Modo	Fabricación de vehículos	Construcción infraestructura	Energía de tracción	Mantenimiento del sistema	Fin de vida útil	TOTAL
Turismos	2.689.665	1.921.253	16.520.716	574.170	-772.437	20.933.367
Motos	67.839	92.602	476.585	12.174	-11.846	637.354
Autobús	40.428	24.707	1.531.358	45.740	-15.522	1.626.711
<b>VIARIO (pers)</b>	<b>2.797.932</b>	<b>2.038.562</b>	<b>18.528.659</b>	<b>632.084</b>	<b>-799.805</b>	<b>23.197.432</b>
Furgonetas	290.331	154.270	2.015.261	50.913	-179.853	2.330.922
Camiones	112.469	159.783	7.084.577	147.478	-199.729	7.304.578
<b>VIARIO (merc)</b>	<b>402.800</b>	<b>314.053</b>	<b>9.099.838</b>	<b>198.391</b>	<b>-379.582</b>	<b>9.635.500</b>
<b>VIARIO</b>	<b>3.200.732</b>	<b>2.352.615</b>	<b>27.628.497</b>	<b>830.475</b>	<b>-1.179.387</b>	<b>32.832.932</b>
FERROVIARIO	26.643	904.712	702.161	111.319		1.744.835
AÉREO	2.247	44.312	5.933.375	212.582		6.192.516
MARÍTIMO	343.050		10.469.604	22.959		10.835.613
<b>TOTAL</b>	<b>3.229.622</b>	<b>3.301.639</b>	<b>34.264.033</b>	<b>1.154.376</b>	<b>-1.179.387</b>	<b>40.770.283</b>

Tabla 3.3.4. Consumo total de energía primaria por medio de transporte en toneladas equivalentes de petróleo [TEP] en 2012.

Los datos anteriores se resumen en la siguiente tabla dividida por modos de transporte:

<b>Consumo total de energía primaria por MODO de transporte en toneladas equivalentes de petróleo [TEP] en 1992</b>						
<b>Modo</b>	<b>Fabricación de vehículos</b>	<b>Construcción infraestructura</b>	<b>Circulación</b>	<b>Mantenimiento del sistema</b>	<b>Fin de vida útil</b>	<b>Total</b>
<b>VIARIO</b>	3.200.732	2.352.615	27.628.497	830.475	-1.179.387	<b>32.832.932</b>
<b>FERROVIARIO</b>	26.643	904.712	702.161	111.319		<b>1.744.835</b>
<b>AÉREO</b>	2.247	44.312	5.933.375	212.582		<b>6.192.516</b>
<b>MARÍTIMO</b>	343.050		10.469.604	22.959		<b>10.835.613</b>
<b>TOTAL</b>	<b>3.229.622</b>	<b>3.301.639</b>	<b>34.264.033</b>	<b>1.154.376</b>	<b>-1.179.387</b>	<b>40.770.283</b>

Tabla 3.3.5. Consumo total de energía primaria por modo de transporte en toneladas equivalentes de petróleo [TEP] en 2012.

### 3.4. Energía en la fabricación y puesta en uso

El consumo energético asociado a la fabricación y puesta en uso de los diferentes tipos de vehículos se divide en tres componentes principales según [6]:

- El contenido energético de los materiales: producción de los materiales que componen los vehículos (desde su extracción hasta su procesamiento en las plantas industriales).
- Los consumos de energía en los procesos de producción: fabricación, montaje y ensamblado de piezas. No se incluye la fabricación de maquinaria o construcción de las plantas de producción.
- Los consumos energéticos en la distribución y venta de los vehículos: transporte a los puntos de venta y el funcionamiento de los mismos.

La fabricación de vehículos y su puesta en uso es la primera fase del ciclo global del transporte. Todos los aspectos anteriores se han incluido en una sola fase a analizar, ya que el consumo de energía en la fabricación es una pequeña parte en comparación con los requerimientos energéticos de la producción de los materiales que componen los vehículos, pero no menos importante.

Todos estos datos se recogen en las tablas desde la II.I.II. a la II.I.VI. y la tabla II.II.V. del Anexo II.

A partir de los valores de las tablas, se ha podido realizar un modelo en dinámica de sistemas que analiza el consumo de energía en la fabricación y puesta en uso de los vehículos. El modelo se ha dividido tanto en el consumo energético de cada vehículo como en el total de la fabricación de cada modo de transporte (viario, ferroviario y aéreo). A su vez, sumando estos últimos cálculos del consumo de cada modo de transporte, resulta el total del consumo de energía en la fabricación de los vehículos del transporte interior en España.

### 3.5. Energía en la construcción de infraestructuras

Según *Las cuentas ecológicas del transporte en España* existen tres problemas específicos a la hora de calcular el consumo energético en esta fase del transporte. En primer lugar, llegan a la conclusión de que el periodo de amortización de las infraestructuras es de 50 años. En segundo lugar, es complicado calcular la energía consumida en la construcción de la amplia variedad de infraestructuras que emplea cada modo de transporte. Por último no se considera en los datos extraídos de las cuentas la energía consumida en el mantenimiento de las infraestructuras.

Finalmente y a la hora de realizar simulaciones sobre el modelo, se supone una inversión media desde 1992 en adelante dados los valores de las tablas desde la II.I.II. a la II.I.VI. y las tablas II.II.VI. y II.II.VII. del Anexo II con el periodo de amortización de 50 años.

### 3.6. Energía en la fase de desplazamiento o circulación

La fase de circulación es la fase intermedia del ciclo global del transporte. Es la de mayor relevancia ya que es la de mayor consumo de energía entre las cinco fases. Esta fase es llamada energía de tracción en el volumen de Antonio Estevan [5].

Para hallar el índice de ocupación de los vehículos se ha recurrido al Volumen II de la Metodología de las Cuentas Ecológicas del Transporte [10] en el cual el método elegido consiste en relacionar la ocupación de los vehículos con la ocupación de los vehículos accidentados, medido a través de la diferencia de las víctimas entre conductores y pasajeros de los vehículos accidentados. Este valor lo denominan como ocupación aparente y se obtiene del registro policial de accidentes con víctimas que ofrece la Dirección General de Tráfico del Ministerio del Interior.

Esta forma de calcular el índice de ocupación de los vehículos supone que no hay más accidentes entre vehículos ocupados por una persona que



entre vehículos ocupados por más personas y además que un pasajero tiene las mismas probabilidades de resultar víctima de un accidente que un conductor [10].

Por lo tanto la fórmula propuesta es la siguiente:

$$\text{Índice de ocupación aparente} = \frac{\text{víctimas}^*}{\text{conductores víctimas}}$$

\*Las víctimas son la suma de pasajeros víctimas y conductores víctimas.

A continuación se resumen los datos de ocupación aparente de vehículos motorizados individuales en el modo viario en dos tablas separadas por desplazamientos interurbanos por carretera y desplazamientos en el viario urbano.

	Índice de ocupación			Fuente
	1992	2007	2012	
Automóviles (conductor y pasajeros)	1,99	1,70	1,69	Estimación propia a través del concepto de "ocupación aparente" y la información suministrada por el Anuario de Accidentes de la Dirección General de Tráfico
Motocicletas (conductor y pasajeros)	1,28	1,13	1,12	
Ciclomotor (conductor y pasajeros)	1,17	1,19	1,15	

Tabla 3.6.1. Ocupación aparente de los vehículos motorizados individuales en desplazamientos interurbanos por carretera. Fuente: Metodología de las Cuentas [10]

	Índice de ocupación			Fuente
	1992	2007	2012	
Automóviles (conductor y pasajeros)	1,83	1,63	1,65	Estimación propia a través del concepto de "ocupación aparente" y la información suministrada por el Anuario de Accidentes de la Dirección General de Tráfico
Motocicletas (conductor y pasajeros)	1,22	1,11	1,10	
Ciclomotor (conductor y pasajeros)	1,15	1,18	1,13	

Tabla 3.6.2. Ocupación aparente de los vehículos motorizados individuales en desplazamientos en el viario urbano. Fuente: Metodología de las Cuentas [10]

Se ha realizado una estimación adaptada al modelo de tal forma que la ocupación no es variable con el paso de los años, realizando la media de los valores de la ocupación aparente de los automóviles en desplazamientos en total, tanto por carretera como en el viario urbano. Así se obtiene un valor constante para toda la simulación del modelo en dinámica de sistemas.

$$\text{Media del índice de ocupación en 1992} = \frac{1,99 + 1,83}{2} = 1,91$$

$$\text{Media del índice de ocupación en 2007} = \frac{1,70 + 1,63}{2} = 1,665$$

$$\text{Media del índice de ocupación en 2012} = \frac{1,69 + 1,65}{2} = 1,67$$

La media del índice de ocupación aparente para los automóviles es la siguiente y es el valor que se ha utilizado en el modelo en Vensim:

$$\text{Índice de ocupación} = \frac{1,91 + 1,665 + 1,67}{3} = 1,748\hat{3} \approx 1,7483$$

Otro aspecto que se ha tenido en cuenta ha sido la electricidad consumida por el transporte de personas en el modo ferroviario en la fase de circulación. En la siguiente tabla se puede comprobar que es el componente mayoritario dentro del consumo de energía en el modo ferroviario.

**Tabla 37. Consumo de energía en la operación de los servicios ferroviarios (2012)**

	Energía final (tep)		Energía primaria (tep EP)
	Gasóleo	Electricidad	
ADIF	72.186,7	202.702,0	553.347,42
FEVE	7.993,4	1.952,2	13.503,20
CC.AA.	1.390,2	19.100,6	46.080,50
Cías. Privadas	0,1	77,4	180,53
<b>TOTAL</b>	<b>81.570,4</b>	<b>223.832,2</b>	<b>613.111,65</b>

Tabla 3.6.3. Consumo de energía del modo ferroviario en la fase de desplazamiento o circulación en 2012. Fuente: Cuentas Ecológicas del Transporte [6]

$$\% \text{ de electricidad sobre el total} = \frac{223.832,2}{(81.570,4 + 223.832,2)} \approx 75\%$$

Siendo el porcentaje de electricidad cerca de un 75%, el porcentaje del gasóleo rondará el 25% y por lo tanto, merecerá la pena hacer una distinción entre ambas.

### 3.7. Energía en el mantenimiento y gestión del sistema

El mantenimiento y gestión del sistema es la cuarta fase dentro del ciclo global del transporte. Esta fase consta principalmente de dos componentes esenciales: el mantenimiento y reparación de los vehículos y el mantenimiento y gestión del sistema de transportes.

Frecuentemente, en los análisis del ciclo de vida de los diferentes modos de transporte se desprecia la primera parte, la fase de mantenimiento y reparación de los vehículos, ya que se consideran datos irrelevantes frente a los efectos de las demás fases del transporte.

Considerando el primer componente, los consumos energéticos asociados al mantenimiento y reparación de automóviles se dividen en dos consumos fundamentales [6]:

- Consumo energético de los talleres en los que se realizan las tareas de mantenimiento y reparación.
- Contenido energético de las piezas y recambios empleados en los talleres.

A su vez, el mantenimiento y gestión del sistema de transportes incluye cuatro tareas principales:

- Regulación del sistema.
- Control y sistemas de seguridad.
- Gestión del acceso al transporte.
- Gestión de las paradas, estaciones y terminales de acceso.

Estas tareas realizan un consumo de energía primaria importante a tener en cuenta. Por lo tanto, para realizar el modelo en dinámica de sistemas en Vensim con sus correspondientes variables, se han utilizado los datos de las tablas propuestas en el apartado 3.3. de este capítulo obtenidas de las tablas II.I.II. a la II.I.VI. y la tabla II.II.XIII. del Anexo II.

### 3.8. Energía en el fin de la vida útil de los vehículos

El consumo energético en esta fase del transporte comparado con el resto de fases es notablemente inferior pero no por eso puede ser despreciado. Por lo tanto, este análisis del fin de la vida útil de los vehículos se incluye y sintetiza en el modelo en dinámica en sistemas.

En este apartado solo se ha tenido en cuenta la energía consumida y recuperada en el fin de la vida útil de los vehículos en el año 1992 y el consumo energético del modo viario en 2012, ya que en este año no se ha podido realizar una estimación al respecto del tratamiento de los vehículos de los modos ferroviario, aéreo y marítimo debido a las dificultades para encontrar información acerca de la flota de trenes, aviones y barcos que son desmantelados anualmente en España. A su vez no se diferencia entre vehículos de carga ligera (furgonetas) y de carga pesada (camiones) ya que las estadísticas de la DGT se muestran de esta forma [6].

De acuerdo con los datos proporcionados por las cuentas ecológicas [6], el proceso del fin de la vida útil de los automóviles en el modo viario sigue unas etapas a distinguir entre:

1. Recepción y verificación.
2. Descontaminación.
3. Retirada de componentes reutilizables y materiales reciclables.

4. Fragmentación y recuperación de materiales.
5. Gestión de residuos no reciclados.

En esta fase del transporte, se consume energía en el tratamiento y desmantelamiento de los vehículos, pero esto es una pequeña parte frente al gran aprovechamiento energético que se produce en la reutilización y reciclaje de los materiales recuperados. Por tanto, el consumo energético total del fin de la vida útil es negativo:

$$\text{Consumo energético fin de vida útil} = (\text{consumo}) - (\text{recuperación})$$

La siguiente tabla muestra el resumen de los datos de 1992 y 2012 obtenidos de las tablas II.I.II. a la II.I.VI. y las tablas II.II.XIV. II.II.XV. del Anexo II:

<b>Consumo total de energía primaria en el fin de la vida útil de los vehículos por medio de transporte en toneladas equivalentes de petróleo [TEP]</b>				
<b>Modo</b>	<b>1992</b>	<b>2012</b>		
		<b>Consumo de energía</b>	<b>Recuperación de energía</b>	<b>Consumo de energía TOTAL</b>
Turismos	-79.756	442	15.525	-15.083
Motos	-4.219	5	385.203	-385.198
Autobús	-1.415	9	6.871	-6.862
<b>VIARIO (personas)</b>	<b>-85.390</b>	456	407.599	<b>-407.143</b>
Furgonetas	-11.239	-	-	-
Camiones	-13.808	-	-	-
<b>VIARIO (mercancías)</b>	<b>-25.047</b>	202	772.446	<b>-772.244</b>
Metro + tranvía	-98	-	-	-
Ferrocarril	-1.081	-	-	-
<b>FERROVIARIO</b>	<b>-1.179</b>	-	-	-
<b>AÉREO</b>	<b>-411</b>	-	-	-
<b>MARÍTIMO</b>	<b>-</b>	-	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>-112.027</b>	658	1.180.045	<b>-1.179.387</b>

Tabla 3.8.1. Consumo de energía primaria en el fin de la vida útil de los vehículos por medio y modo de transporte en toneladas equivalentes de petróleo [TEP] en 1992 y 2012.



4. PRINCIPALES MAGNITUDES DEL TRANSPORTE.....	47
4.1. Introducción.....	48
4.2. El transporte interior de personas.....	48
4.3. El transporte interior de bienes y mercancías.....	53

## 4. PRINCIPALES MAGNITUDES DEL TRANSPORTE

### 4.1. Introducción

En este capítulo se muestran los diferentes esquemas del modelo realizado en dinámica de sistemas. El modelo en Vensim analiza los desplazamientos de personas y mercancías, y su consumo energético en el interior de España según las publicaciones de Ecologistas en Acción en 2014 [6] y de Antonio Estevan y Alfonso Sanz en 1996 [5]. Los dos libros han servido tanto para realizar la estructura del modelo en Vensim como para insertar datos en las distintas variables utilizadas.

### 4.2. El transporte interior de personas

A continuación se va a mostrar la estructura del modelo en Vensim del transporte de personas en el interior de España. Este esquema resulta poco detallado si se muestra en su totalidad por lo que se dividirá en partes correspondientes a cada medio de transporte individualmente para visualizarlo mejor.

La principal hipótesis que se ha supuesto para realizar el modelo en dinámica de sistemas es que los desplazamientos de personas en los diferentes medios de transporte son proporcionales a la población. Si la población aumenta, los desplazamientos aumentan proporcionalmente, y si la población disminuye, los desplazamientos disminuyen de la misma forma. Se ha recurrido al INE [8] y la ONU [9] para extraer sus datos sobre la población desde 1992 y la proyección de población en España hasta el 2040 (consultar Anexo I).

La primera parte de la estructura del modelo muestra la totalidad de los desplazamientos, su tendencia a aumentar o disminuir, incrementos e incluso la parte que corresponde al transporte de las personas en coche. Las siguientes figuras son las partes individuales que corresponden a cada medio de transporte y las últimas figuras son detalles sobre las políticas establecidas.

A continuación se expone la primera figura que consta principalmente del stock total de desplazamientos de personas en el interior de España y otras variables que se explican más tarde:

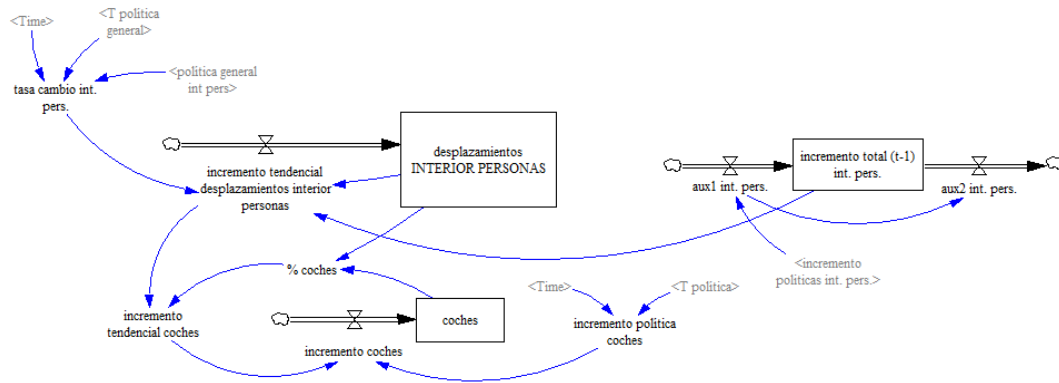


Figura 4.2.1. Parte ampliada del modelo en Vensim que se refiere al número total de desplazamientos de personas en el interior de España.

Sin analizar la parte correspondiente a los desplazamientos en coche se distinguen diferentes variables en el modelo en Vensim:

- “Time”: tiempo de simulación (1992-2040).
- “T política general”: el año en el que se aplican las políticas en general (2017).
- “política general int. pers.”: es un valor constante que modifica la siguiente y muestran la variación de los desplazamientos de las personas. Se plantearán diferentes valores pero uno de ellos será aproximadamente el proporcionado por las estadísticas [8] y [9].
- “desplazamientos INTERIOR PERSONAS”: stock que almacena anualmente la cantidad total de desplazamientos de las personas.
- “incremento tendencial desplazamientos interior personas”: es el incremento anual de desplazamientos totales de personas que depende de si el total tiende a aumentar o disminuir. Puede ser positivo o negativo.
- “incremento total (t-1) int. pers.”: variable que almacena el incremento total de los desplazamientos anuales según las políticas establecidas. Puede ser positivo o negativo. Si no se aplica ninguna política, será igual a cero.
- “aux1 int. pers.” y “aux2 int. pers.”: son las variables auxiliares que permiten calcular el “incremento total (t-1) int. pers.”.

A continuación se muestra con detalle el esquema que analiza el transporte de las personas en el interior de España en coche:

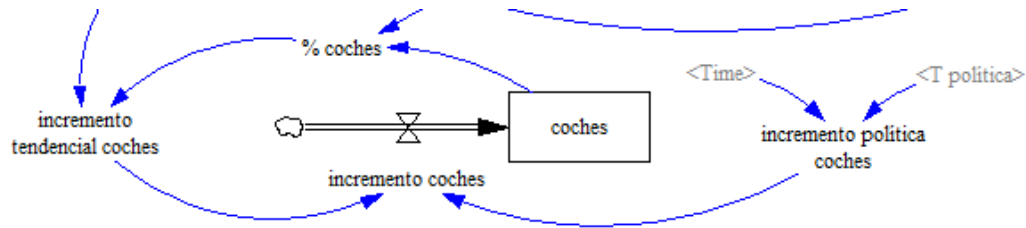


Figura 4.2.2. Parte ampliada del modelo en Vensim que se refiere al transporte de personas en turismo.

El análisis de las variables de esta parte del modelo es idéntica para las figuras que corresponden al transporte de los siguientes medios de transporte:

- “incremento tendencial coches”: división de la variable “incremento tendencial desplazamientos interior personas” que corresponde al transporte de personas en coche. Puede ser positivo o negativo.
- “% coches”: es el porcentaje inicial cada año de desplazamientos de personas en turismo.
- “incremento coches”: incremento total de desplazamientos en coche debido a la política establecida. Puede ser positivo o negativo.
- “coches”: stock que almacena el número total de desplazamientos de personas en coche anualmente.
- “incremento política coches”: es la política establecida para este transporte en concreto en forma de incremento. Puede ser positivo o negativo. Si no se aplica ninguna política, esta variable será cero.
- “T política”: año en el que se establece la política anterior (2017).

Las siguientes figuras tendrán una estructura parecida entre sí, ya que en su análisis plantearán la sustitución del transporte en coche por los demás medios que se muestran a continuación:

- Motocicleta y ciclomotor:

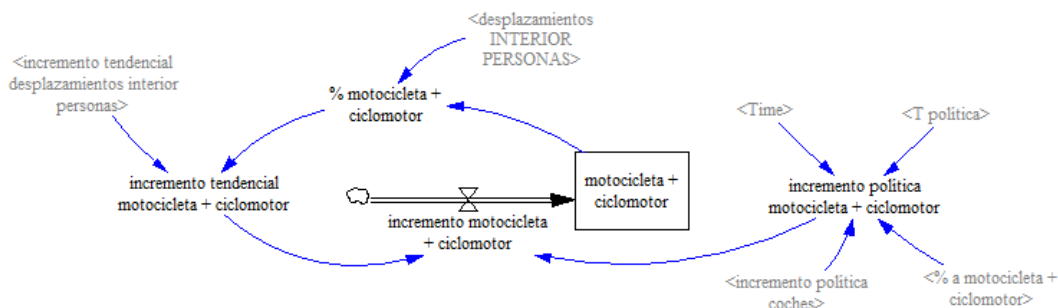


Figura 4.2.3. Parte ampliada del modelo en Vensim que se refiere a la suma del transporte de personas en motocicletas y ciclomotor.



- Autobús

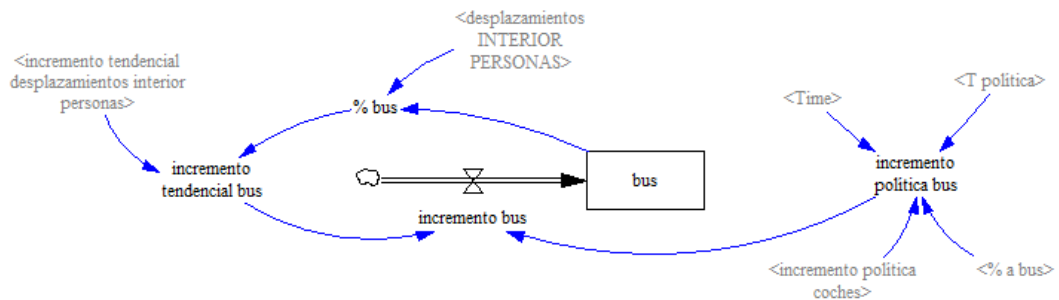


Figura 4.2.4. Parte ampliada del modelo en Vensim que se refiere al transporte de personas en autobús.

- Metro y tranvía

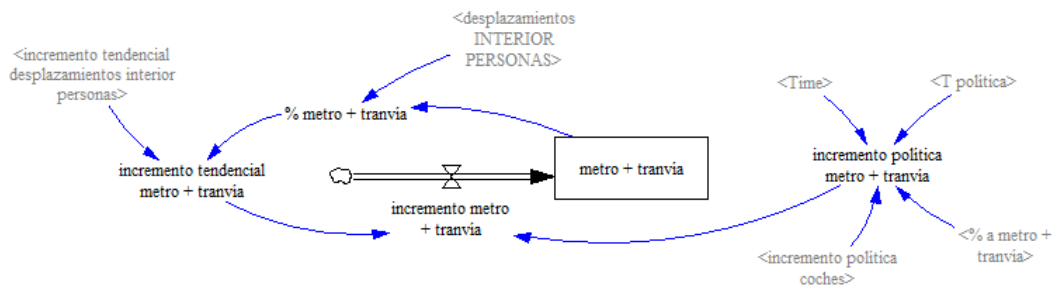


Figura 4.2.5. Parte ampliada del modelo en Vensim que se refiere a la suma del transporte de personas en metro y tranvía.

- Tren:

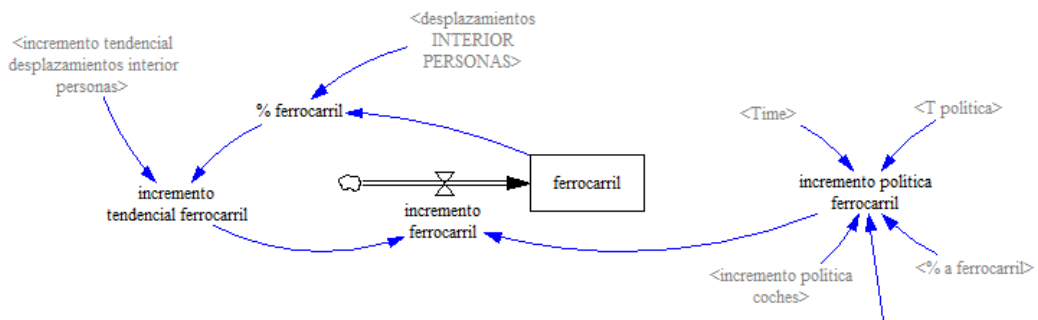


Figura 4.2.6. Parte ampliada del modelo en Vensim que se refiere al transporte de personas en tren.

- Avión

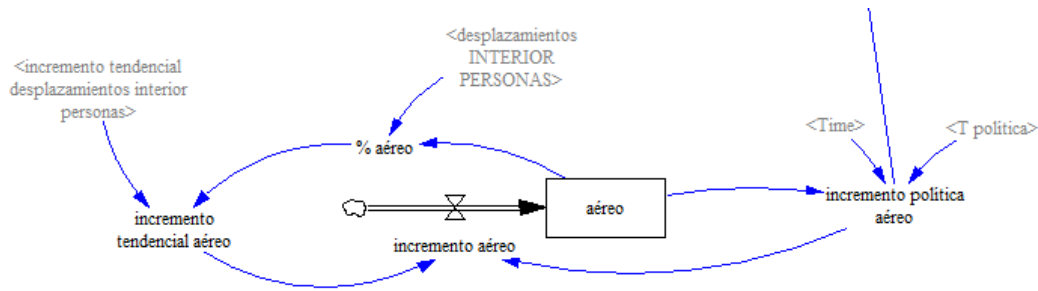


Figura 4.2.7 Parte ampliada del modelo en Vensim que se refiere al transporte de personas en avión.

El tren y el avión tienen una particularidad, consiste en sustituir progresivamente los viajes de larga distancia en el interior de España en avión por el tren y para ello las políticas de los dos modos de transporte se han unido en Vensim de la siguiente forma:

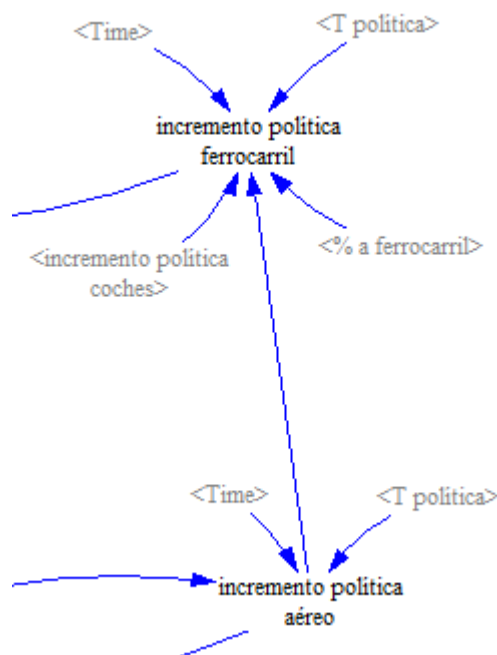


Figura 4.2.8. Relación entre las políticas sobre los desplazamientos de personas en tren y en avión en Vensim.

Por último, también se ha modelado en Vensim el transporte marítimo. Simplemente se ha realizado el esquema porque su análisis no se ha podido llevar a cabo por falta de datos.

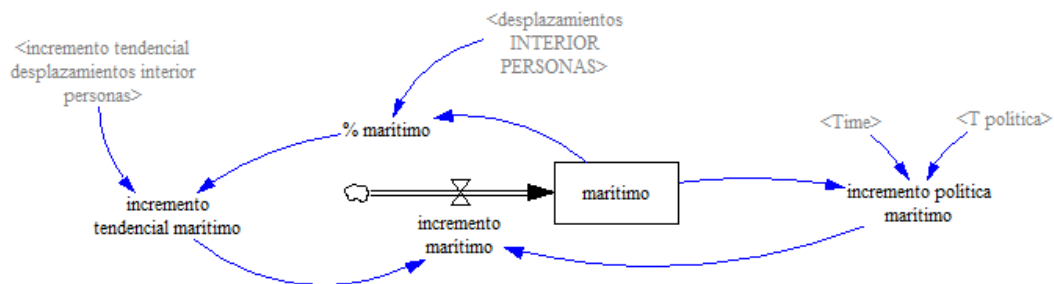


Figura 4.2.9. Parte ampliada del modelo en Vensim que se refiere al transporte de personas en barco.

Para relacionar las políticas, en la Figura 4.2.1. aparece una variable llamada “incremento políticas int. pers.” que resulta de la suma de todas las políticas establecidas en cada medio de transporte. El esquema correspondiente a estas variables es el siguiente:

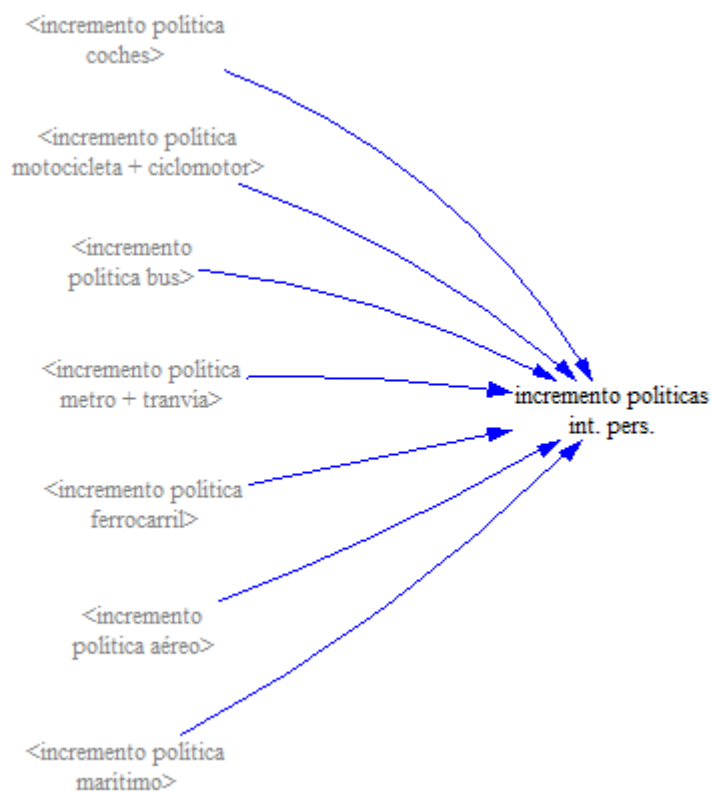


Figura 4.2.10. El incremento total de las políticas es la suma de las políticas individuales de cada medio de transporte de personas.

Finalmente, las variables “% a motocicleta + ciclomotor”, “% a metro + tranvía”, “% a ferrocarril” y “% a bus” se relacionan entre sí de manera que compensan la disminución del número de desplazamientos en coche. En

realidad, los valores introducidos en Vensim se introducen en tanto por uno, por lo tanto la resta que define el “% a bus” es la siguiente:

$$\begin{aligned}
 & \text{"\% a bus"} = \\
 & = 1 - \text{"\% a motocicleta + ciclomotor"} - \text{"\% a metro + tranvía"} - \text{"\% a ferrocarril"}
 \end{aligned}$$

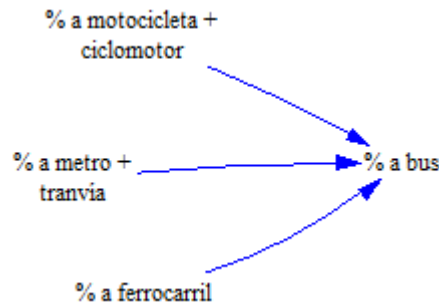


Figura 4.2.11. División de porcentajes que resultan de la disminución de los desplazamientos de personas en coche.

### 4.3. El transporte interior de bienes y mercancías

De la misma forma que en el transporte de personas, en este apartado se muestran las estructuras realizadas en dinámica de sistemas sobre el transporte de mercancías en España. Este apartado que corresponde al transporte de mercancías se ha modelado en Vensim y aunque no se ha analizado, queda inicializado para un posible trabajo de continuación.

Finalmente, el modelado en dinámica de sistemas del transporte de mercancías en el interior de España se mostrará a lo largo de este apartado y el análisis de las variables será similar al análisis realizado en el apartado 4.2. sobre el transporte de personas.

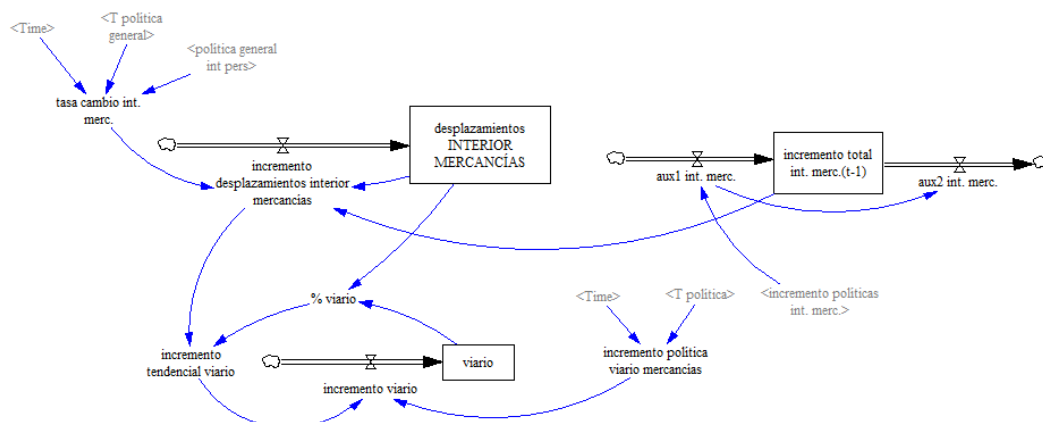


Figura 4.3.1. Parte ampliada del modelo en Vensim que se refiere al número total de desplazamientos de mercancías en el interior de España.

A continuación se muestran los esquemas por modos de transporte a diferencia del transporte de personas que se mostraba más detallado por medios.

- Modo viario:

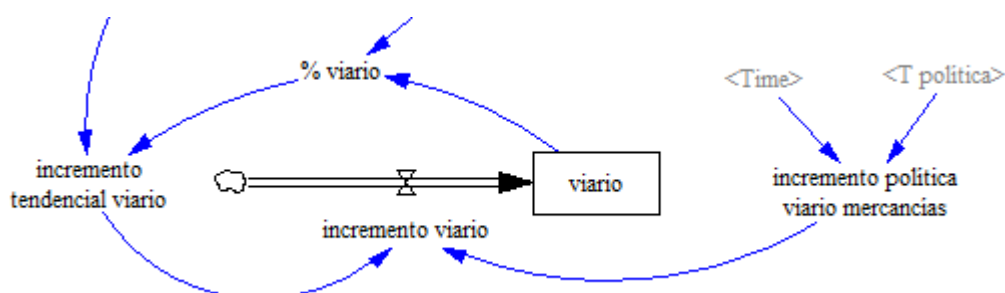


Figura 4.3.2. Parte ampliada del modelo en Vensim que se refiere al transporte de mercancías en el modo viario.

- Modo ferroviario:

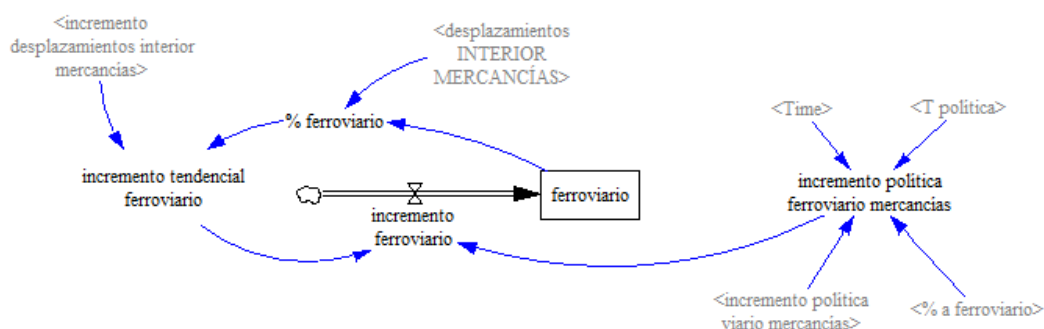


Figura 4.3.3. Parte ampliada del modelo en Vensim que se refiere al transporte de mercancías en el modo ferroviario.

- Modo aéreo:

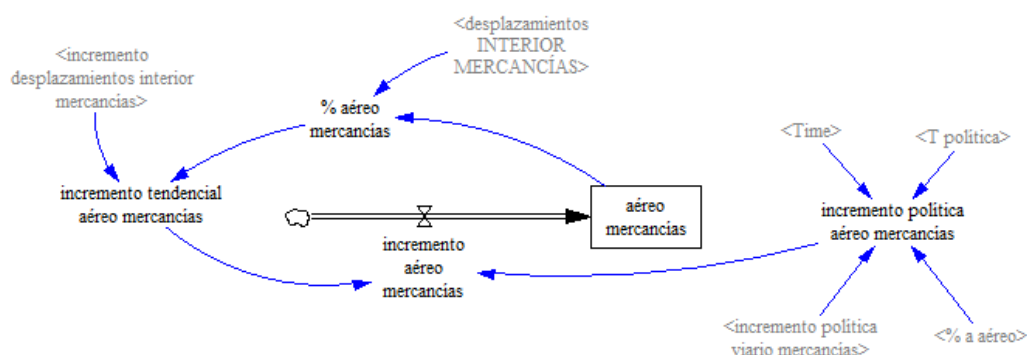


Figura 4.3.4. Parte ampliada del modelo en Vensim que se refiere al transporte de mercancías en el modo aéreo.

- Modo marítimo:

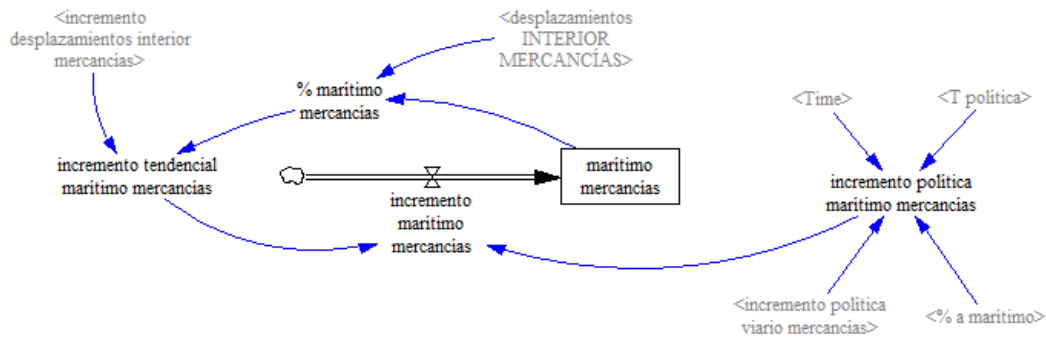


Figura 4.3.5. Parte ampliada del modelo en Vensim que se refiere al transporte de mercancías en el modo marítimo.

Al igual que en el transporte de personas, en la Figura 4.3.1. aparece la variable “incremento políticas int. merc.” que es la suma de los incrementos de las políticas de todos los modos de transporte (viario, ferroviario, aéreo y marítimo) y este es el esquema:

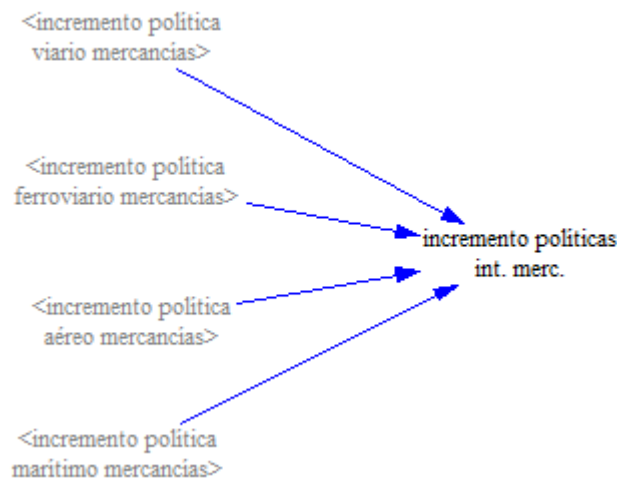


Figura 4.3.6. El incremento total de las políticas es la suma de las políticas individuales de cada modo de transporte de mercancías.

Finalmente, las variables “% a motocicleta + ciclomotor”, “% a metro + tranvía”, “% a ferrocarril” y “% a bus” se relacionan entre sí de manera que compensan la disminución del número de desplazamientos en coche. En realidad, los valores introducidos en Vensim se introducen en tanto por uno, por lo tanto la resta que define el “% a bus” es la siguiente:

$$\begin{aligned}
 \text{"\% a ferroviario"} &= \\
 &= 1 - \text{"\% a aéreo"} - \text{"\% a marítimo"}
 \end{aligned}$$

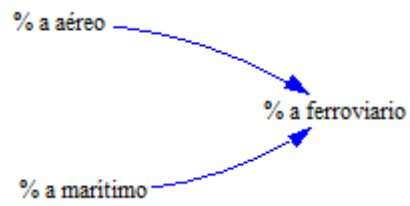


Figura 4.3.7. División de porcentajes que resultan de la disminución de los desplazamientos de mercancías en el modo viario.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES

*TFG: Diseño de un modelo de dinámica de sistemas para  
analizar las cuentas energéticas del transporte en España*

*Beatriz Benito Núñez*

---





5. LA ENERGÍA EN EL TRANSPORTE.....	59
5.1. Introducción.....	60
5.2. Energía en la fabricación y puesta en uso.....	60
5.3. Energía en la construcción de infraestructuras.....	62
5.4. Energía en la fase de desplazamiento o circulación.....	64
5.5. Energía en el mantenimiento y gestión del sistema.....	68
5.6. Energía en el fin de la vida útil de los vehículos.....	68
5.7. Consumo total de energía.....	69

## 5. LA ENERGÍA EN EL TRANSPORTE

### 5.1. Introducción

El presente capítulo muestra la parte del modelo en dinámica de sistemas que contiene el consumo energético en las diferentes fases del ciclo global del transporte interior en España.

El estudio del consumo de energía en el transporte es muy importante ya que como se ha mencionado en la Introducción de este trabajo es un 39% del consumo total nacional. Como bien introduce Mediavilla et al. en el artículo *La transición hacia energías renovables: límites físicos y temporales* de 2013, “la energía es uno de los aspectos más importantes de la vida, y la transformación a una sociedad no basada en combustibles fósiles está convirtiéndose en una cuestión de máximo interés” [11]. Este interés se muestra en la preocupación por la contaminación y el cambio climático, y el pico del petróleo. Las previsiones revelan un pico de extracción de petróleo muy próximo en el tiempo y su posterior declive. Por estas razones resulta muy interesante poder realizar un modelo en dinámica de sistemas con el que se pueda analizar el consumo energético en el transporte dentro del país debido a la mayoritaria utilización de combustibles fósiles en este sector. El modelo da una visión general de la movilidad actualmente y en un futuro próximo incluyendo todas las fases del transporte y la cantidad de desplazamientos y kilómetros recorridos por las personas y las mercancías.

El análisis energético de las distintas fases del ciclo global del transporte que va a seguir este capítulo es consecuencia del tercer capítulo, desde que se fabrica un vehículo hasta el fin de su vida útil:

- Fase 1. Energía en la fabricación y puesta en uso de los vehículos.
- Fase 2. Energía en la construcción y mantenimiento de infraestructuras.
- Fase 3. Energía en la fase de desplazamiento o circulación.
- Fase 4. Energía en el mantenimiento y gestión del sistema.
- Fase 5. Energía en el fin de la vida útil de los vehículos.

### 5.2. Energía en la fabricación y puesta en uso

A partir de los valores de las tablas del apartado 3.3. del tercer capítulo se ha podido realizar un modelo en dinámica de sistemas que analiza el consumo de energía en la fabricación y puesta en uso de los vehículos. El modelo se ha dividido tanto en el consumo energético de cada vehículo como en el total de la fabricación de cada modo de transporte (viario, ferroviario y aéreo). A su vez, sumando estos últimos cálculos del consumo de cada modo

de transporte, resulta el total del consumo de energía en la fabricación de los vehículos del transporte interior en España.

El modelado en dinámica de sistemas del consumo energético en esta fase del transporte se muestra a continuación:

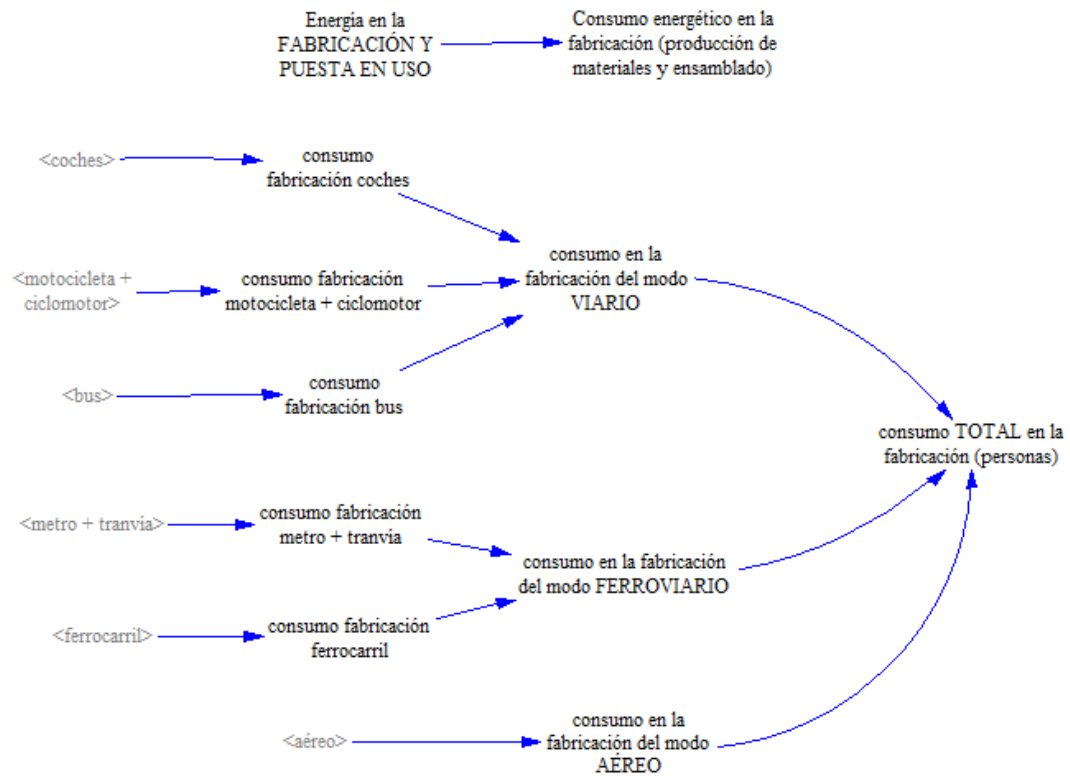


Figura 5.2.1. Detalle del modelo en dinámica de sistemas del consumo de energía en la fabricación y puesta en uso de los diferentes vehículos.

El valor inicial del consumo de energía en la fabricación y puesta en uso de los diferentes vehículos se calcula como las toneladas equivalentes de petróleo en 1992 entre el número de desplazamientos en dicho vehículo en 1992 multiplicado por ese número variable anualmente. A continuación se muestra un ejemplo del cálculo del consumo energético en la fabricación de coches:

$$en. \text{ fabr. coches } [TEP] = \frac{1.769.585 [TEP]}{237.416 \cdot 10^6 [pers - km]} * (\text{coches}) [pers - km]$$

Analizando la ecuación:

- 1.769.585 es el consumo energético en 1992 en TEP [5].
- $237.416 \cdot 10^6$  es el número de desplazamientos de personas en coche en 1992 en unidades de personas-km [5].

- *coches* es la variable *shadow* que aparece en el diagrama anterior que corresponde al número variable anual de desplazamientos de personas en coche y sus unidades también son personas-km.

Este cálculo será similar para todos los consumos energéticos en la fabricación del resto de vehículos siguiendo las tablas del apartado 3.3. del tercer capítulo.

Posteriormente se realizan los cálculos del consumo de energía en esta fase del transporte de los diferentes modos viario, ferroviario y aéreo. La energía en el modo viario es la suma de todos los medios de transporte que lo componen y de la misma forma se calcula el modo ferroviario. El consumo energético total será la suma de los tres modos de transporte.

### 5.3. Energía en la construcción de infraestructuras

El modelado de esta fase del transporte se ha realizado de diferente forma ya que se tiene en cuenta el periodo de amortización de las infraestructuras. Las cuentas ecológicas llegan a la conclusión de que este periodo es de 50 años [6], por lo que el deterioro de las mismas será 1/50.

En primer lugar se van a modelar distintos escenarios de forma que a partir del año correspondiente de aplicación de la política la inversión sea igual a cero y la estructura en dinámica de sistemas es la siguiente:

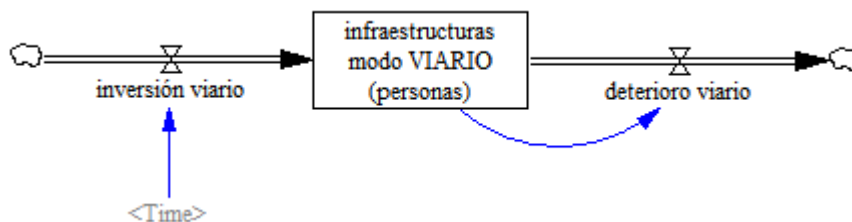


Figura 5.3.1. Detalle del modelo en dinámica de sistemas del consumo de energía en la construcción y mantenimiento de infraestructuras en el modo viario.

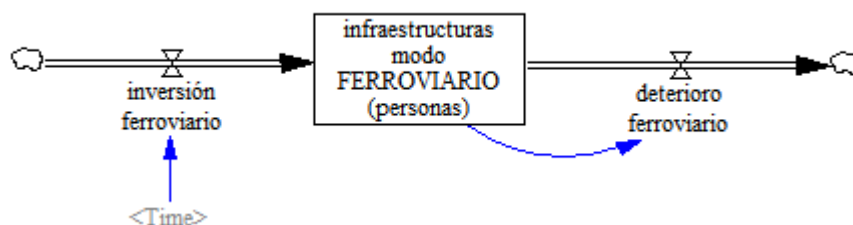


Figura 5.3.2. Detalle del modelo en dinámica de sistemas del consumo de energía en la construcción y mantenimiento de infraestructuras en el modo ferroviario.

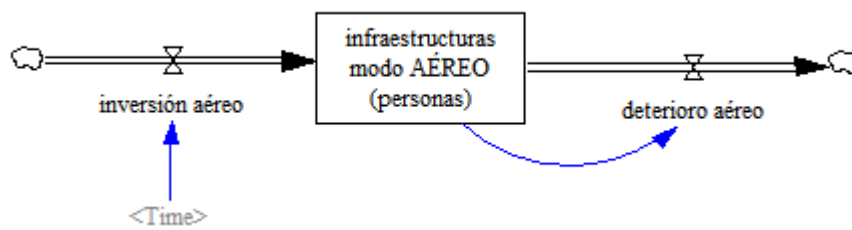


Figura 5.3.3. Detalle del modelo en dinámica de sistemas del consumo de energía en la construcción y mantenimiento de infraestructuras en el modo aéreo.

En segundo lugar, en el resto de escenarios la política establece la inversión igual al deterioro y la estructura es diferente a la anterior:

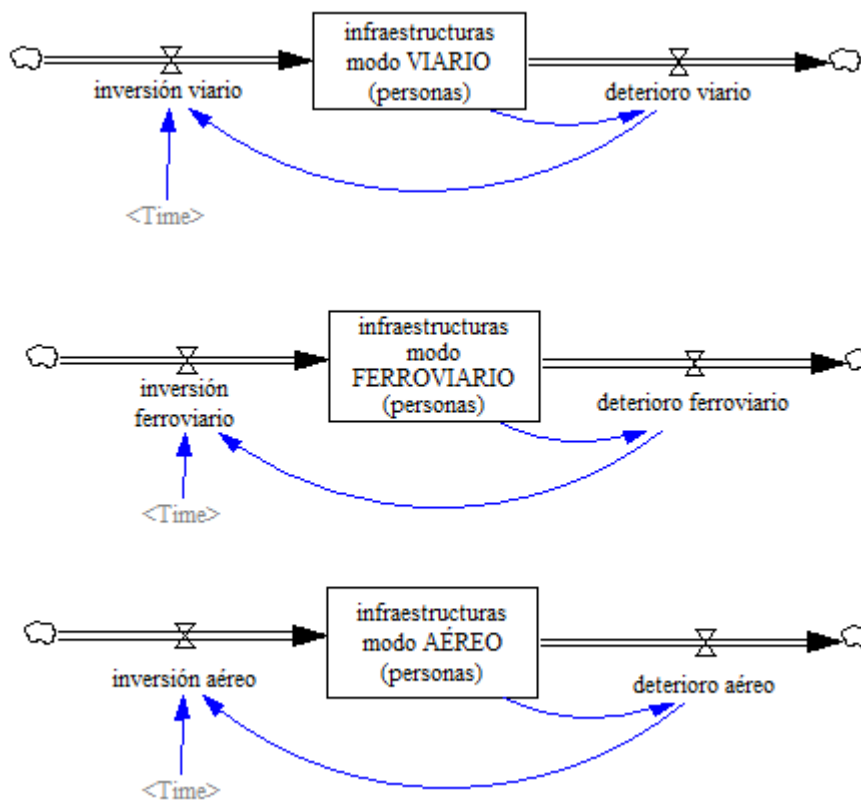


Figura 5.3.4. Detalle del modelo en dinámica de sistemas del consumo de energía en la construcción y mantenimiento de infraestructuras en los modos viario, ferroviario y aéreo en los que se invierte según el deterioro.

El total del consumo energético en la construcción y mantenimiento de infraestructuras es la suma de los consumos en los modos viario, ferroviario y aéreo y este es su esquema:

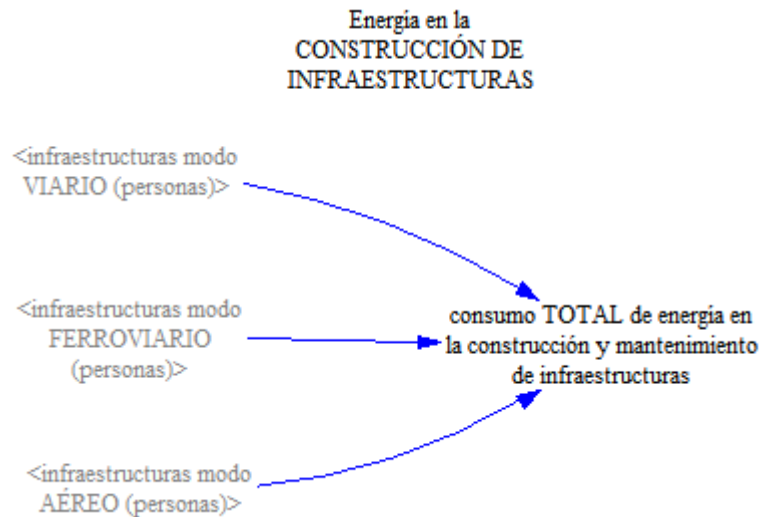


Figura 5.3.5. Detalle del modelo en dinámica de sistemas del consumo total de energía en la construcción y mantenimiento de infraestructuras.

También se ha modelado el stock energético de infraestructuras que es la suma de los stocks del modo viario, ferroviario y aéreo. El stock total representa la energía acumulada anualmente en la construcción de infraestructuras.

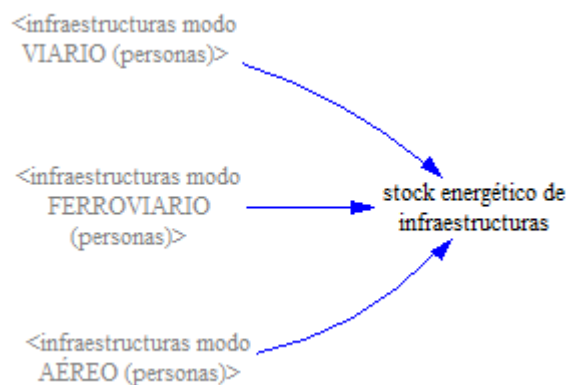


Figura 5.3.6. Detalle del modelo en dinámica de sistemas del stock energético de infraestructuras.

## 5.4. Energía en la fase de desplazamiento o circulación

Cada modo de transporte se va a calcular de una manera diferente. Para modelar la estructura en dinámica de sistemas del consumo energético de los automóviles privados se va a tener en cuenta la eficiencia y mejoras que se producen día a día en este sector.

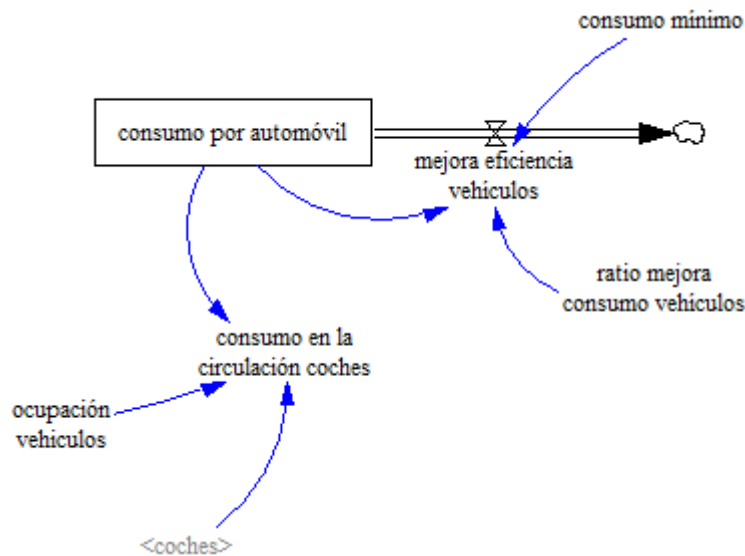


Figura 5.4.1. Detalle del modelo en dinámica de sistemas del consumo de energía de los coches en la fase de desplazamiento o circulación.

Las variables del esquema anterior representan lo siguiente:

- “coches”: total de los desplazamientos de personas en coche.
- “ocupación vehículos”: ocupación de cada turismo calculada en el apartado 3.6. del tercer capítulo y es igual a 1,7483.
- “consumo mínimo”: se ha supuesto un consumo mínimo al que se llega en el año 2040: 0,04 (litros combustible  $\approx$  KEP)/1000.\*
- “ratio mejora consumo vehículos”: se ha supuesto un valor 0,02 de mejora anual del consumo gracias al avance de la tecnología.
- “mejora eficiencia vehículos”: es la mejora anual de la eficiencia de los vehículos y refleja la variación en el consumo anual por vehículo:

$$\begin{aligned}
 \text{"mejora eficiencia veh."} &= \\
 &= \text{"cons. por automóvil"} * \text{"ratio mejora cons. veh"} * \\
 &\quad * \left( 1 - \frac{\text{consumo mínimo}}{\text{consumo por automóvil}} \right)
 \end{aligned}$$

- “consumo por automóvil”: consumo de energía individual por vehículo y es igual a menos la mejora de la eficiencia de los vehículos. Cuanto mayor es la mejora, menor es el consumo. Valor inicial en 1992: 0,06 (litros combustible  $\approx$  KEP) /1000.\*
- “energía circulación coches”: son los desplazamientos en coche por el consumo individual por vehículo entre la ocupación de los vehículos. Este resultado final son toneladas equivalentes de petróleo.

\* Un KEP de energía primaria equivale muy aproximadamente a un litro de combustible de automoción [5, pp. 307] por lo que los valores que se han introducido en esta parte del modelo en Vensim se dividen entre 1000 para que los resultados finales sean TEP.

A continuación se muestran los esquemas del resto de medios y modos de transporte como son el autobús y las motocicletas y ciclomotores dentro del modo viario y posteriormente el modo ferroviario y aéreo. Se calculan de la misma forma que el apartado 5.2.

- Autobús:

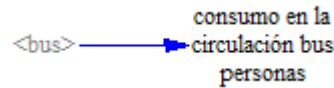


Figura 5.4.2. Detalle del modelo en dinámica de sistemas del consumo de energía de los autobuses en la fase de desplazamiento o circulación.

- Motocicletas y ciclomotores:



Figura 5.4.3. Detalle del modelo en dinámica de sistemas del consumo de energía de las motocicletas y los ciclomotores en la fase de desplazamiento o circulación.

- Modo viario:

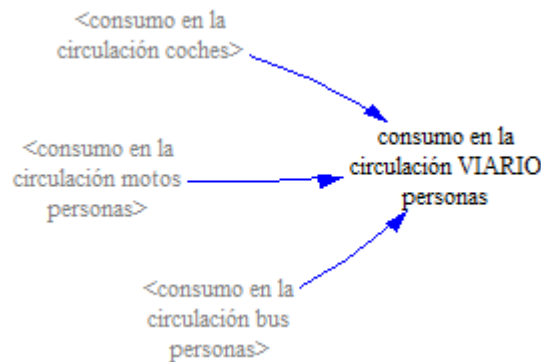


Figura 5.4.4. Detalle del modelo en dinámica de sistemas del consumo de energía del modo viario en la fase de desplazamiento o circulación.

- Modo ferroviario:

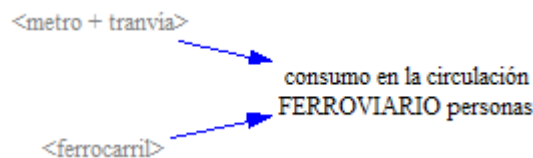


Figura 5.4.5. Detalle del modelo en dinámica de sistemas del consumo de energía del modo ferroviario en la fase de desplazamiento o circulación.



Siendo el porcentaje de electricidad cerca de un 75% calculado en el apartado 3.6. del tercer capítulo, el porcentaje del gasóleo rondará el 25% por lo que se realiza una distinción entre ambas partes mediante el siguiente esquema en dinámica de sistemas:

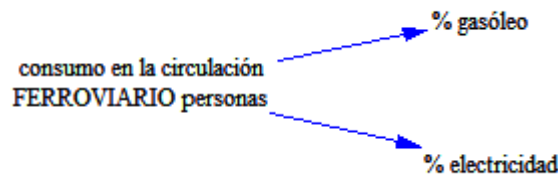


Figura 5.4.6. Esquema en dinámica de sistemas del reparto entre gasóleo y electricidad del consumo de energía del modo ferroviario en la fase de desplazamiento o circulación.

Por último, el modelo del consumo energético en la circulación del modo aéreo:

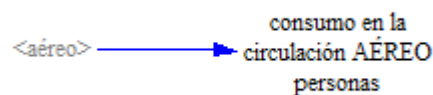


Figura 5.4.7. Detalle del modelo en dinámica de sistemas del consumo de energía del modo aéreo en la fase de desplazamiento o circulación.

Para finalizar el modelado de esta fase intermedia del transporte, el consumo energético total en la circulación de los vehículos es la suma de los consumos energéticos de cada modo de transporte (viario, ferroviario y aéreo):

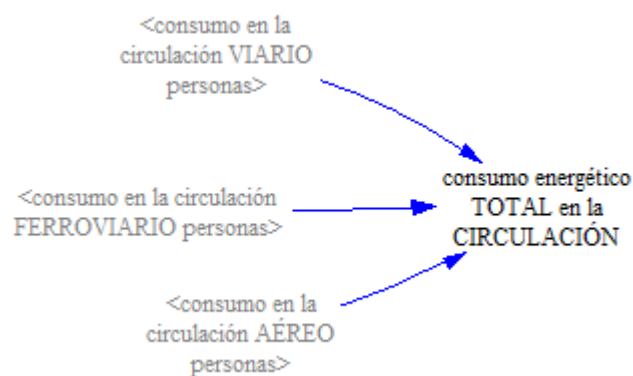


Figura 5.4.8. Detalle del modelo en dinámica de sistemas del consumo total de energía del transporte de personas en la fase de desplazamiento o circulación.

El análisis de esta variable se realizará comparado con la suma del resto de fases del transporte ya que esta es la de más trascendencia con un consumo energético mucho mayor.

## 5.5. Energía en el mantenimiento y gestión del sistema

A partir de los datos de las tablas del apartado 3.3. se han elaborado unas fórmulas similares a las planteadas en el apartado 5.2. de este capítulo que se incluyen en las variables del modelo realizado en dinámica de sistemas en Vensim:

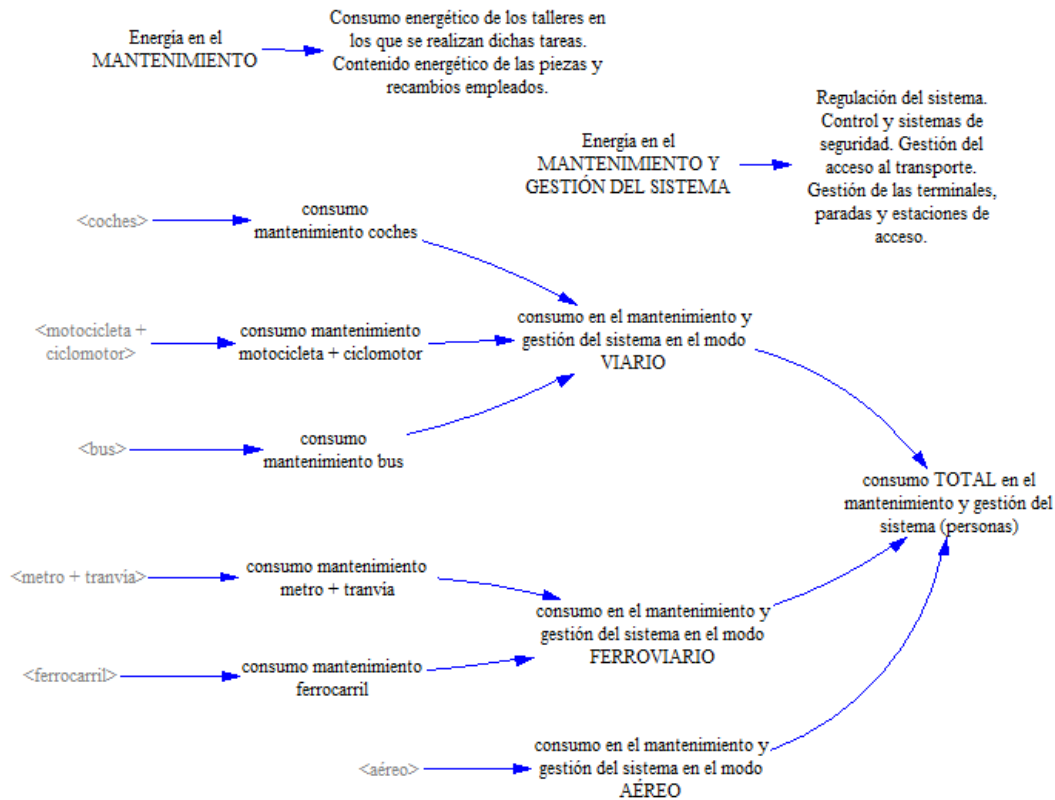


Figura 5.5.1. Detalle del modelo en dinámica de sistemas del consumo de energía en el mantenimiento y gestión del sistema.

El consumo de energía total en el mantenimiento y gestión del sistema es la suma de los diferentes consumos de los modos de transporte viario, ferroviario y aéreo.

## 5.6. Energía en el fin de la vida útil de los vehículos

De la misma forma que en el apartado anterior 5.5., a partir de las tablas del punto 3.3. del tercer capítulo se han elaborado unas fórmulas similares a las planteadas en el apartado 5.2. que se incluyen en las variables del modelo en Vensim que se muestra a continuación:

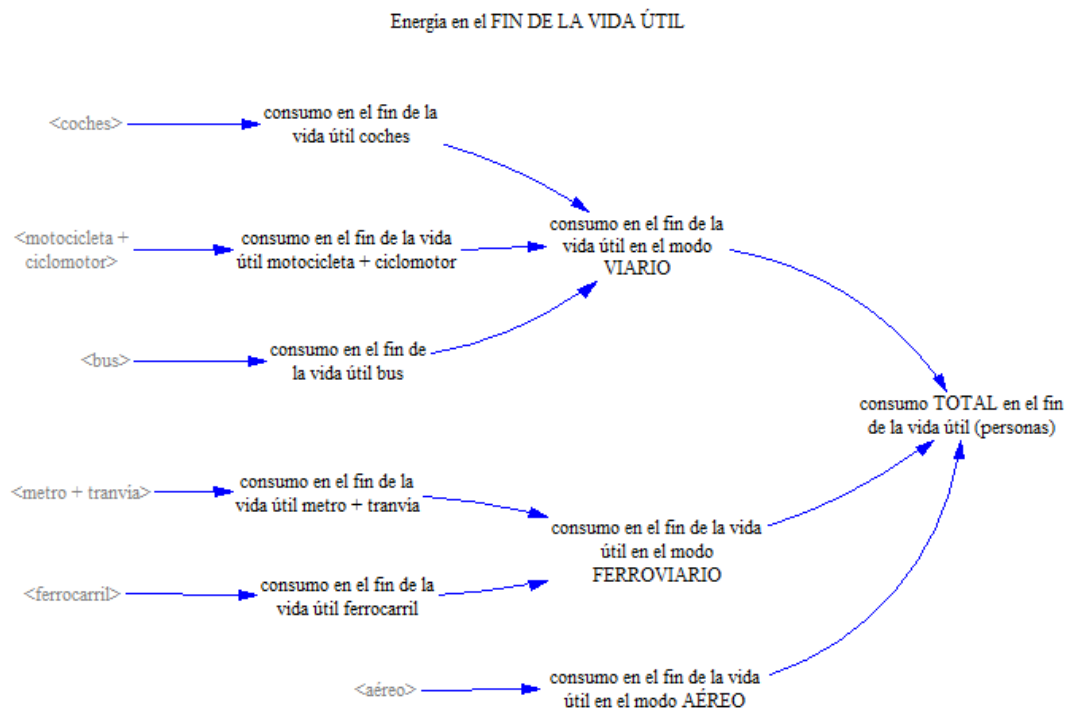


Figura 5.6.1. Detalle del modelo en dinámica de sistemas del consumo de energía en el mantenimiento y gestión del sistema.

La variable que representa el consumo energético total en el fin de la vida útil de los vehículos es la suma de los diferentes consumos de energía de los modos de transporte viario, ferroviario y aéreo.

## 5.7. Consumo total de energía

Para finalizar el cuarto capítulo de este proyecto, se incluyen los dos últimos esquemas realizados en dinámica de sistemas en Vensim. Éstos muestran la energía total incluyendo todas las fases del ciclo global del transporte y también la suma excluyendo la fase de circulación. Se ha realizado de esta forma para posteriormente poder comparar la energía consumida en la circulación respecto de las demás ya que el desplazamiento conlleva un consumo energético muy superior a las demás fases del transporte.

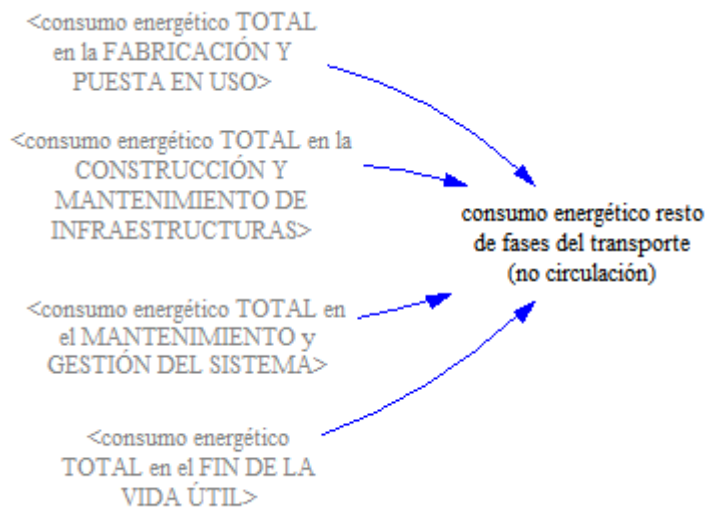


Figura 5.7.1. Detalle del modelo en dinámica de sistemas del consumo total de energía descontando el consumo energético en la fase de circulación.

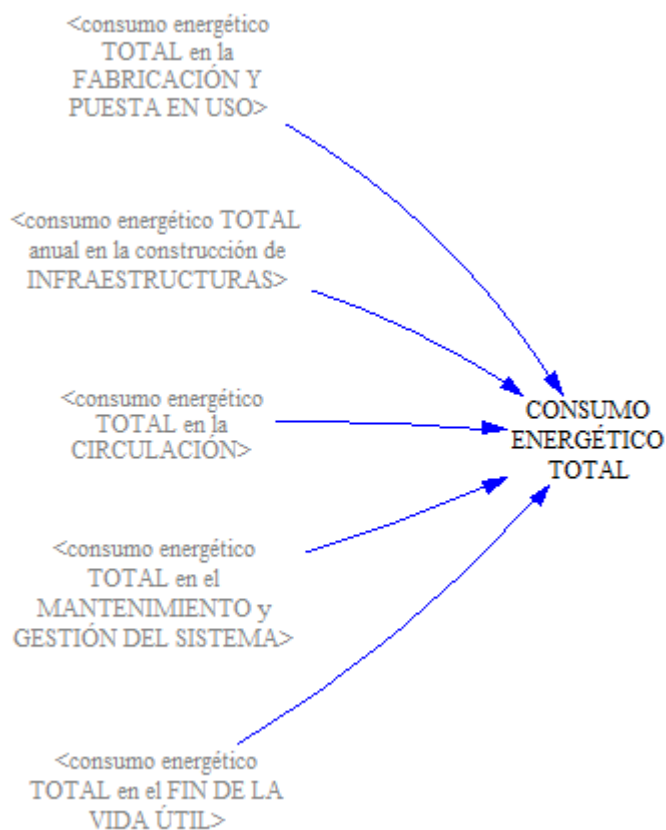


Figura 5.7.2. Detalle del modelo en dinámica de sistemas del consumo energético total incluyendo todas las fases del transporte.



6. SIMULACIONES DEL MODELO.....	71
6.1. Introducción.....	72
6.2. Escenario 1.....	73
6.3. Escenario 2.....	76
6.4. Escenario 3.....	78
6.5. Escenario 4.....	82
6.6. Escenario 5.....	84
6.7. Escenario 6.....	87
6.8. Escenario 7.....	89
6.9. Escenario 8.....	93
6.10. Escenario 9.....	95
6.11. Escenario 10.....	99
6.12. Escenario 11.....	101
6.13. Escenario 12.....	105

## 6. SIMULACIONES DEL MODELO

### 6.1. Introducción

A lo largo de este capítulo se mostrarán resultados de las diferentes simulaciones realizadas sobre el modelo en dinámica de sistemas. Las políticas que se seguirán podrán resumirse en la modificación de los siguientes parámetros:

- Política 1: modificación del número de desplazamientos de personas en el interior de España tanto aumentando como manteniendo una tendencia constante y también disminuyendo.
- Política 2: modificación en la cantidad de desplazamientos realizados en los distintos medios de transporte, sustituyendo unos por otros y observando qué es lo que ocurre.
- Política 3: consiste en modificar la inversión en la construcción y mantenimiento de estructuras por ser también un factor que influye con creces en el aumento o disminución dentro de la totalidad del consumo de energía en el transporte.

En los siguientes apartados se muestran los diferentes escenarios combinando las tres políticas entre sí, en total se obtienen 12 escenarios y se analizan los más relevantes.

En primer lugar, los cuatro primeros escenarios corresponden a una política de crecimiento de la población que conlleva un aumento del número de desplazamientos de personas dentro del país. En segundo lugar, los cuatro escenarios siguientes atienden a una política de estancamiento de la población y por tanto de un establecimiento del número de desplazamientos de las personas constante a lo largo del tiempo. Por último, el resto de escenarios muestran la proyección que el Instituto Nacional de Estadística [8] y la Organización de las Naciones Unidas [9] han previsto para la población en un futuro próximo, es decir, una disminución de la población y por lo tanto del número de desplazamientos en el interior de España proporcional a dicha proyección.

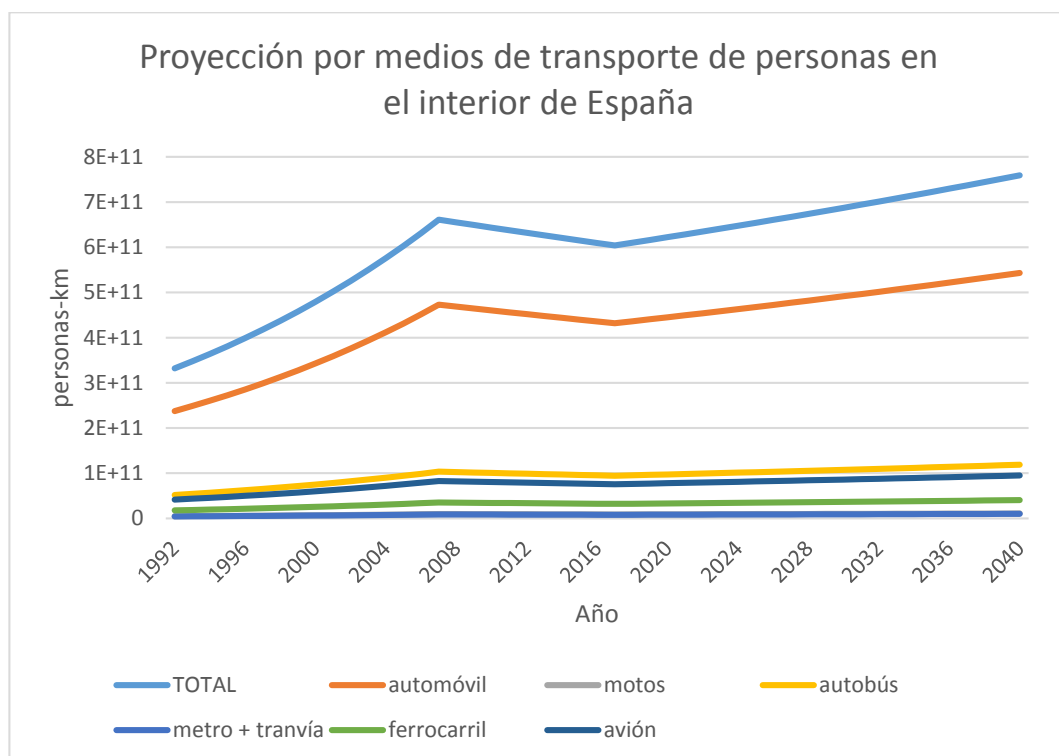
## 6.2. Escenario 1

Este escenario es el primero de los cuatro que van a adoptar la primera política sobre desplazamientos. Se va a suponer un aumento de la población y con ello también un aumento de los desplazamientos en el interior de España. Posteriormente se les aplicarán y combinarán las otras dos políticas restantes sobre los diferentes medios de transporte e infraestructuras.

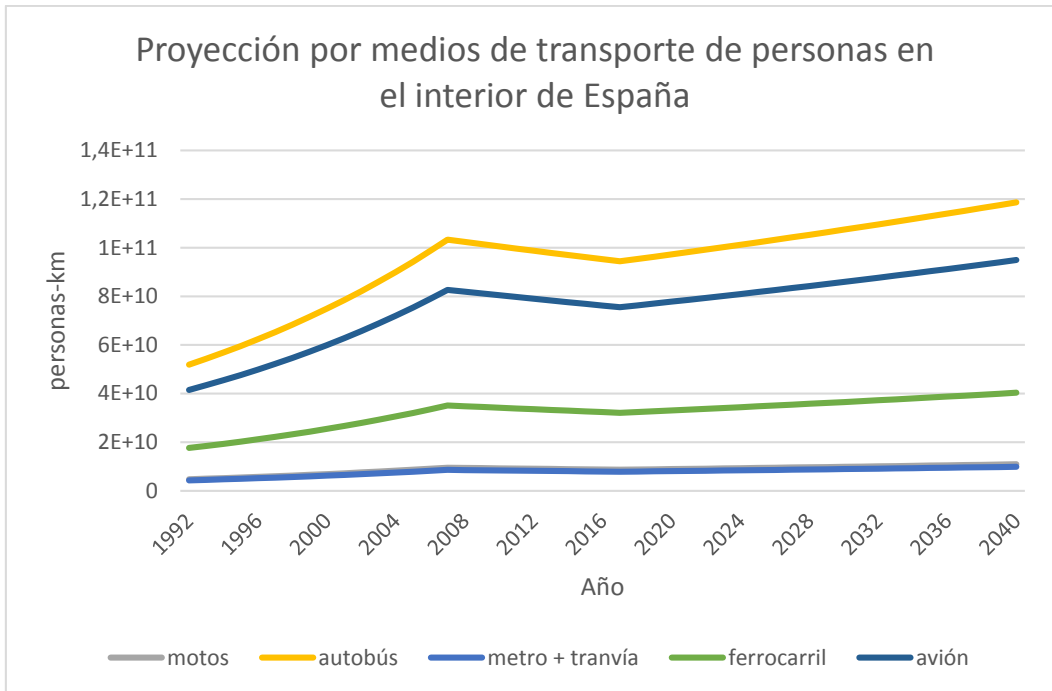
Las tres políticas que se han tomado para este escenario son las siguientes:

- Política 1: “política general int pers”=0,01 (crecimiento en el número de desplazamientos en el interior de España)
- Política 2: no se adopta ninguna política (“T política” >>> 2017), no se modifican variables
- Política 3: no se invierte en infraestructuras a partir del año 2017

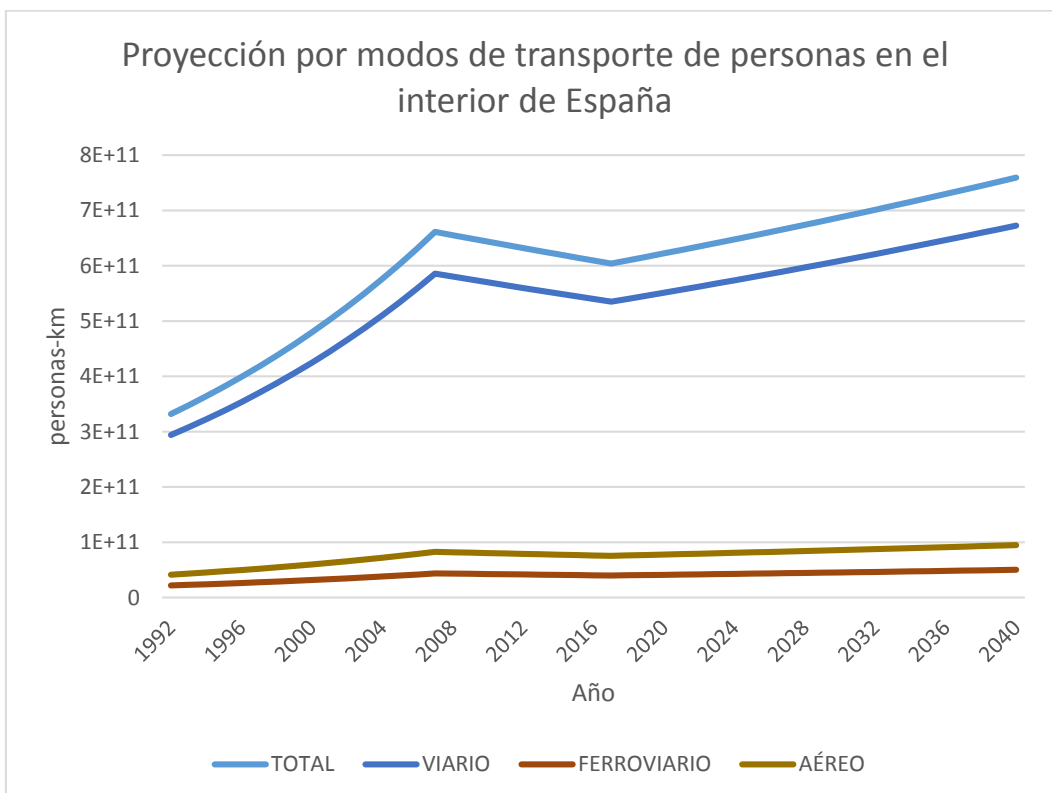
Los resultados de aplicar estas políticas sobre el modelo en dinámica de sistemas son los siguientes:



Gráfica 6.2.1. Escenario 1. Proyección por medios de transporte de personas en el interior de España.

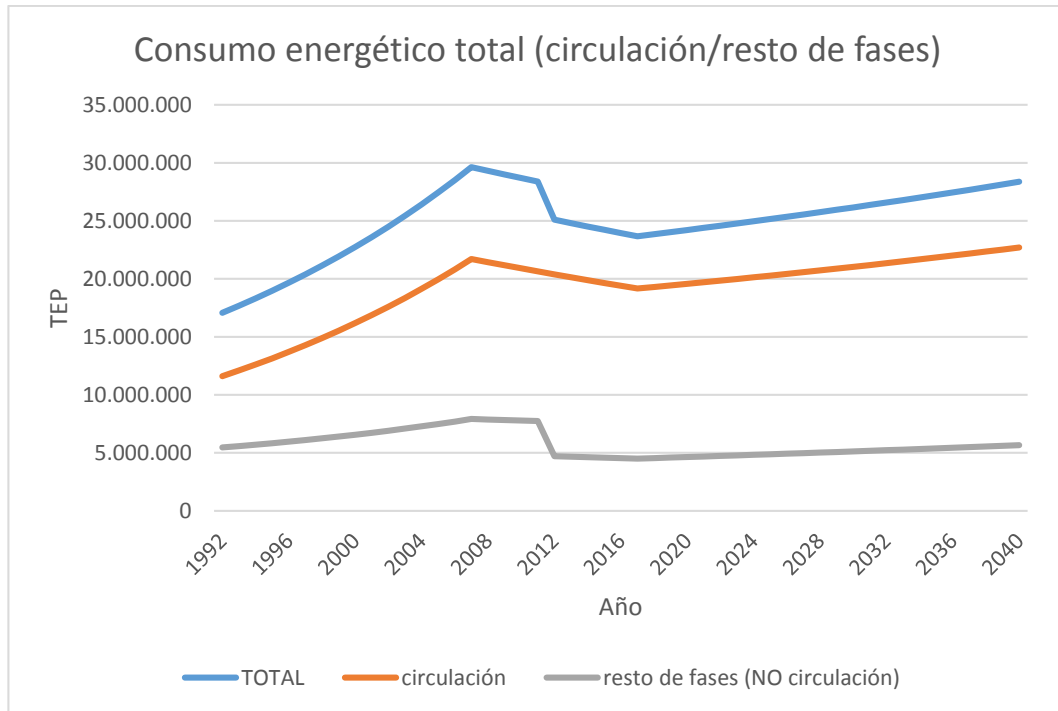


Gráfica 6.2.2. Escenario 1. Detalle de la proyección por medios de transporte de personas en el interior de España.

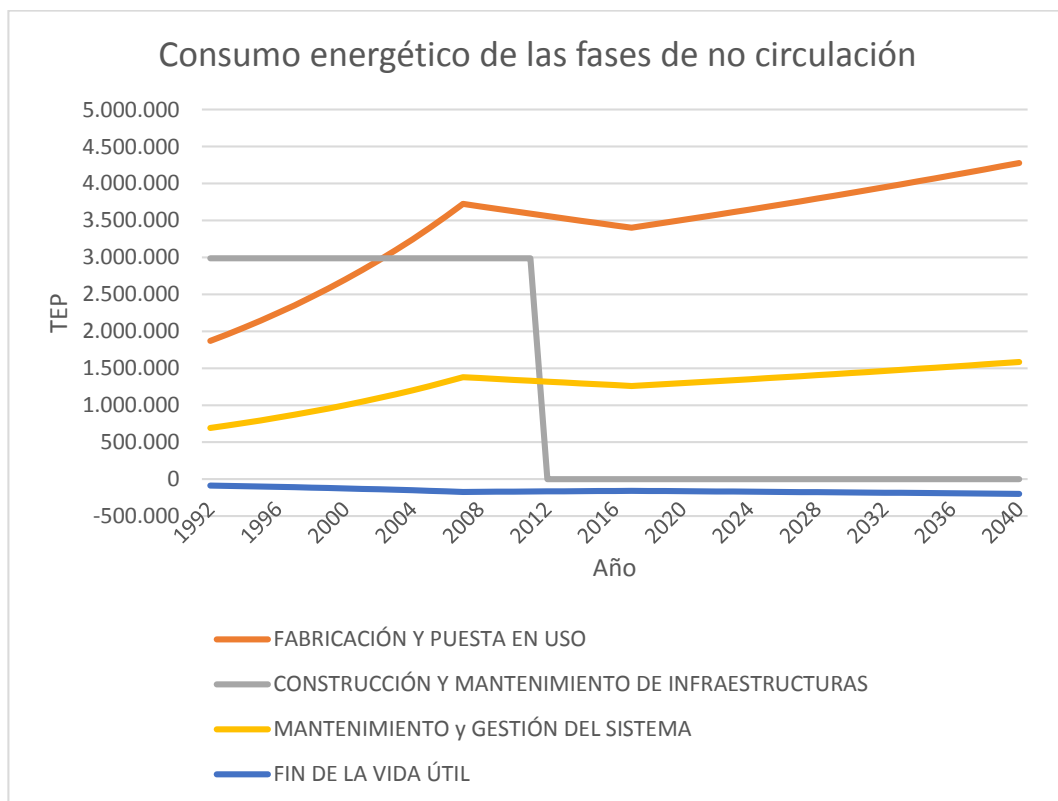


Gráfica 6.2.3. Escenario 1. Proyección por modos de transporte de personas en el interior de España.

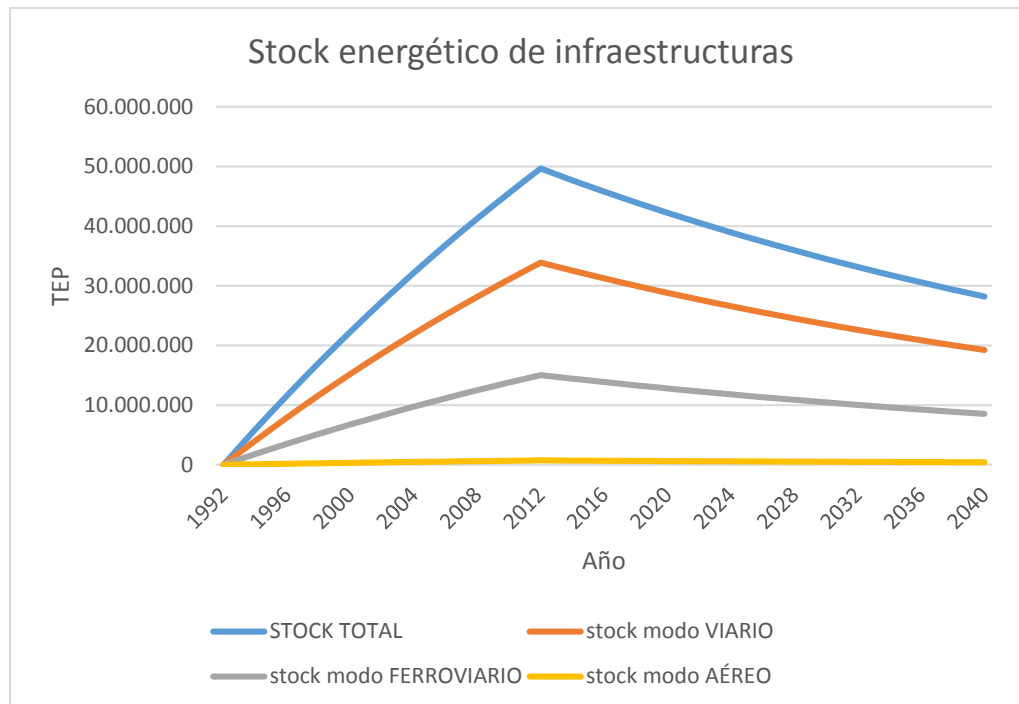




Gráfica 6.2.4. Escenario 1. Consumo energético total diferenciando la fase de circulación respecto de la suma de los consumos del resto de fases.



Gráfica 6.2.5. Escenario 1. Detalle del consumo energético de las distintas fases del transporte exceptuando la fase de circulación.



Gráfica 6.2.6. Escenario 1. Stock energético de la fase de construcción y mantenimiento de infraestructuras.

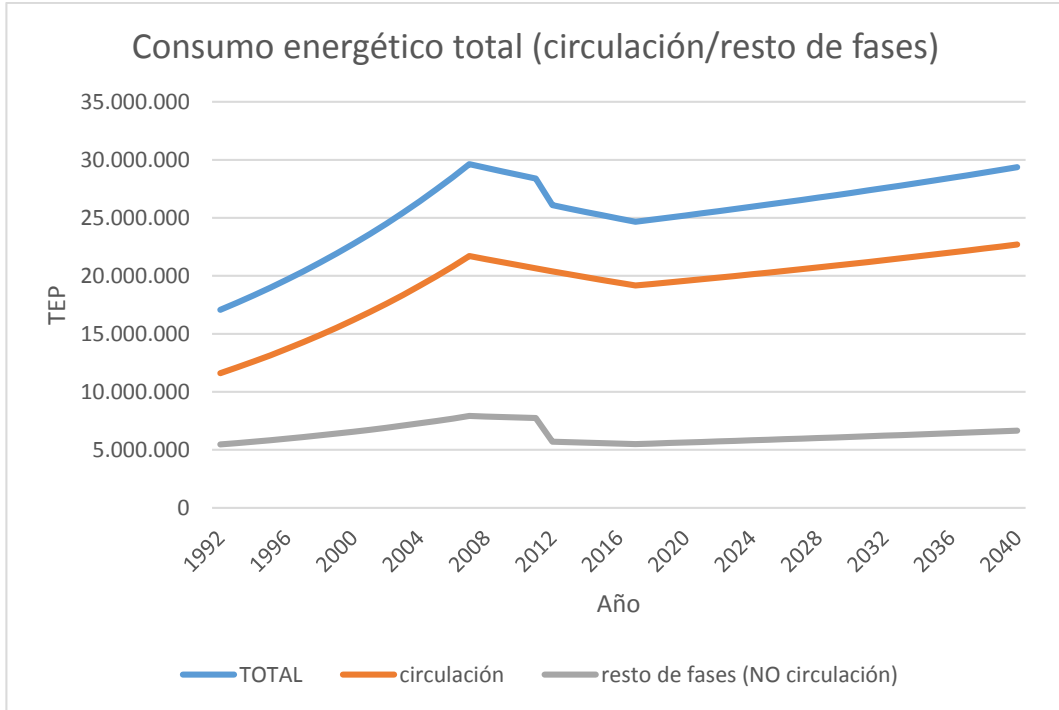
### 6.3. Escenario 2

Las tres políticas que se han tomado para este escenario son las siguientes:

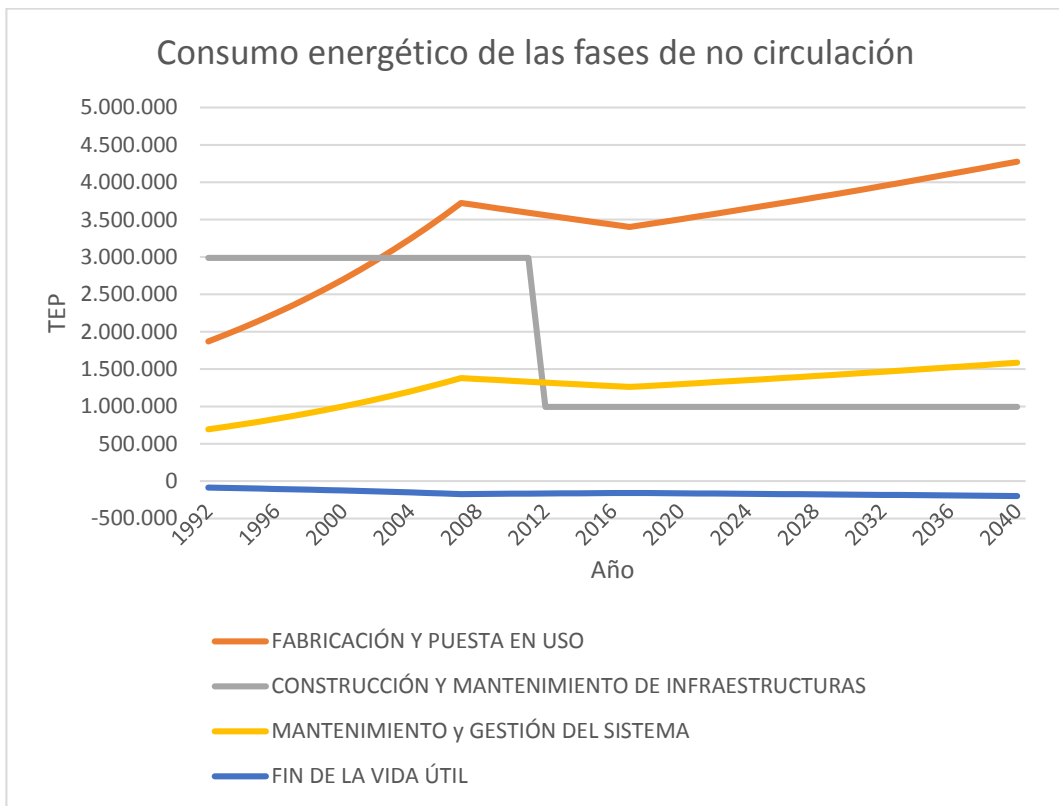
- Política 1: “política general int pers”=0,01 (crecimiento en el número de desplazamientos en el interior de España)
- Política 2: no se adopta ninguna política (“T política” >>> 2017), no se modifican variables
- Política 3: se sigue invirtiendo en función del deterioro. De esta forma los valores de inversión no caen a cero, se mantienen constantes en unos valores intermedios.

Al no haber impuesto alguna política sobre la reducción o aumento en los diferentes medios de transporte, las tres primeras gráficas de este escenario sobre desplazamientos son idénticas al anterior. Por lo tanto, solo se muestran las gráficas sobre energía debido a los cambios en la política sobre infraestructuras.

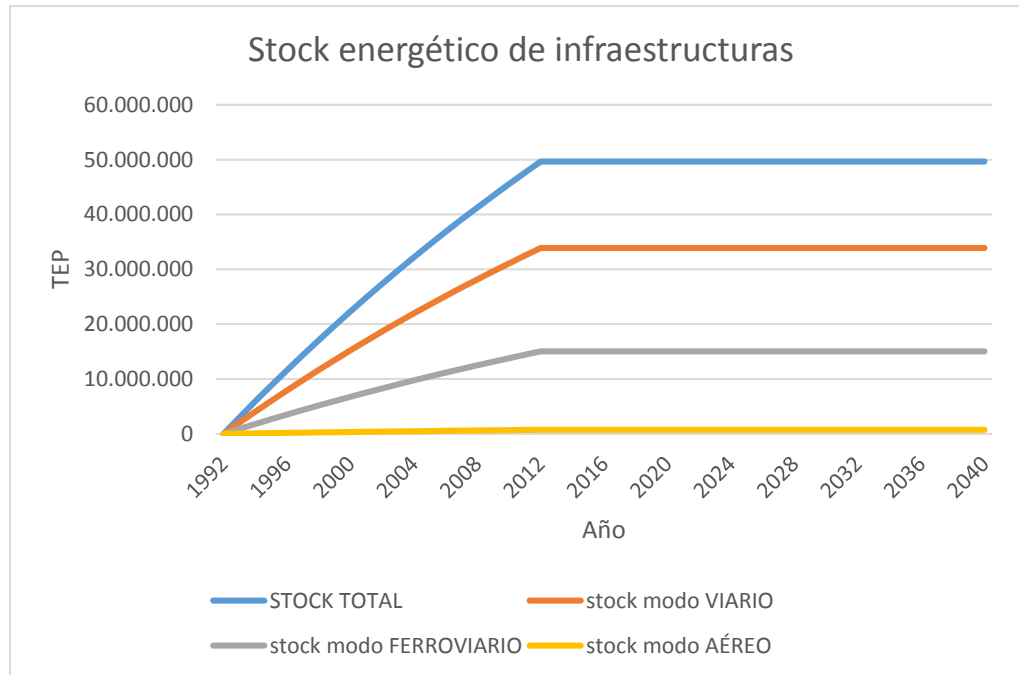
Los resultados de aplicar estas políticas sobre el modelo en dinámica de sistemas son los siguientes:



Gráfica 6.3.1. Escenario 2. Consumo energético total diferenciando la fase de circulación respecto de la suma de los consumos del resto de fases.



Gráfica 6.3.2. Escenario 2. Detalle del consumo energético de las distintas fases del transporte exceptuando la fase de circulación.



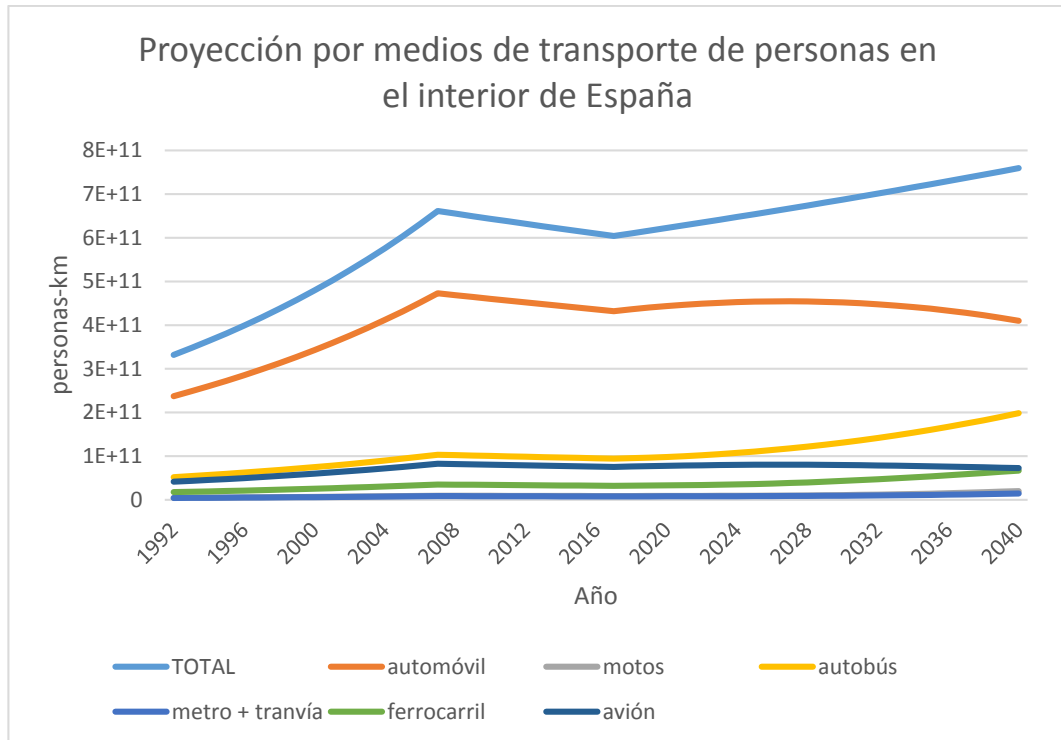
Gráfica 6.3.3. Escenario 2. Stock energético de la fase de construcción y mantenimiento de infraestructuras.

## 6.4. Escenario 3

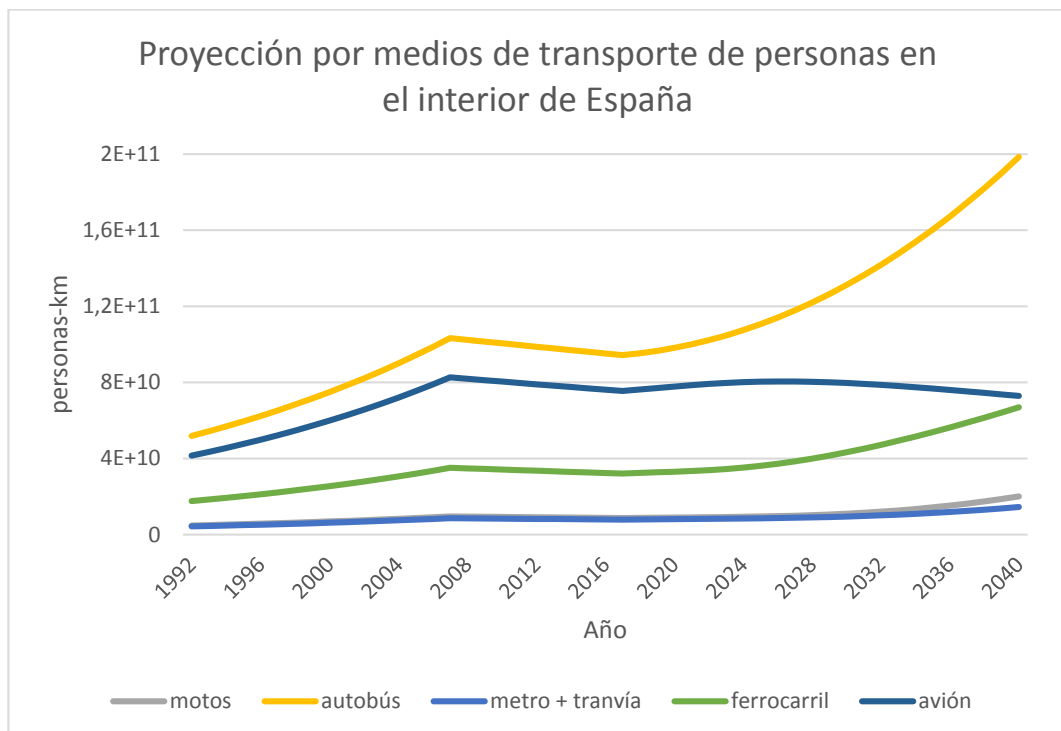
Las tres políticas que se han tomado para este escenario son las siguientes:

- Política 1: “política general int pers”=0,01 (crecimiento en el número de desplazamientos en el interior de España)
- Política 2: se adoptan políticas a partir de 2017
  - o “T política”=2017
  - o “incremento política coches” multiplicado por -0,001: indica una disminución de los desplazamientos en coche de un 0,1% al año.
  - o “% a motocicleta + ciclomotor”=0,2
  - o “% a metro + tranvía”=0,1
  - o “% a ferrocarril”=0,1
  - o Por lo tanto, en el modelo en dinámica de sistemas el “% a bus” será 0,6 porque es la resta del total menos los tres medios (motos, metro y tren). Ver Figura 3.2.11.
  - o “incremento política aéreo” multiplicado por -0,02: se traduce en un aumento de desplazamientos de larga distancia en tren.
- Política 3: no se invierte en infraestructuras a partir del año 2017

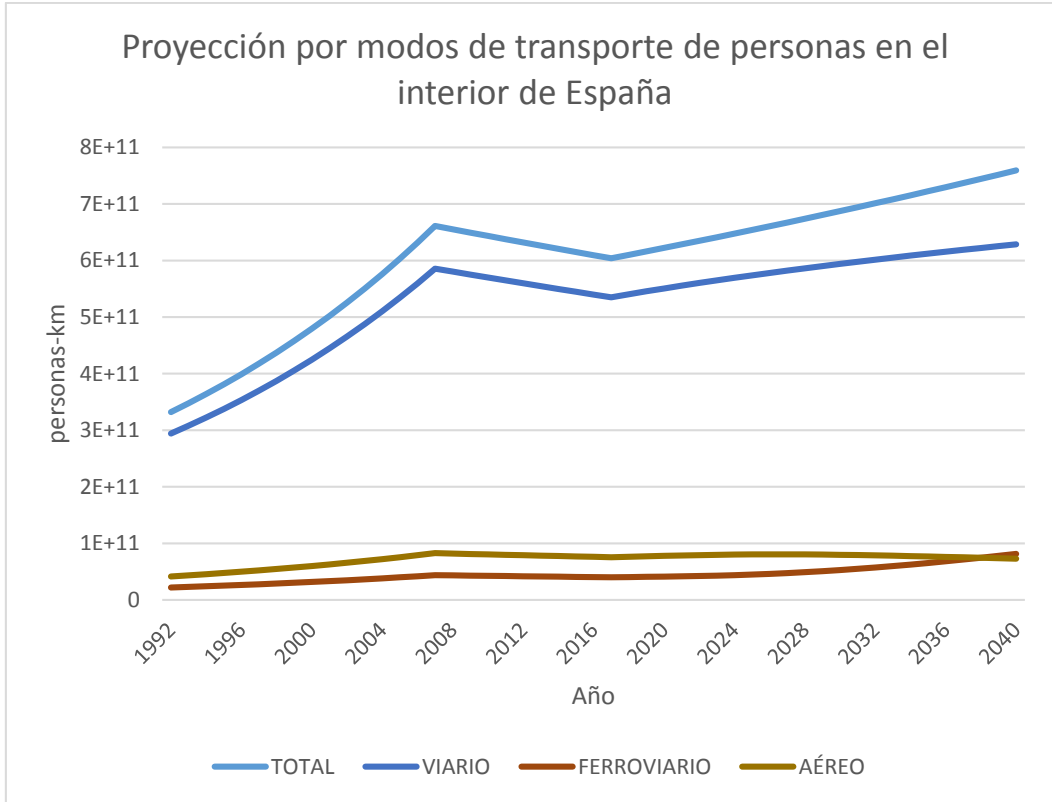
Los resultados de aplicar estas políticas sobre el modelo en dinámica de sistemas son los siguientes:



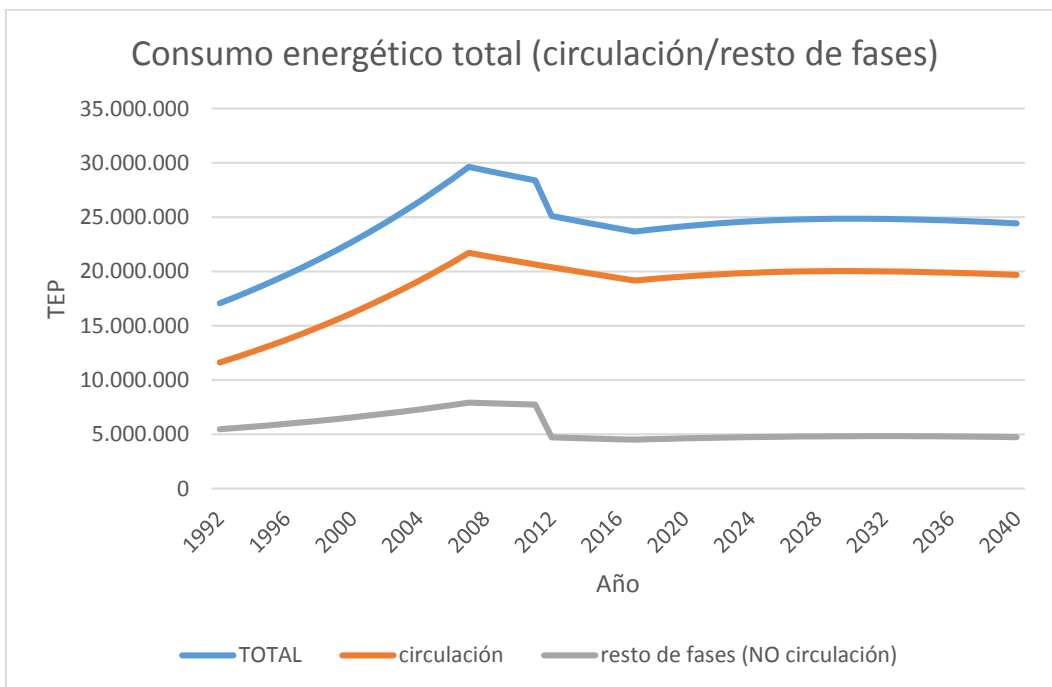
Gráfica 6.4.1. Escenario 3. Proyección por medios de transporte de personas en el interior de España.



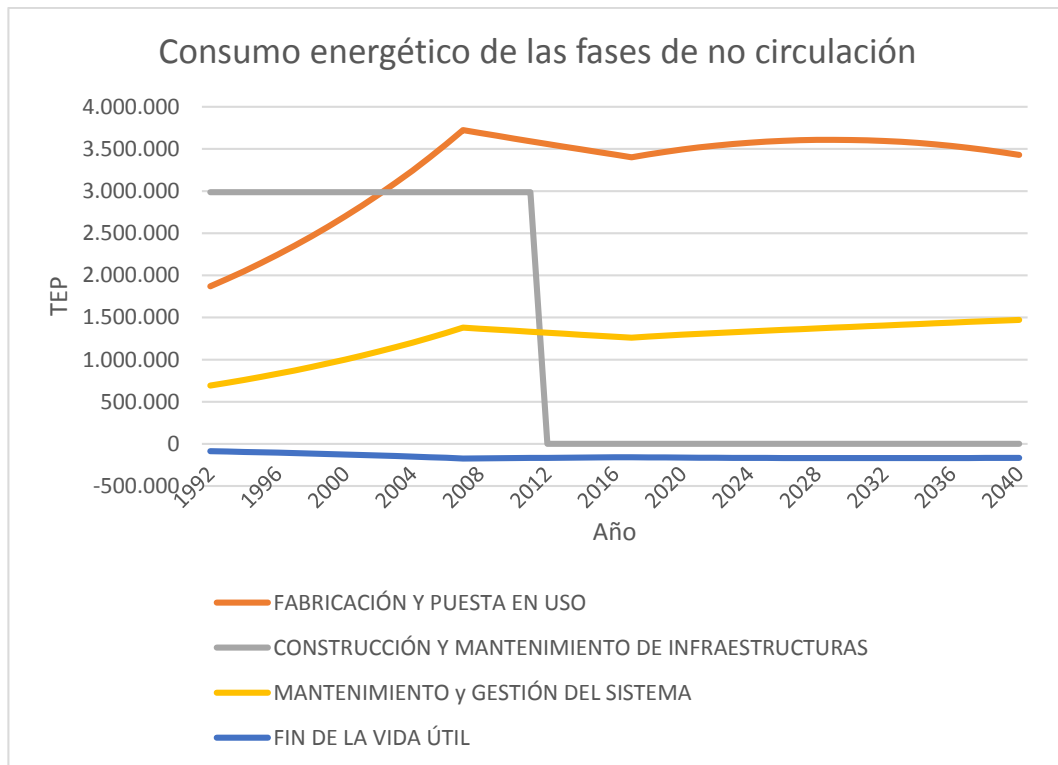
Gráfica 6.4.2. Escenario 3. Detalle de la proyección por medios de transporte de personas en el interior de España.



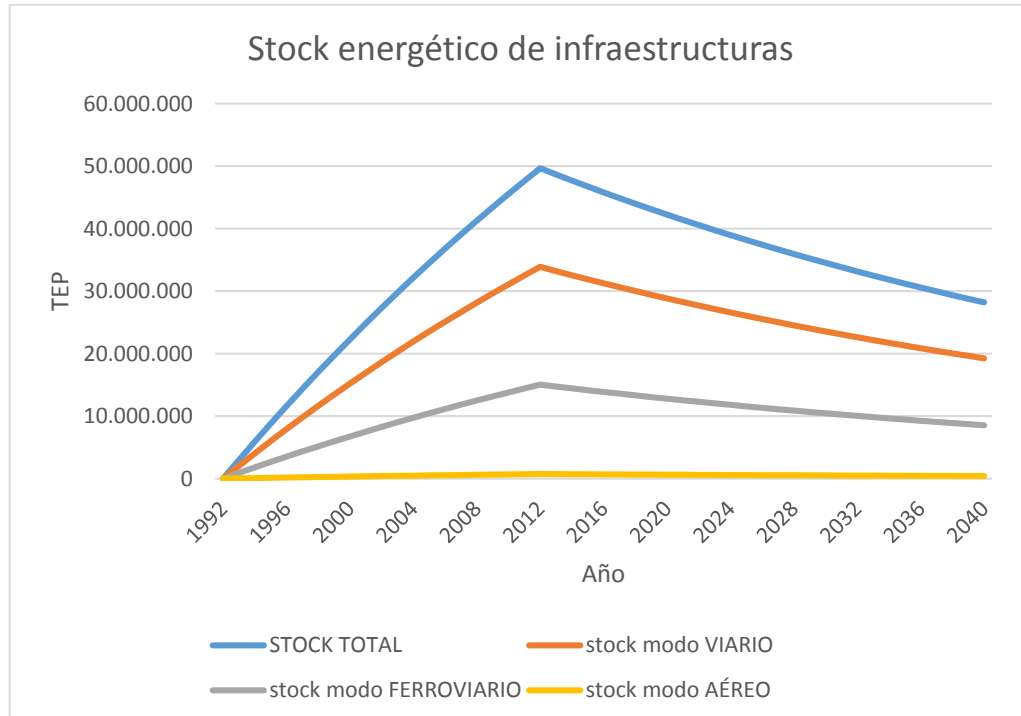
Gráfica 6.4.3. Escenario 3. Proyección por modos de transporte de personas en el interior de España.



Gráfica 6.4.4. Escenario 3. Consumo energético total diferenciando la fase de circulación respecto de la suma de los consumos del resto de fases.



Gráfica 6.4.5. Escenario 3. Detalle del consumo energético de las distintas fases del transporte exceptuando la fase de circulación.



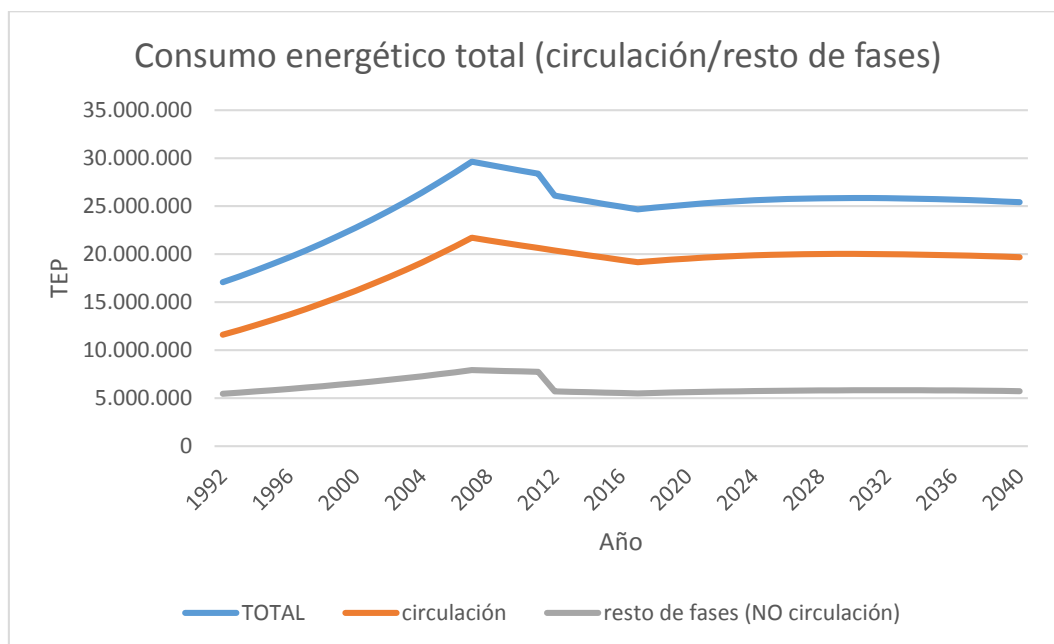
Gráfica 6.4.6. Escenario 3. Stock energético de la fase de construcción y mantenimiento de infraestructuras.

## 6.5. Escenario 4

Las tres políticas que se han tomado para este escenario son las siguientes:

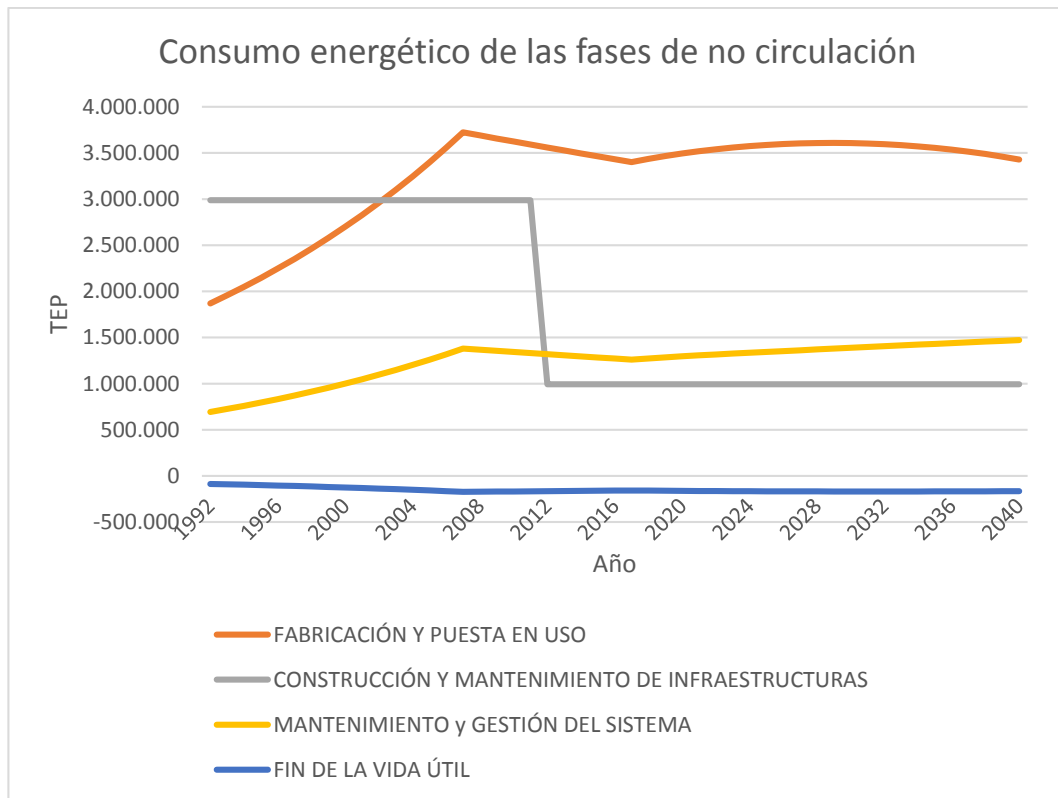
- **Política 1:** “política general int pers”=0,01 (crecimiento en el número de desplazamientos en el interior de España)
- **Política 2:** se adoptan políticas a partir de 2017
  - o “T política”=2017
  - o “incremento política coches” multiplicado por -0,001: indica una disminución de los desplazamientos en coche de un 0,1% al año.
  - o “% a motocicleta + ciclomotor”=0,2
  - o “% a metro + tranvía”=0,1
  - o “% a ferrocarril”=0,1
  - o Por lo tanto, en el modelo en dinámica de sistemas el “% a bus” será 0,6 porque es la resta del total menos los tres medios (motos, metro y tren). Ver Figura 3.2.11.
  - o “incremento política aéreo” multiplicado por -0,02: se traduce en un aumento de desplazamientos de larga distancia en tren.
- **Política 3:** se sigue invirtiendo en función del deterioro. De esta forma los valores de inversión no caen a cero, se mantienen constantes en unos valores intermedios.

Los resultados de aplicar estas políticas sobre el modelo en dinámica de sistemas son los siguientes:

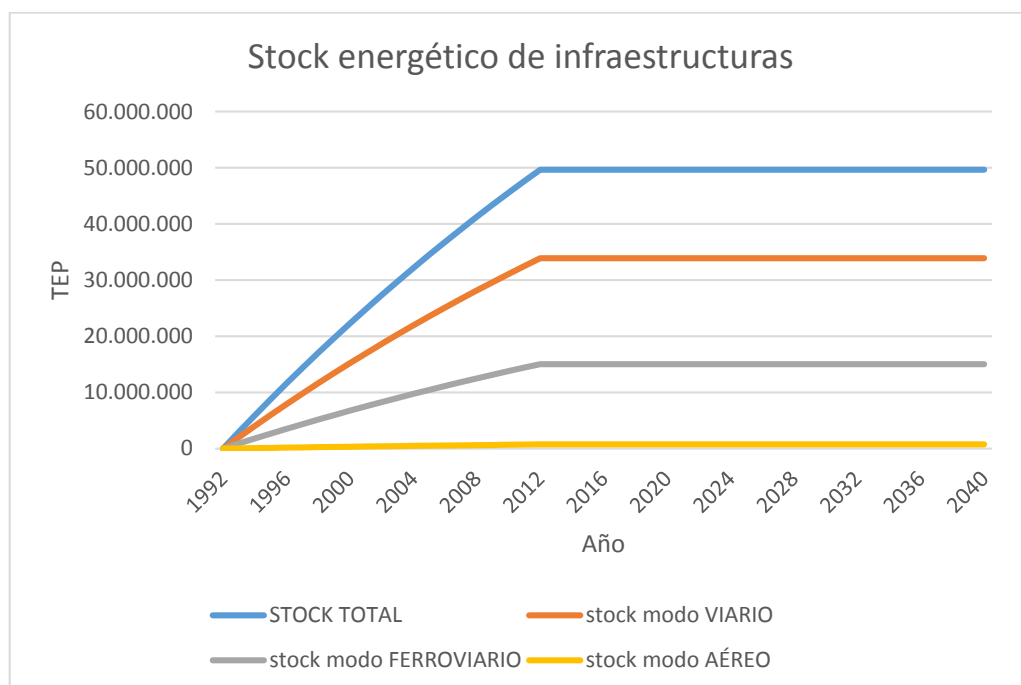


Gráfica 6.5.1. Escenario 4. Consumo energético total diferenciando la fase de circulación respecto de la suma de los consumos del resto de fases.





Gráfica 6.5.2. Escenario 4. Detalle del consumo energético de las distintas fases del transporte exceptuando la fase de circulación.



Gráfica 6.5.3. Escenario 4. Stock energético de la fase de construcción y mantenimiento de infraestructuras.

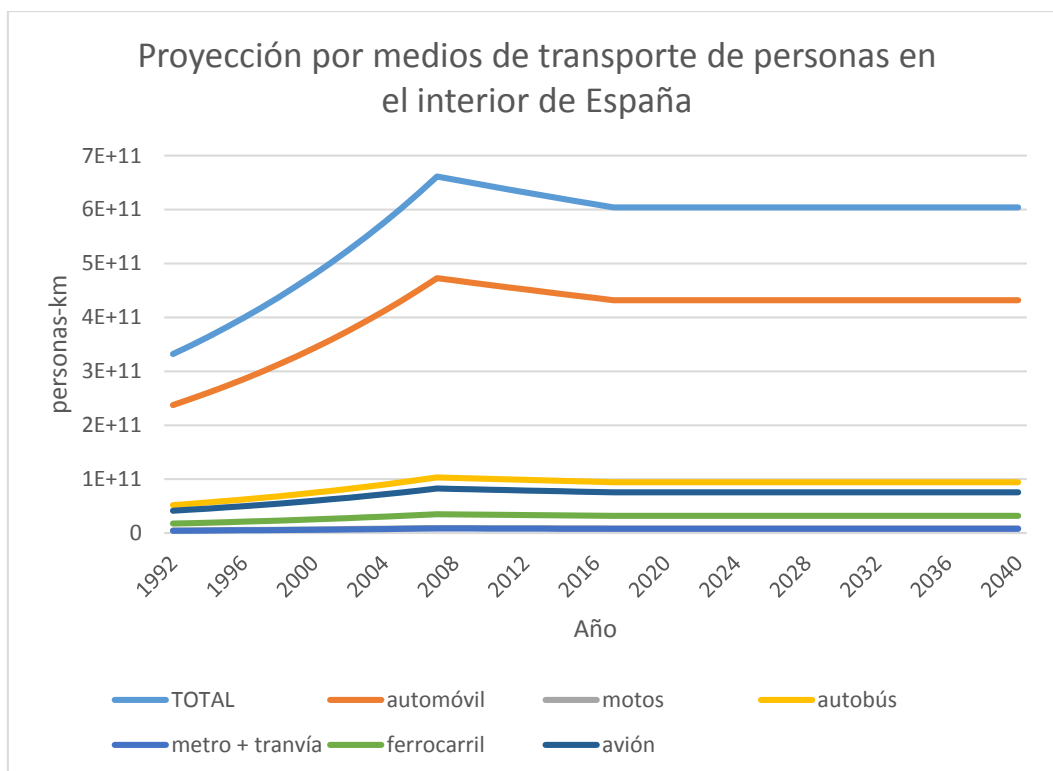
## 6.6. Escenario 5

El quinto escenario es el primero de los cuatro que van a adoptar la segunda política sobre desplazamientos. Se va a suponer que la población se mantiene constante a lo largo del tiempo y con ello también son constantes los desplazamientos en el interior de España. Más tarde se les aplicarán y combinarán las otras dos políticas restantes sobre los diferentes medios de transporte e infraestructuras.

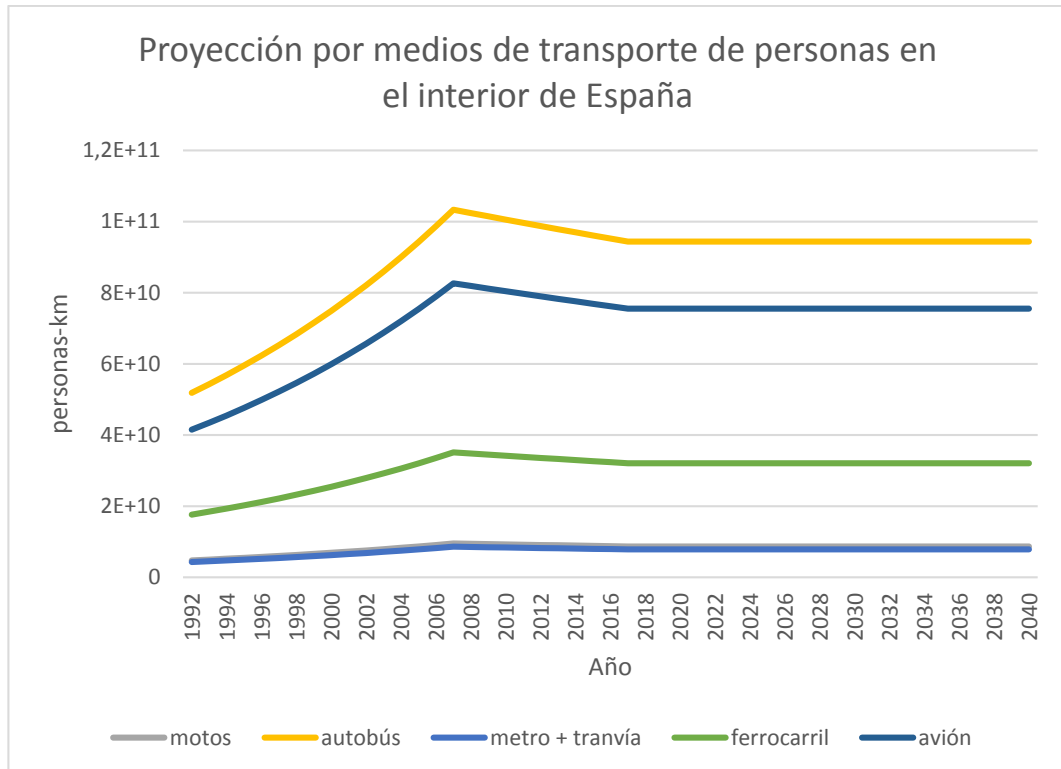
Las tres políticas que se han tomado para este escenario son las siguientes:

- Política 1: “política general int pers”=0 (se mantiene constante el número de desplazamientos en el interior de España)
- Política 2: no se adopta ninguna política (“T política” >>> 2017), no se modifican variables
- Política 3: no se invierte en infraestructuras a partir del año 2017

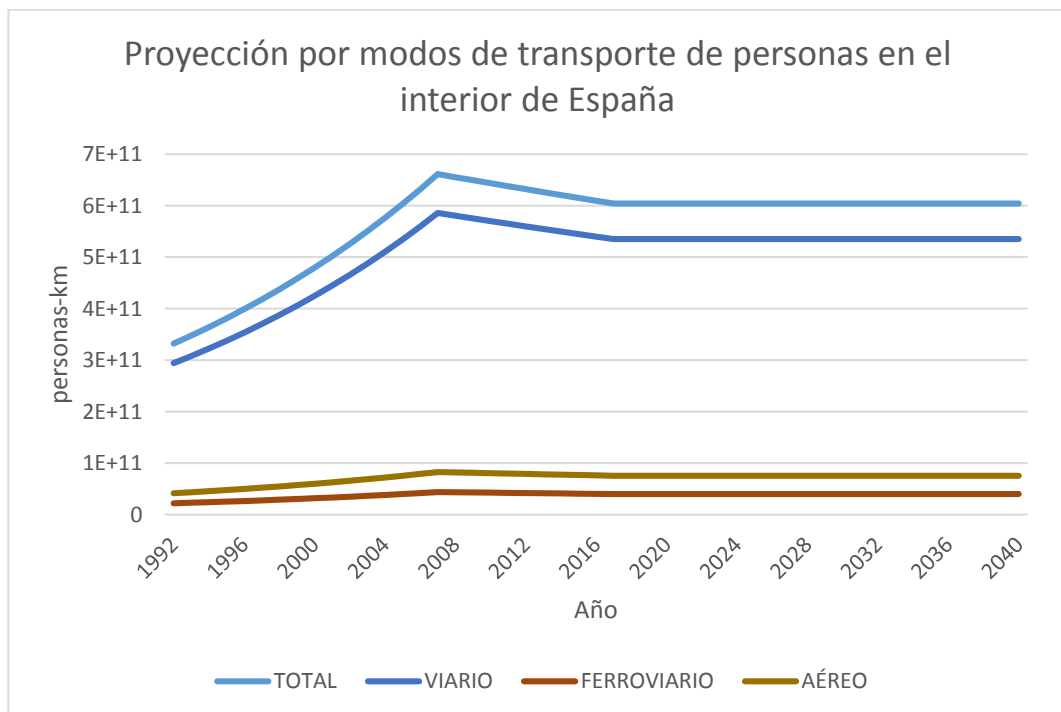
Los resultados de aplicar estas políticas sobre el modelo en dinámica de sistemas son los siguientes:



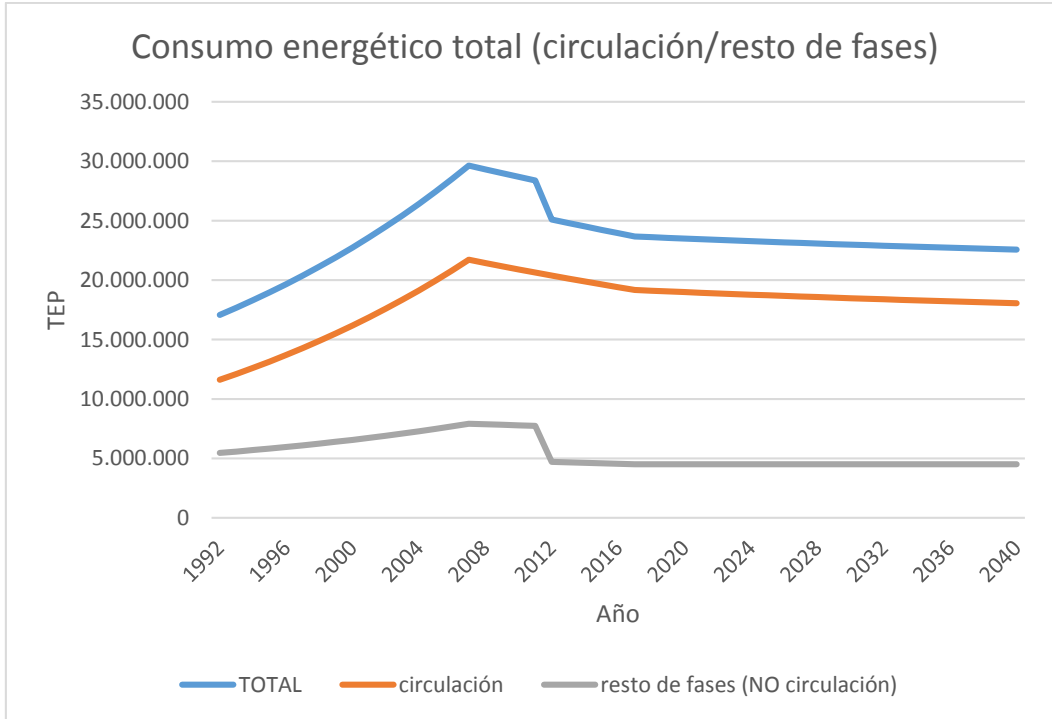
Gráfica 6.6.1. Escenario 5. Proyección por medios de transporte de personas en el interior de España.



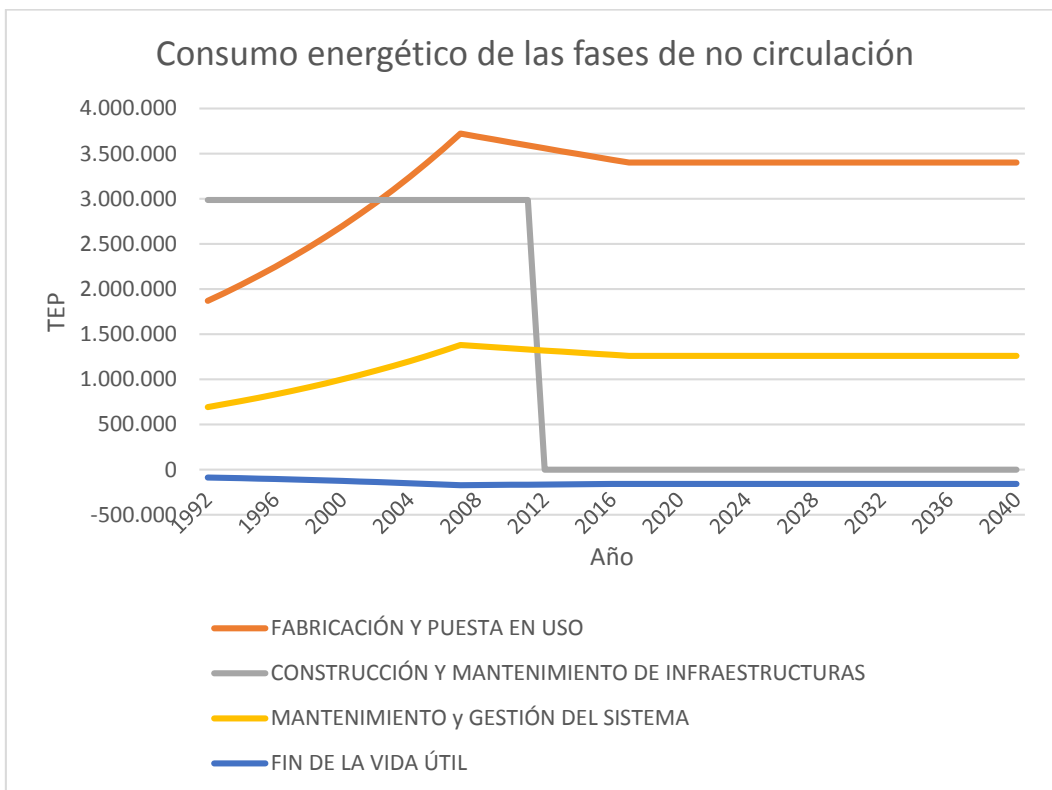
Gráfica 6.6.2. Escenario 5. Detalle de la proyección por medios de transporte de personas en el interior de España.



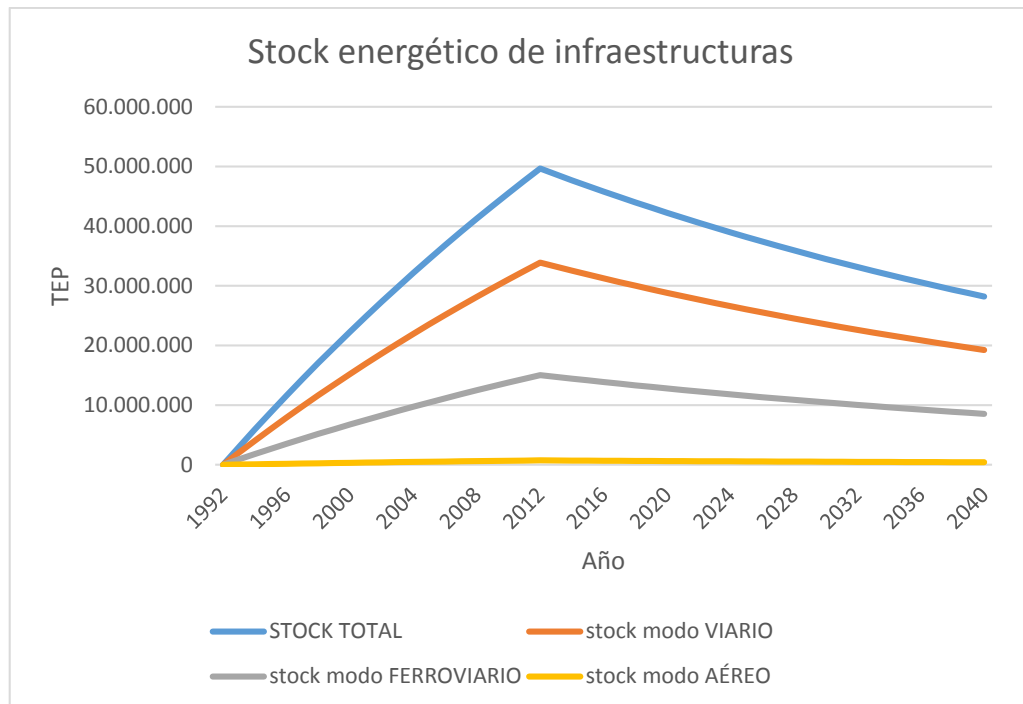
Gráfica 6.6.3. Escenario 5. Proyección por modos de transporte de personas en el interior de España.



Gráfica 6.6.4. Escenario 5. Consumo energético total diferenciando la fase de circulación respecto de la suma de los consumos del resto de fases.



Gráfica 6.6.5. Escenario 5. Detalle del consumo energético de las distintas fases del transporte exceptuando la fase de circulación.



Gráfica 6.6.6. Escenario 5. Stock energético de la fase de construcción y mantenimiento de infraestructuras.

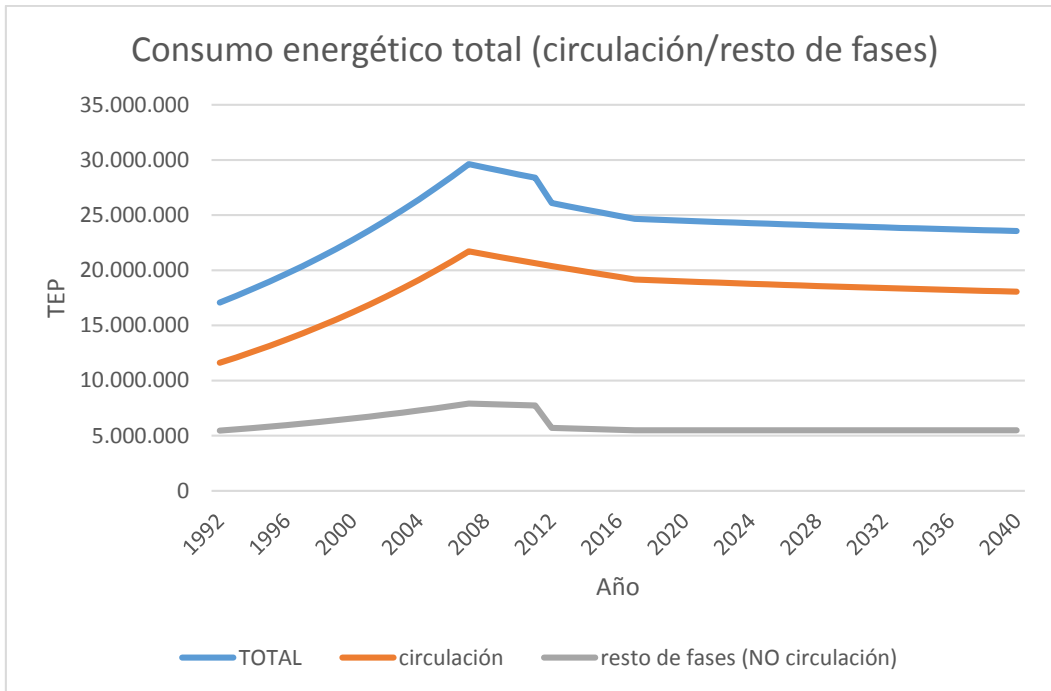
## 6.7. Escenario 6

Las tres políticas que se han tomado para este escenario son las siguientes:

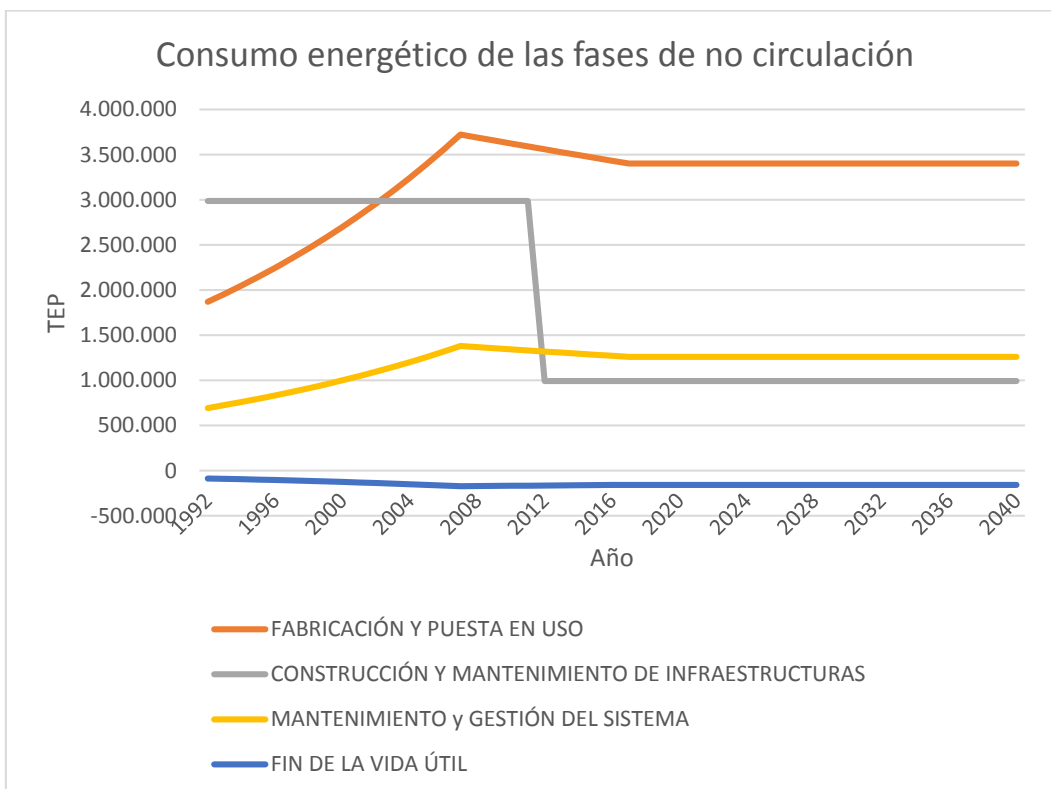
- Política 1: “política general int pers”=0 (crecimiento en el número de desplazamientos en el interior de España)
- Política 2: no se adopta ninguna política (“T política” >>> 2017), no se modifican variables
- Política 3: se sigue invirtiendo en función del deterioro. De esta forma los valores de inversión no caen a cero, se mantienen constantes en unos valores intermedios.

Al no haber impuesto alguna política sobre la reducción o aumento en los diferentes medios de transporte, las tres primeras gráficas de este escenario sobre desplazamientos son idénticas al anterior. Por lo tanto, solo se muestran las gráficas sobre energía debido a los cambios en la política sobre infraestructuras.

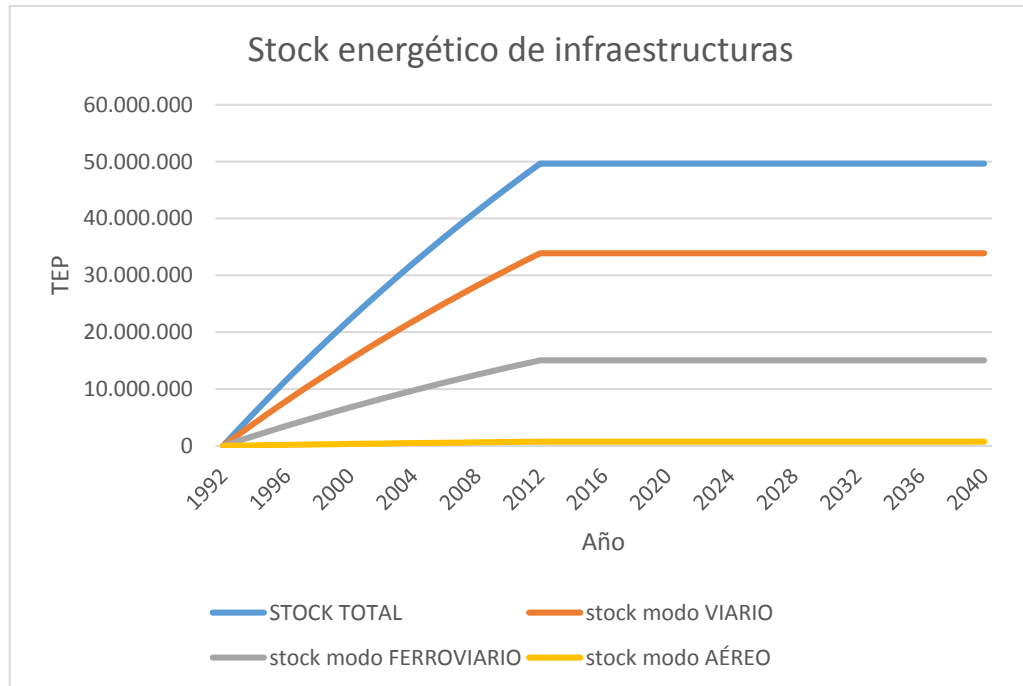
Los resultados de aplicar estas políticas sobre el modelo en dinámica de sistemas son los siguientes:



Gráfica 6.7.1. Escenario 6. Consumo energético total diferenciando la fase de circulación respecto de la suma de los consumos del resto de fases.



Gráfica 6.7.2. Escenario 6. Detalle del consumo energético de las distintas fases del transporte exceptuando la fase de circulación.



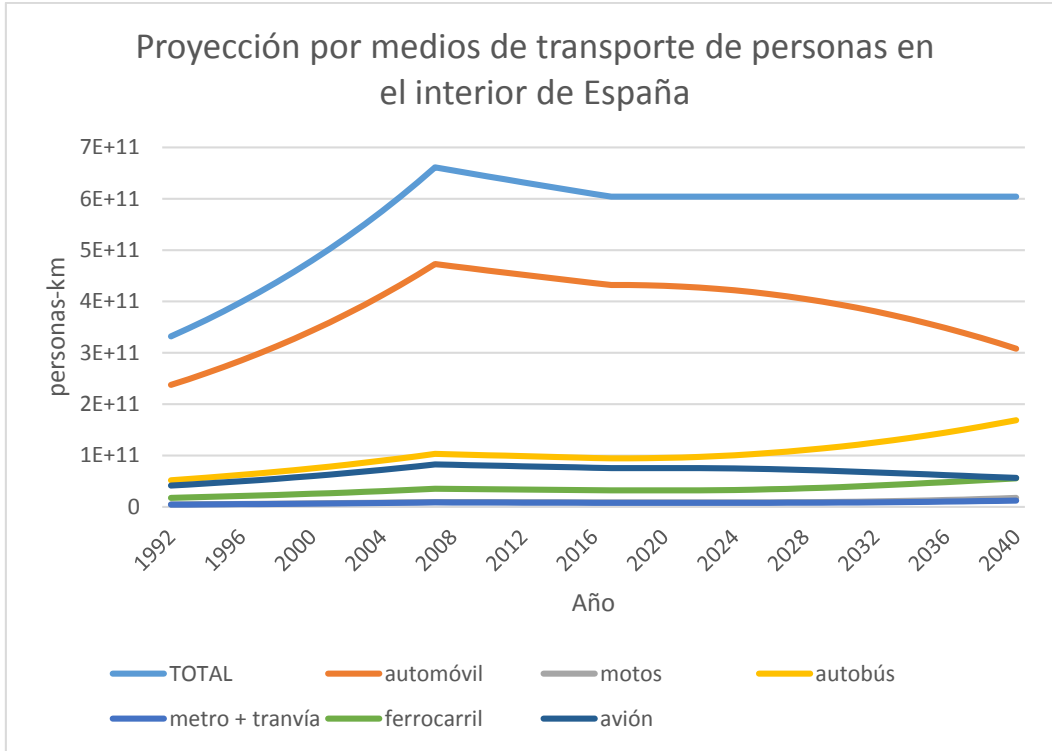
Gráfica 6.7.3. Escenario 6. Stock energético de la fase de construcción y mantenimiento de infraestructuras.

## 6.8. Escenario 7

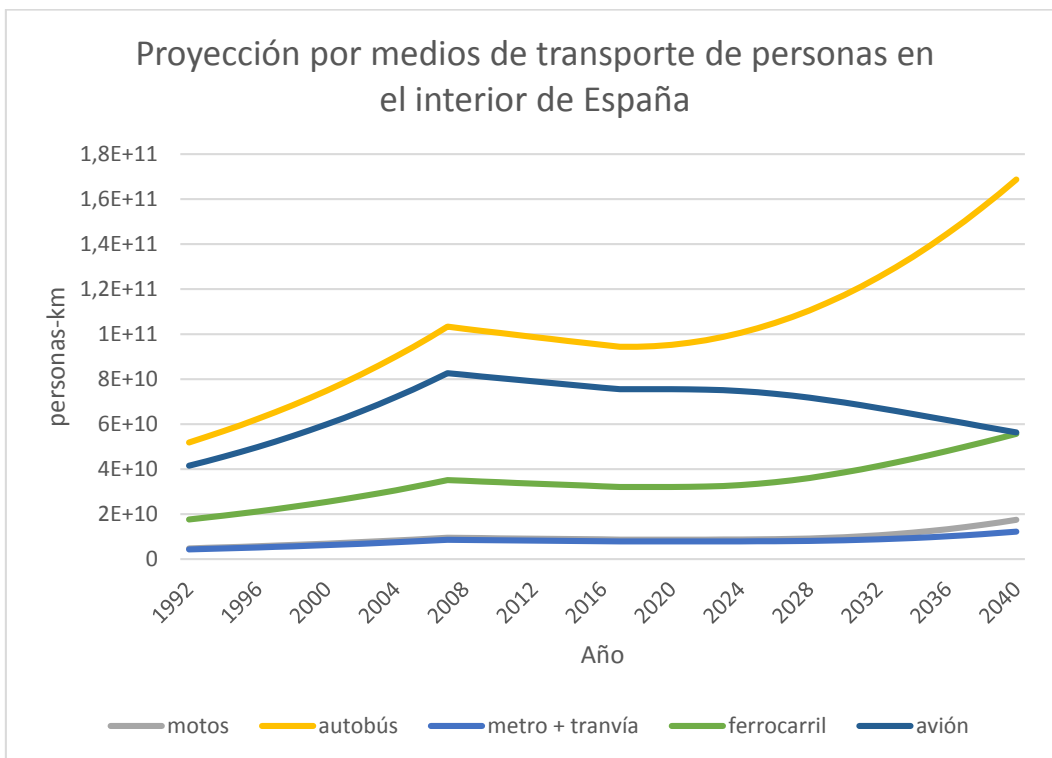
Las tres políticas que se han tomado para este escenario son las siguientes:

- Política 1: “política general int pers”=0 (crecimiento en el número de desplazamientos en el interior de España)
- Política 2: se adoptan políticas a partir de 2017
  - o “T política”=2017
  - o “incremento política coches” multiplicado por -0,001: indica una disminución de los desplazamientos en coche de un 0,1% al año.
  - o “% a motocicleta + ciclomotor”=0,2
  - o “% a metro + tranvía”=0,1
  - o “% a ferrocarril”=0,1
  - o Por lo tanto, en el modelo en dinámica de sistemas el “% a bus” será 0,6 porque es la resta del total menos los tres medios (motos, metro y tren). Ver Figura 3.2.11.
  - o “incremento política aéreo” multiplicado por -0,02: se traduce en un aumento de desplazamientos de larga distancia en tren.
- Política 3: no se invierte en infraestructuras a partir del año 2017.

Los resultados de aplicar estas políticas sobre el modelo en dinámica de sistemas son los siguientes:

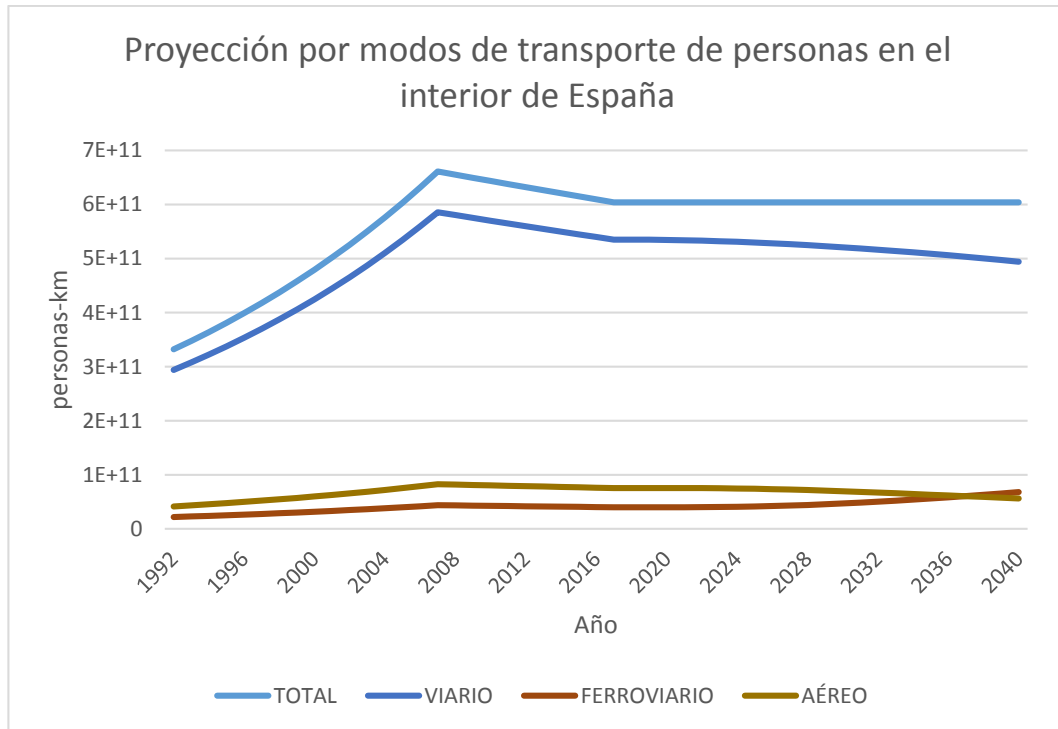


Gráfica 6.8.1. Escenario 7. Proyección por medios de transporte de personas en el interior de España.

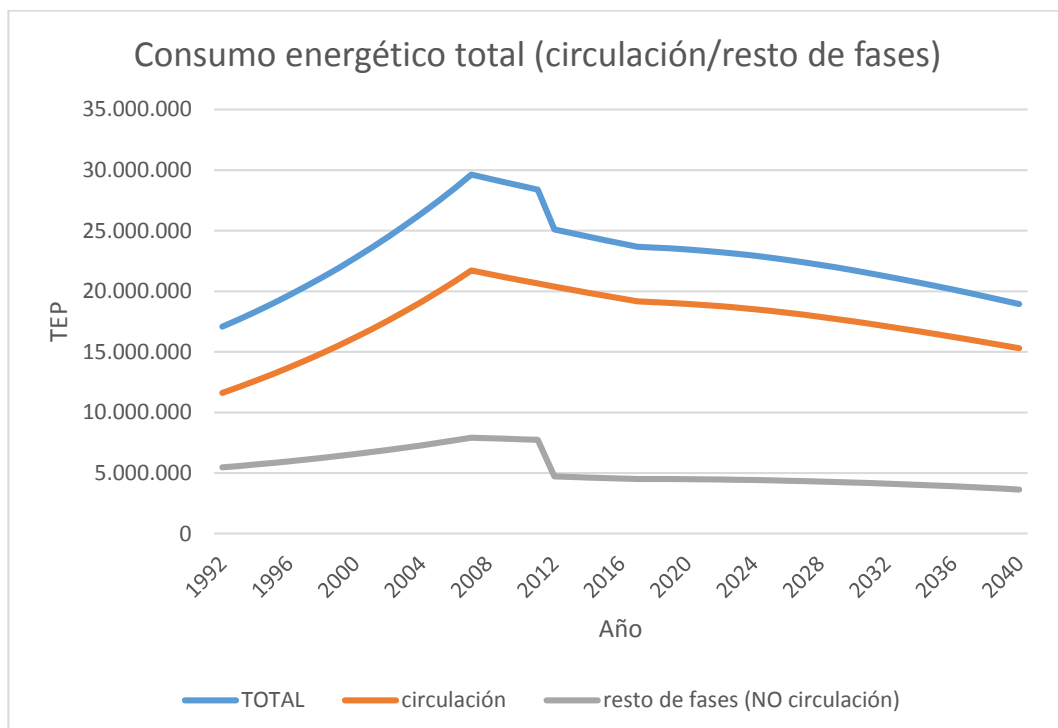


Gráfica 6.8.2. Escenario 7. Detalle de la proyección por medios de transporte de personas en el interior de España.

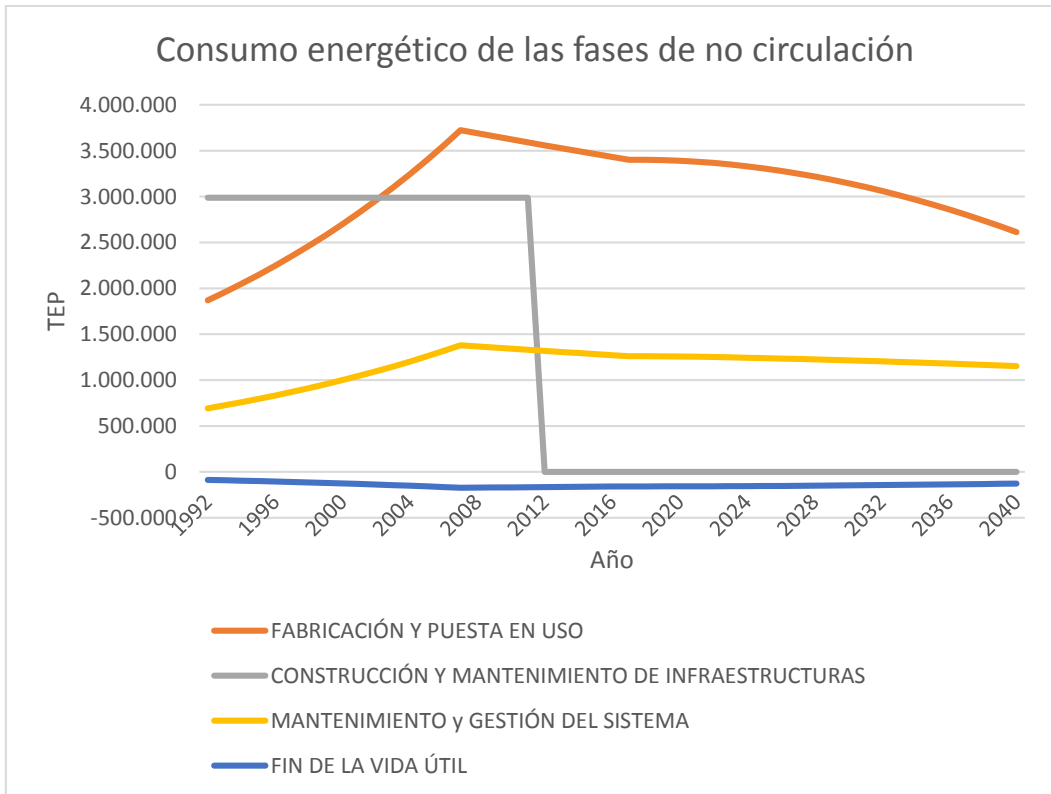




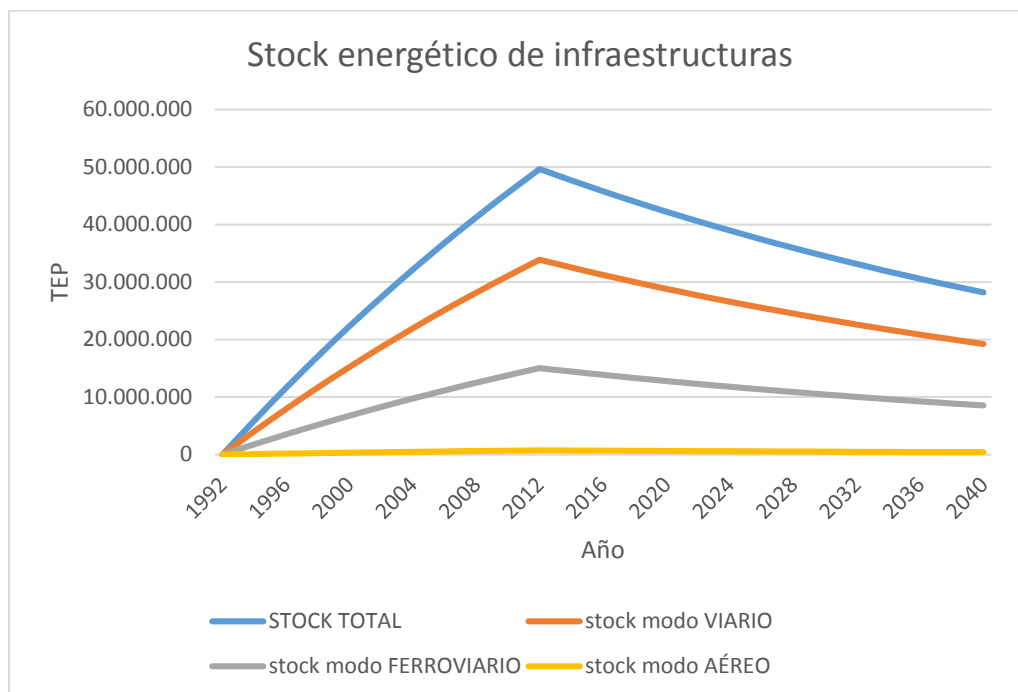
Gráfica 6.8.3. Escenario 7. Proyección por modos de transporte de personas en el interior de España.



Gráfica 6.8.4. Escenario 7. Consumo energético total diferenciando la fase de circulación respecto de la suma de los consumos del resto de fases.



Gráfica 6.8.5. Escenario 7. Detalle del consumo energético de las distintas fases del transporte exceptuando la fase de circulación.



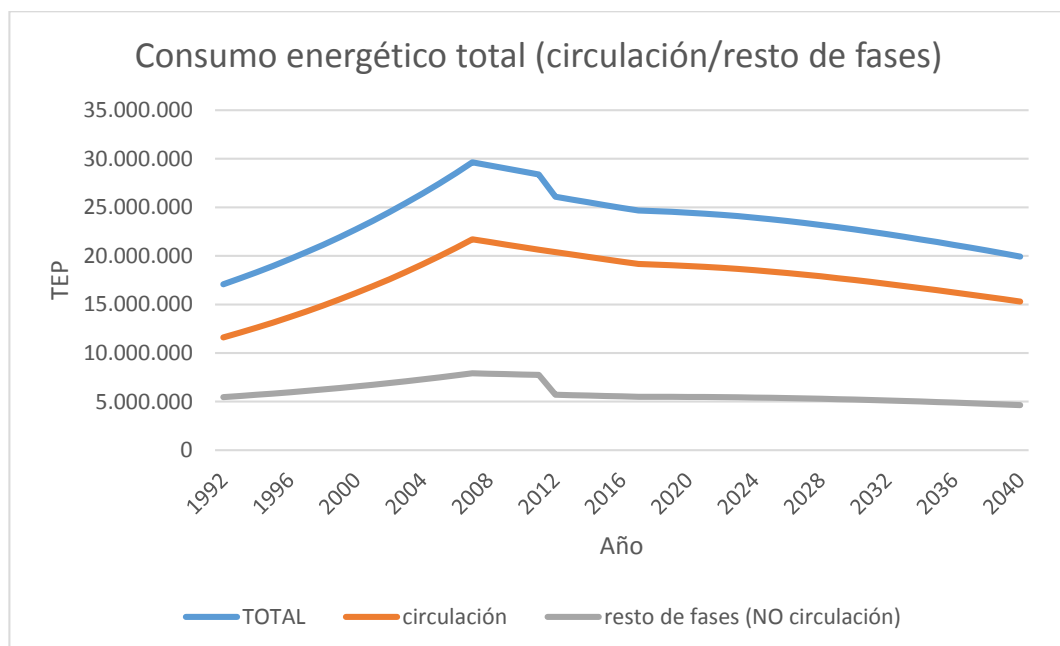
Gráfica 6.8.6. Escenario 7. Stock energético de la fase de construcción y mantenimiento de infraestructuras.

## 6.9. Escenario 8

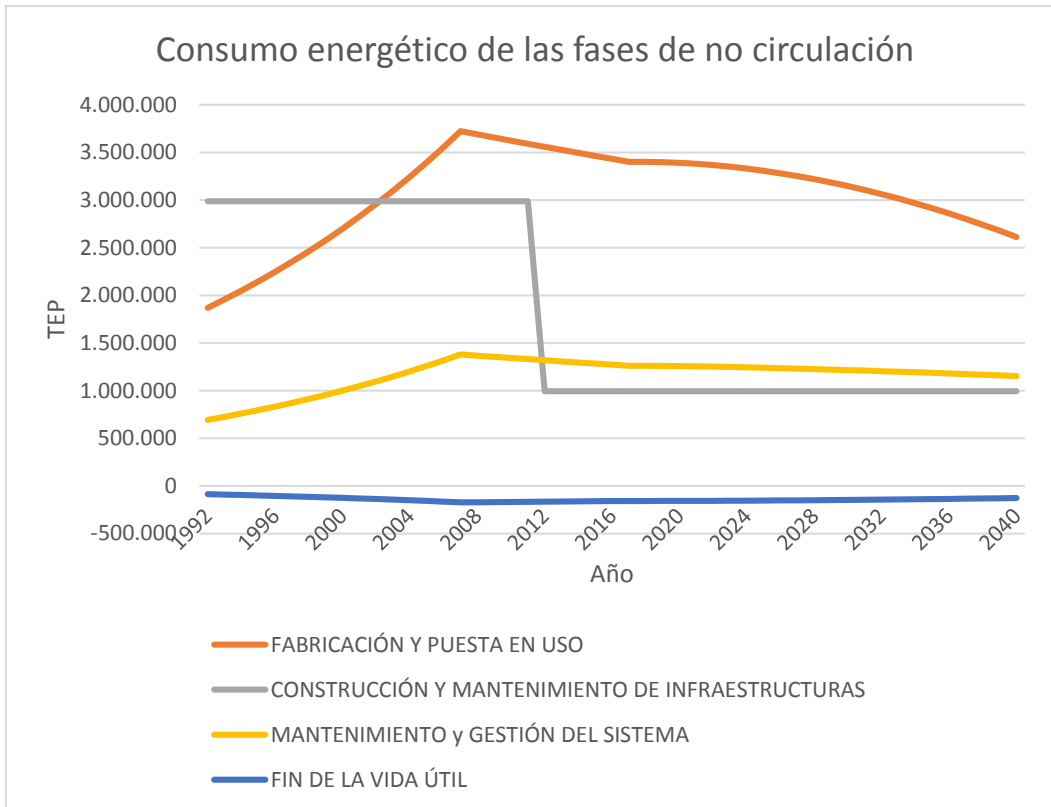
Las tres políticas que se han tomado para este escenario son las siguientes:

- Política 1: “política general int pers”=0 (crecimiento en el número de desplazamientos en el interior de España)
- Política 2: se adoptan políticas a partir de 2017
  - o “T política”=2017
  - o “incremento política coches” multiplicado por -0,001: indica una disminución de los desplazamientos en coche de un 0,1% al año.
  - o “% a motocicleta + ciclomotor”=0,2
  - o “% a metro + tranvía”=0,1
  - o “% a ferrocarril”=0,1
  - o Por lo tanto, en el modelo en dinámica de sistemas el “% a bus” será 0,6 porque es la resta del total menos los tres medios (motos, metro y tren). Ver Figura 3.2.11.
  - o “incremento política aéreo” multiplicado por -0,02: se traduce en un aumento de desplazamientos de larga distancia en tren.
- Política 3: se sigue invirtiendo en función del deterioro. De esta forma los valores de inversión no caen a cero, se mantienen constantes en unos valores intermedios.

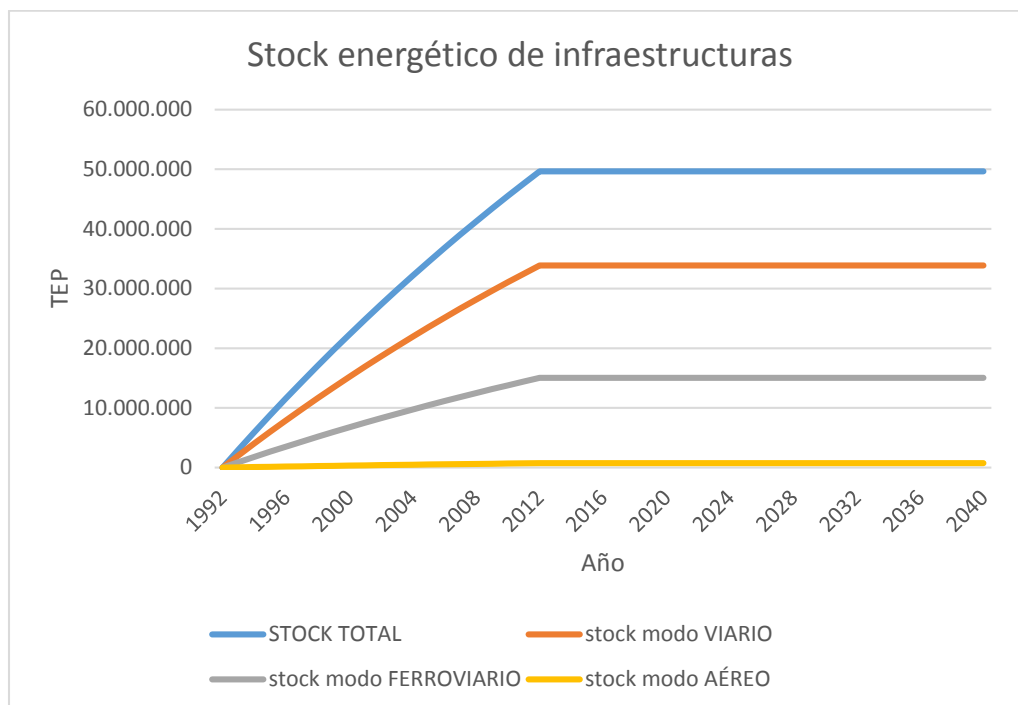
Los resultados de aplicar estas políticas sobre el modelo en dinámica de sistemas son los siguientes:



Gráfica 6.9.1. Escenario 8. Consumo energético total diferenciando la fase de circulación respecto de la suma de los consumos del resto de fases.



Gráfica 6.9.2. Escenario 8. Detalle del consumo energético de las distintas fases del transporte exceptuando la fase de circulación.



Gráfica 6.9.3. Escenario 8. Stock energético de la fase de construcción y mantenimiento de infraestructuras.

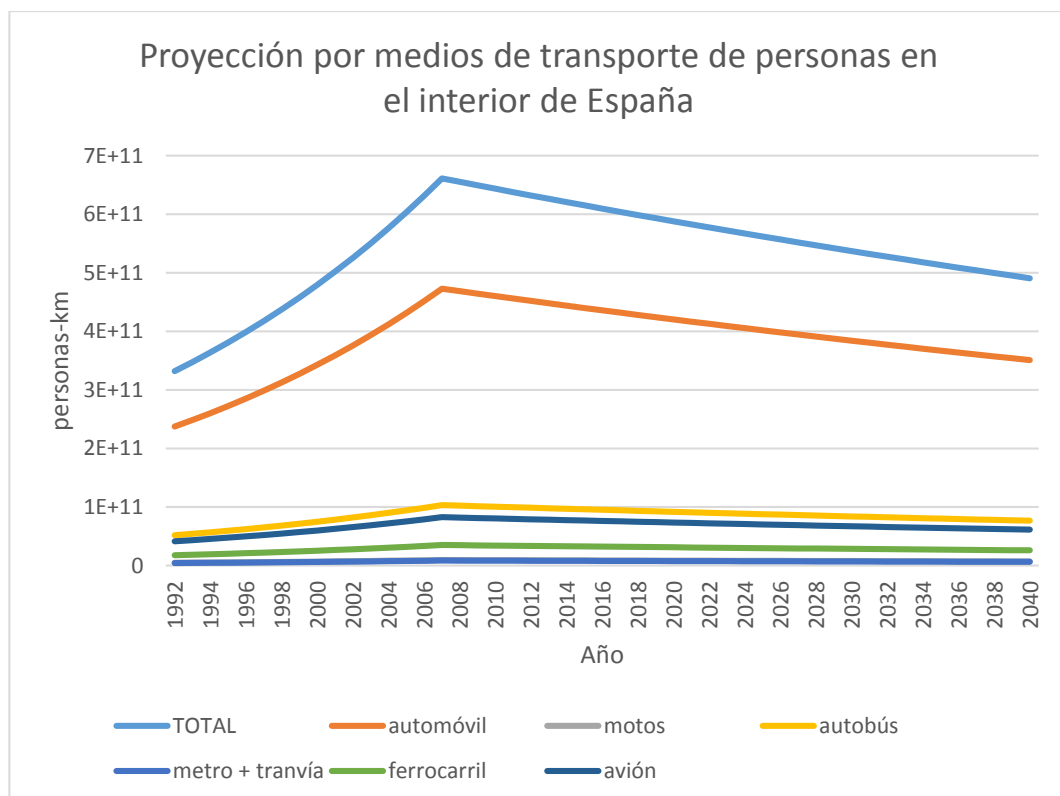
## 6.10. Escenario 9

El escenario número 9 es el primero de los cuatro que van a adoptar la tercera política sobre desplazamientos. Se va a suponer que la población disminuye a lo largo del tiempo según las estadísticas y proporcionalmente también disminuyen con ello los desplazamientos en el interior de España. Posteriormente se les aplicarán y combinarán las otras dos políticas restantes sobre los diferentes medios de transporte e infraestructuras.

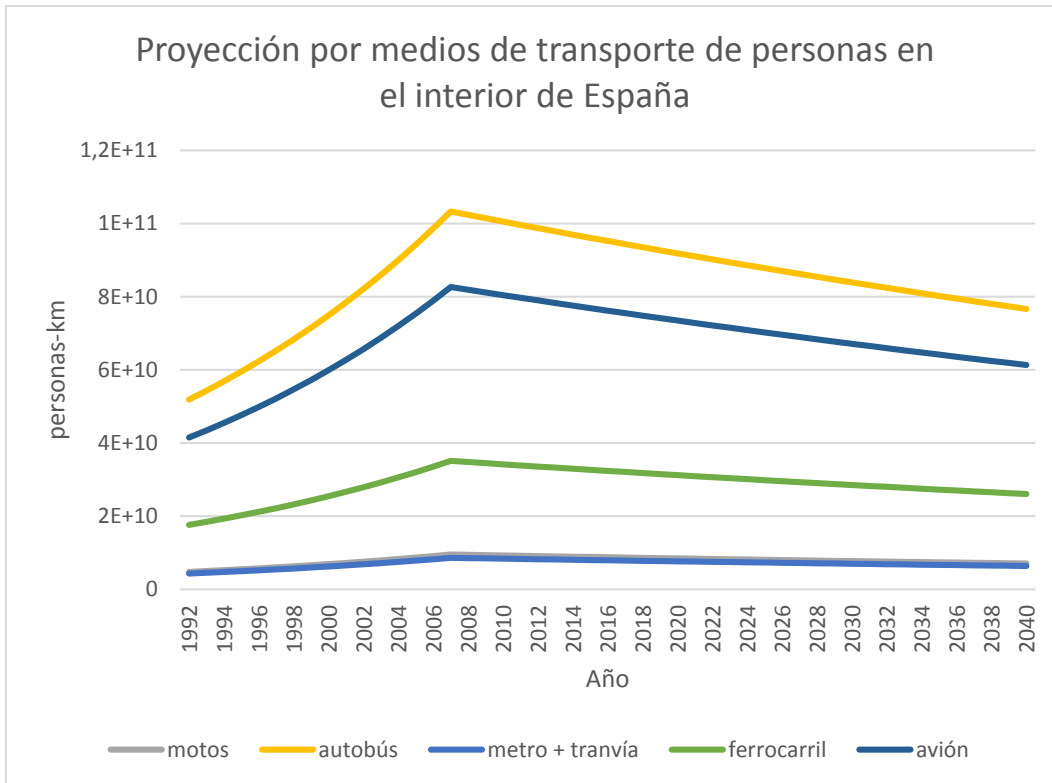
Las tres políticas que se han tomado para este escenario son las siguientes:

- Política 1: “política general int pers”=-0,009 (disminución en el número de desplazamientos en el interior de España)
- Política 2: no se adopta ninguna política (“T política” >>> 2017), no se modifican variables
- Política 3: no se invierte en infraestructuras a partir del año 2017

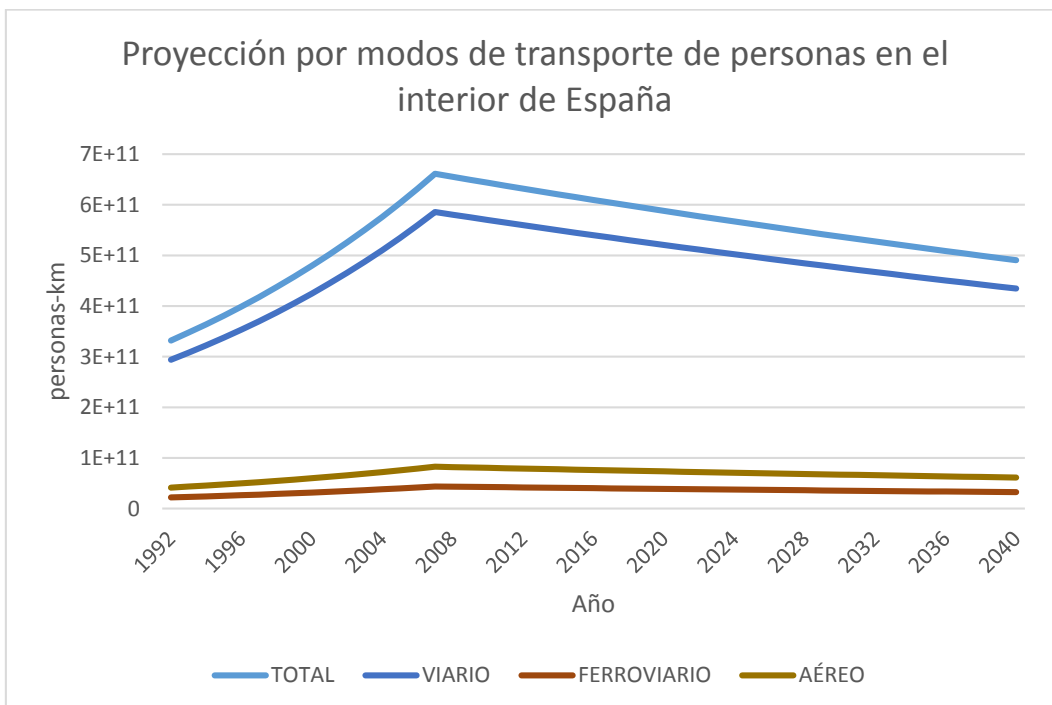
Los resultados de aplicar estas políticas sobre el modelo en dinámica de sistemas son los siguientes:



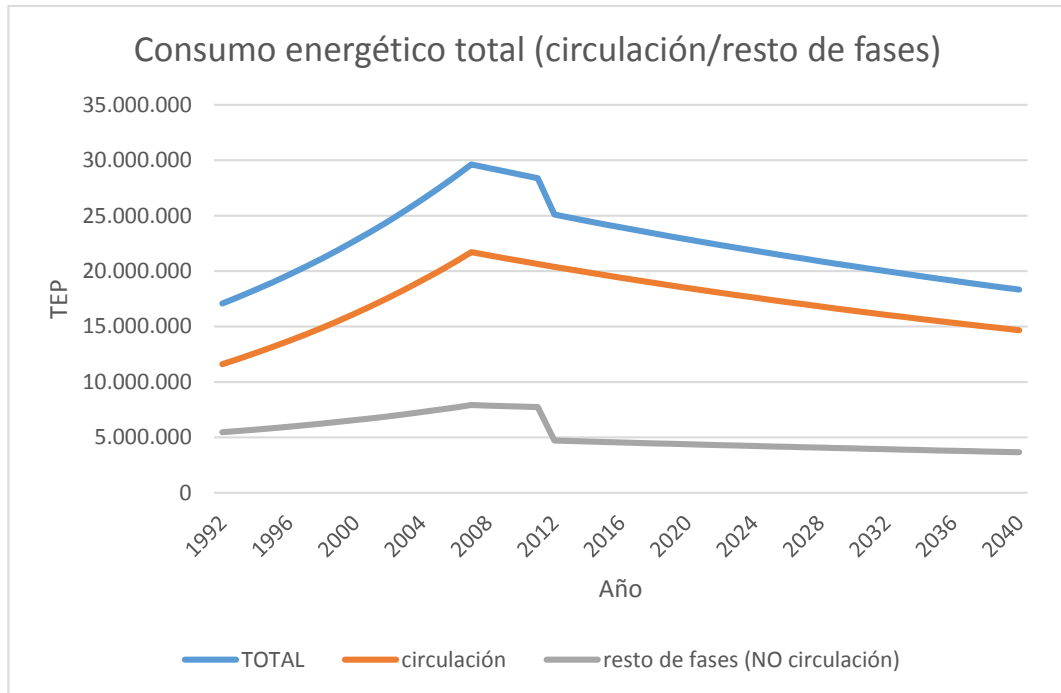
Gráfica 6.10.1. Escenario 9. Proyección por medios de transporte de personas en el interior de España.



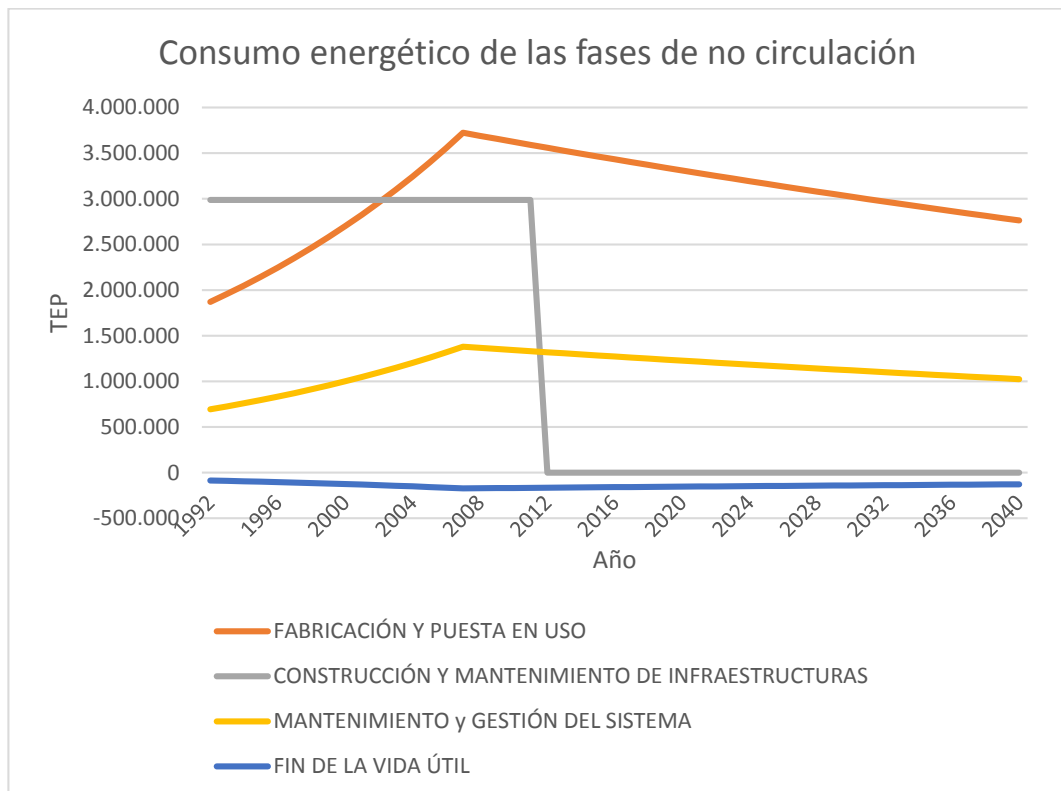
Gráfica 6.10.2. Escenario 9. Detalle de la proyección por medios de transporte de personas en el interior de España.



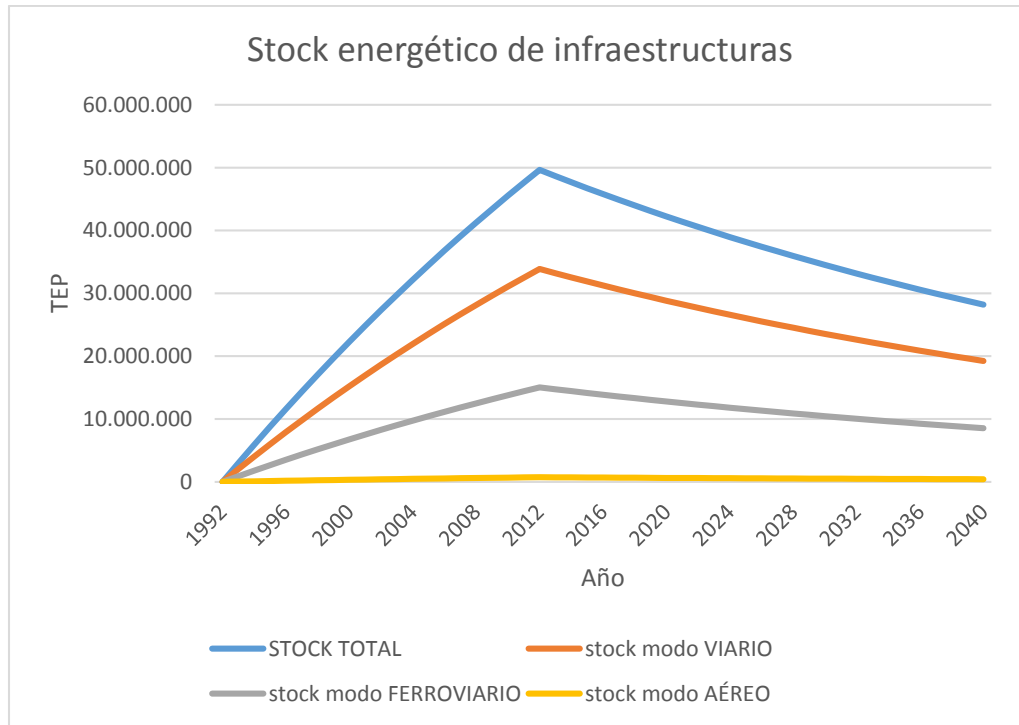
Gráfica 6.10.3. Escenario 9. Proyección por modos de transporte de personas en el interior de España.



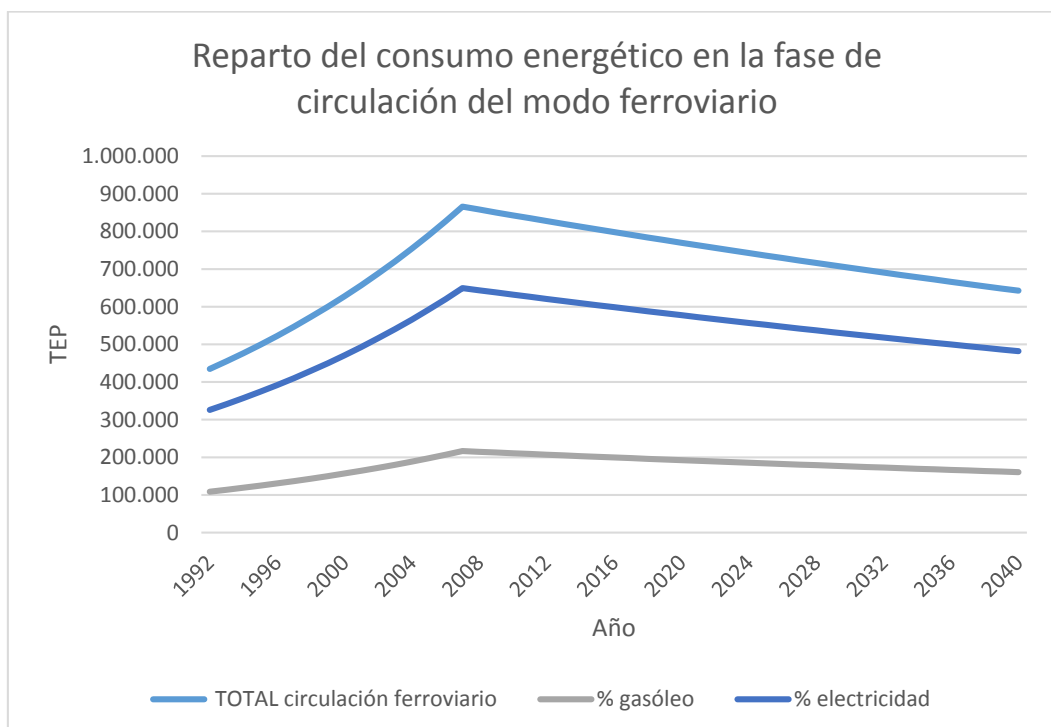
Gráfica 6.10.4. Escenario 9. Consumo energético total diferenciando la fase de circulación respecto de la suma de los consumos del resto de fases.



Gráfica 6.10.5. Escenario 9. Detalle del consumo energético de las distintas fases del transporte exceptuando la fase de circulación.



Gráfica 6.10.6. Escenario 9. Stock energético de la fase de construcción y mantenimiento de infraestructuras.



Gráfica 6.10.7. Escenario 9. Reparto del consumo de energía del modo ferroviario en la fase de circulación.



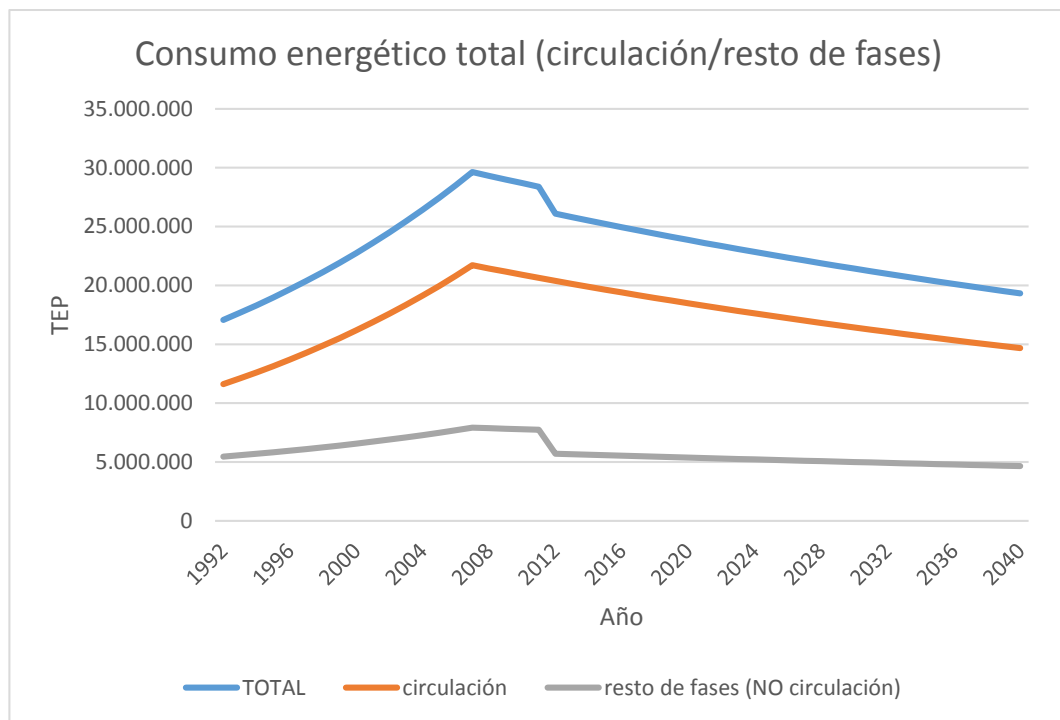
## 6.11. Escenario 10

Las tres políticas que se han tomado para este escenario son las siguientes:

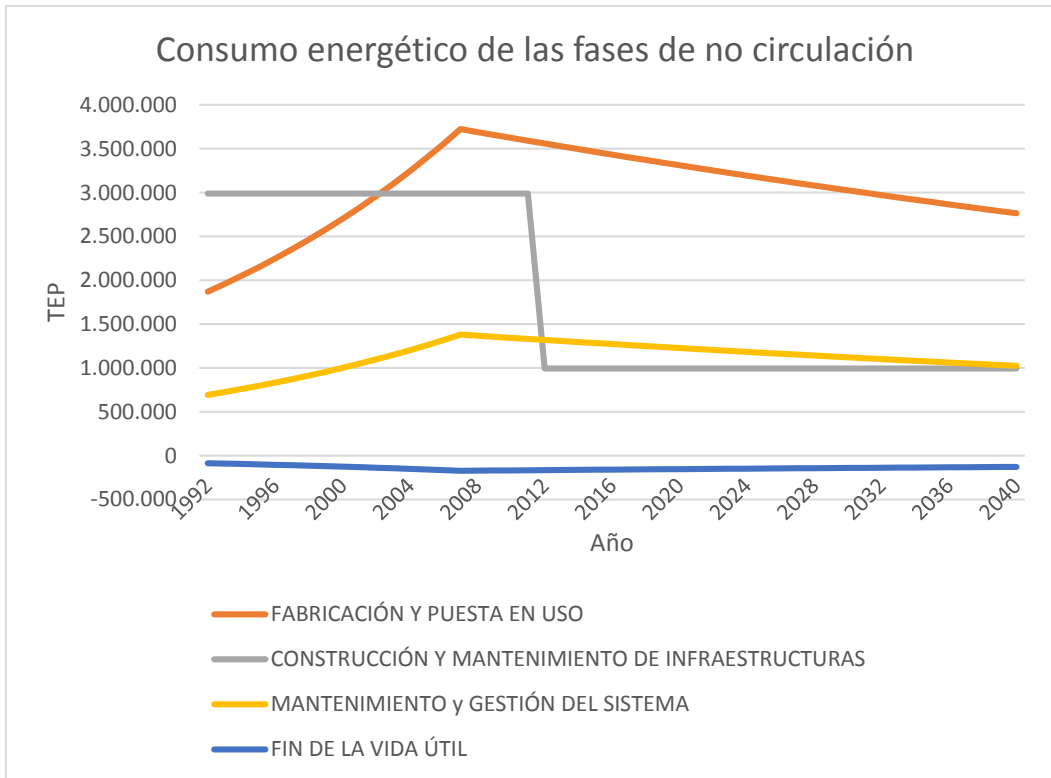
- **Política 1:** “política general int pers”=-0.009 (crecimiento en el número de desplazamientos en el interior de España)
- **Política 2:** no se adopta ninguna política (“T política” >>> 2017), no se modifican variables
- **Política 3:** se sigue invirtiendo en función del deterioro. De esta forma los valores de inversión no caen a cero, se mantienen constantes en unos valores intermedios.

Al no haber impuesto alguna política sobre la reducción o aumento en los diferentes medios de transporte, las tres primeras gráficas de este escenario sobre desplazamientos son idénticas al anterior. Por lo tanto, solo se muestran las gráficas sobre energía debido a los cambios en la política sobre infraestructuras.

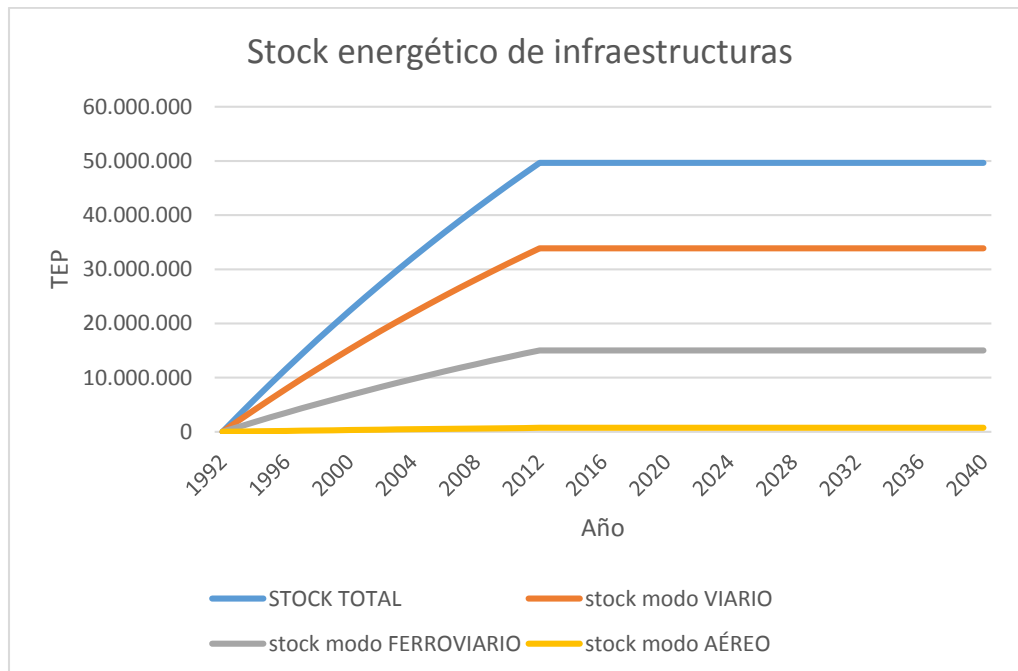
Los resultados de aplicar estas políticas sobre el modelo en dinámica de sistemas son los siguientes:



Gráfica 6.11.1. Escenario 10. Consumo energético total diferenciando la fase de circulación respecto de la suma de los consumos del resto de fases.



Gráfica 6.11.2. Escenario 10. Detalle del consumo energético de las distintas fases del transporte exceptuando la fase de circulación.



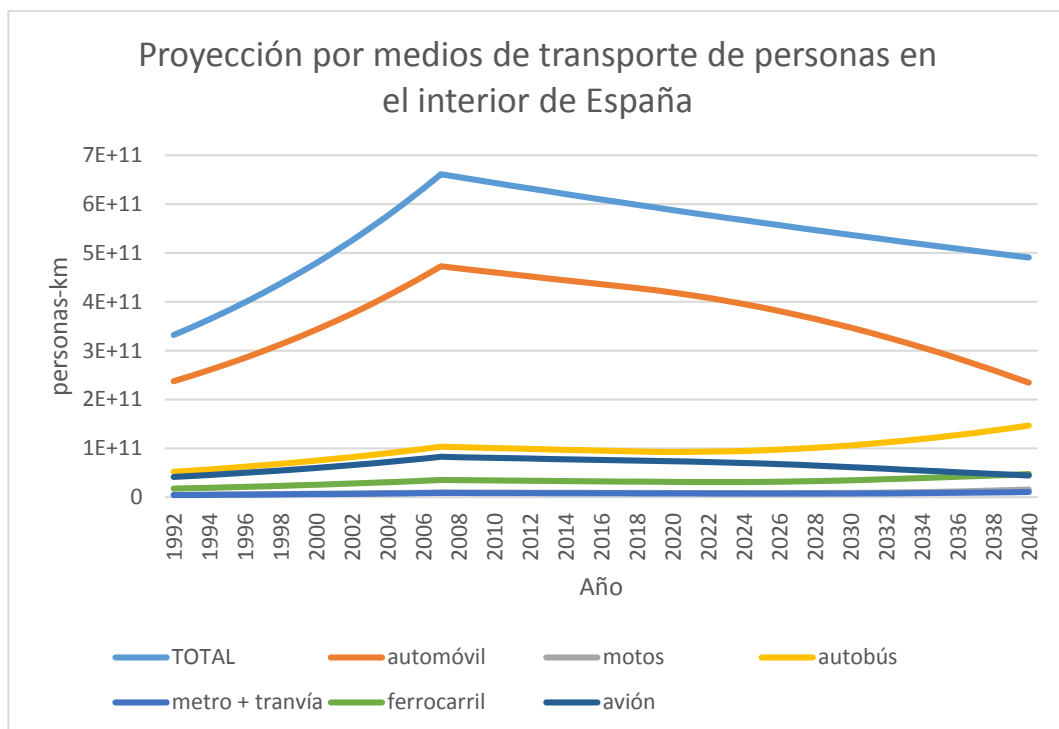
Gráfica 6.11.3. Escenario 10. Stock energético de la fase de construcción y mantenimiento de infraestructuras.

## 6.12. Escenario 11

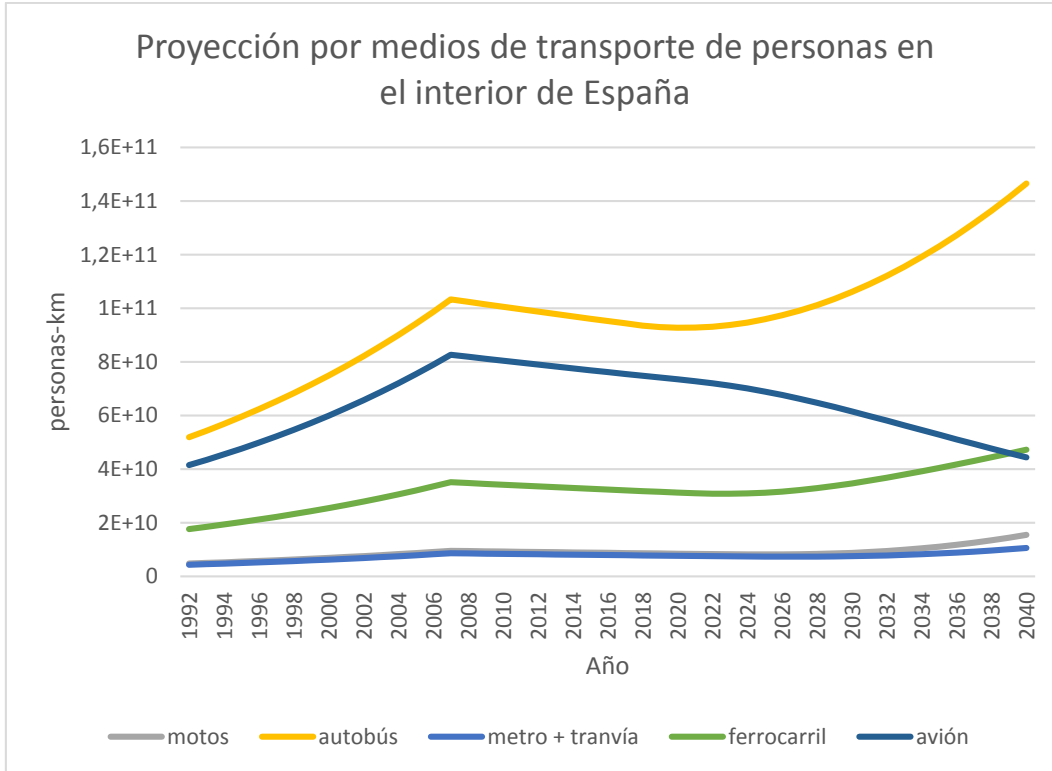
Las tres políticas que se han tomado para este escenario son las siguientes:

- Política 1: “política general int pers”=-0.009 (crecimiento en el número de desplazamientos en el interior de España)
- Política 2: se adoptan políticas a partir de 2017
  - o “T política”=2017
  - o “incremento política coches” multiplicado por -0,001: indica una disminución de los desplazamientos en coche de un 0,1% al año.
  - o “% a motocicleta + ciclomotor”=0,2
  - o “% a metro + tranvía”=0,1
  - o “% a ferrocarril”=0,1
  - o Por lo tanto, en el modelo en dinámica de sistemas el “% a bus” será 0,6 porque es la resta del total menos los tres medios (motos, metro y tren). Ver Figura 3.2.11.
  - o “incremento política aéreo” multiplicado por -0,02: se traduce en un aumento de desplazamientos de larga distancia en tren.
- Política 3: no se invierte en infraestructuras a partir del año 2017.

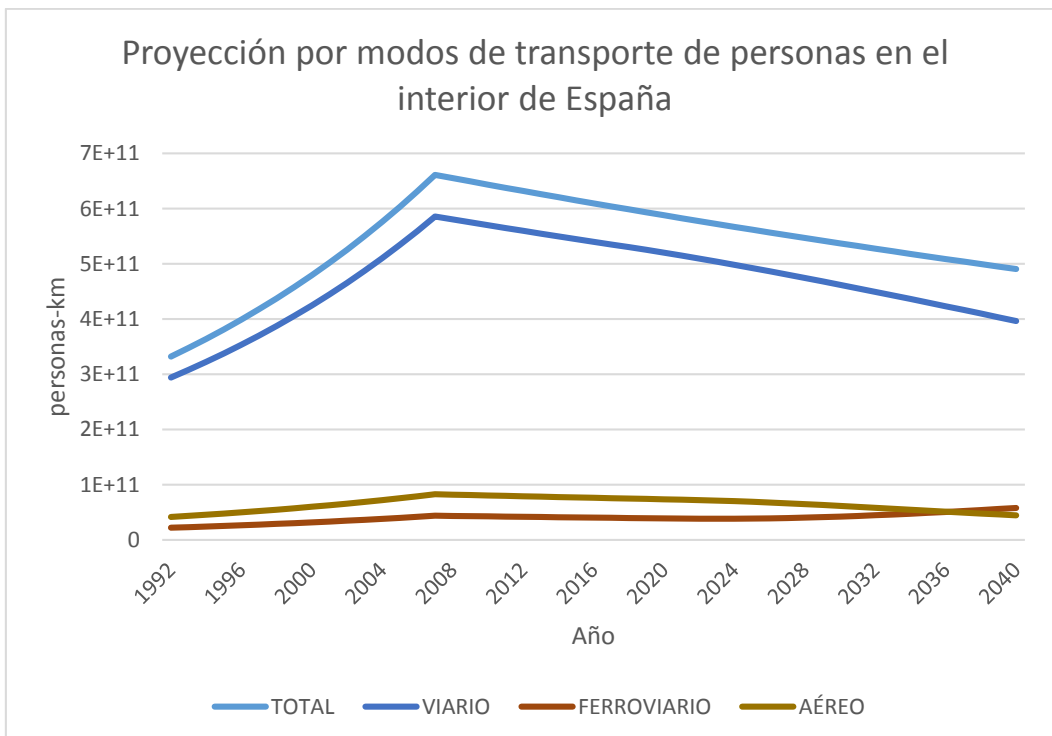
Los resultados de aplicar estas políticas sobre el modelo en dinámica de sistemas son los siguientes:



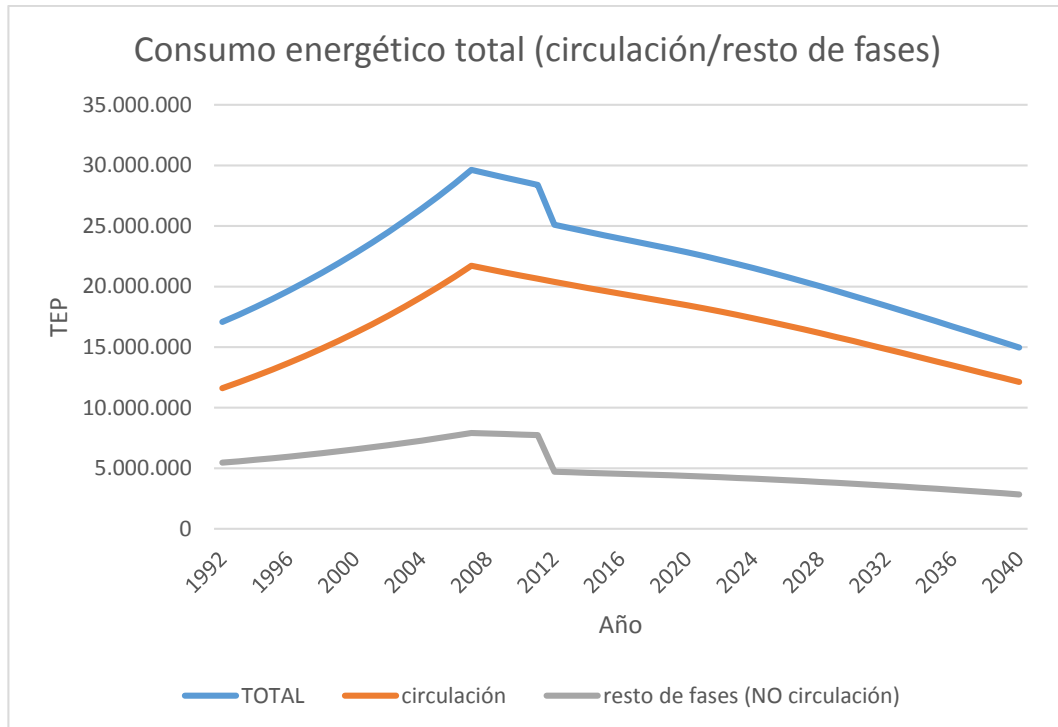
Gráfica 6.12.1. Escenario 11. Proyección por medios de transporte de personas en el interior de España.



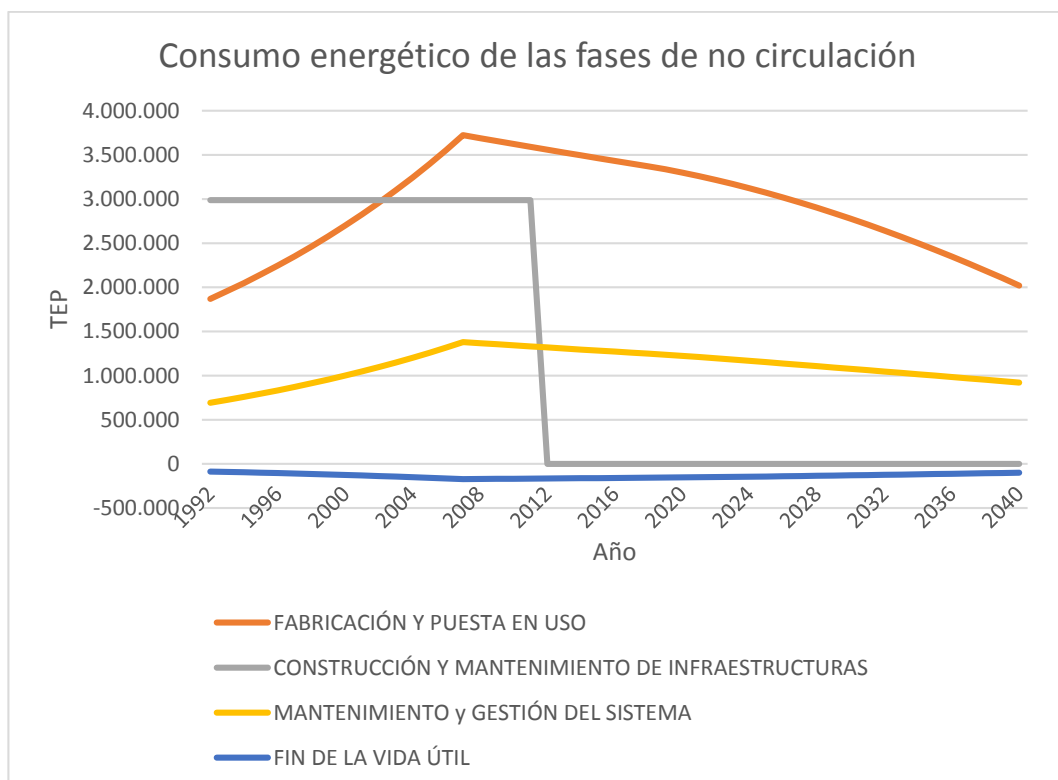
Gráfica 6.12.2. Escenario 11. Detalle de la proyección por medios de transporte de personas en el interior de España.



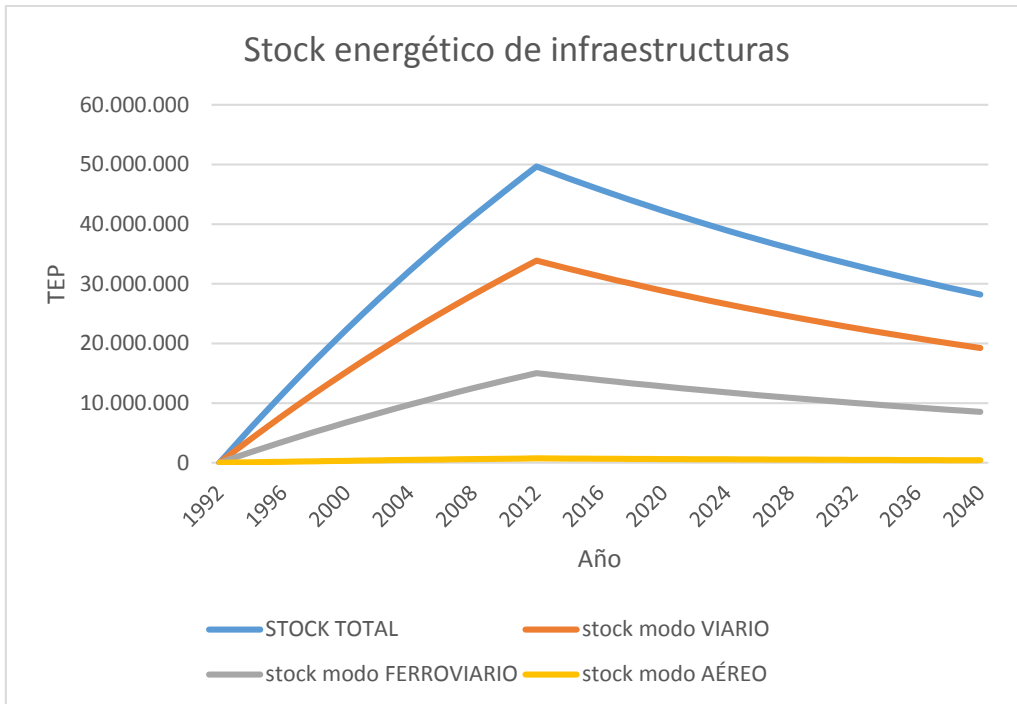
Gráfica 6.12.3. Escenario 11. Proyección por modos de transporte de personas en el interior de España.



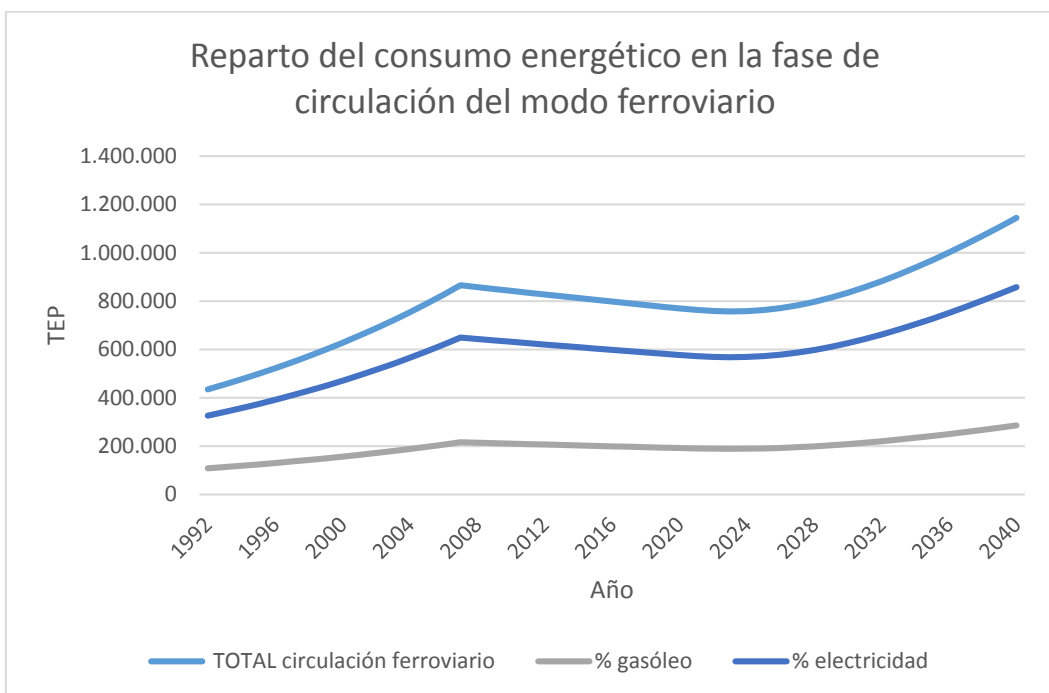
Gráfica 6.12.4. Escenario 11. Consumo energético total diferenciando la fase de circulación respecto de la suma de los consumos del resto de fases.



Gráfica 6.12.5. Escenario 11. Detalle del consumo energético de las distintas fases del transporte exceptuando la fase de circulación.



Gráfica 6.12.6. Escenario 11. Stock energético de la fase de construcción y mantenimiento de infraestructuras.



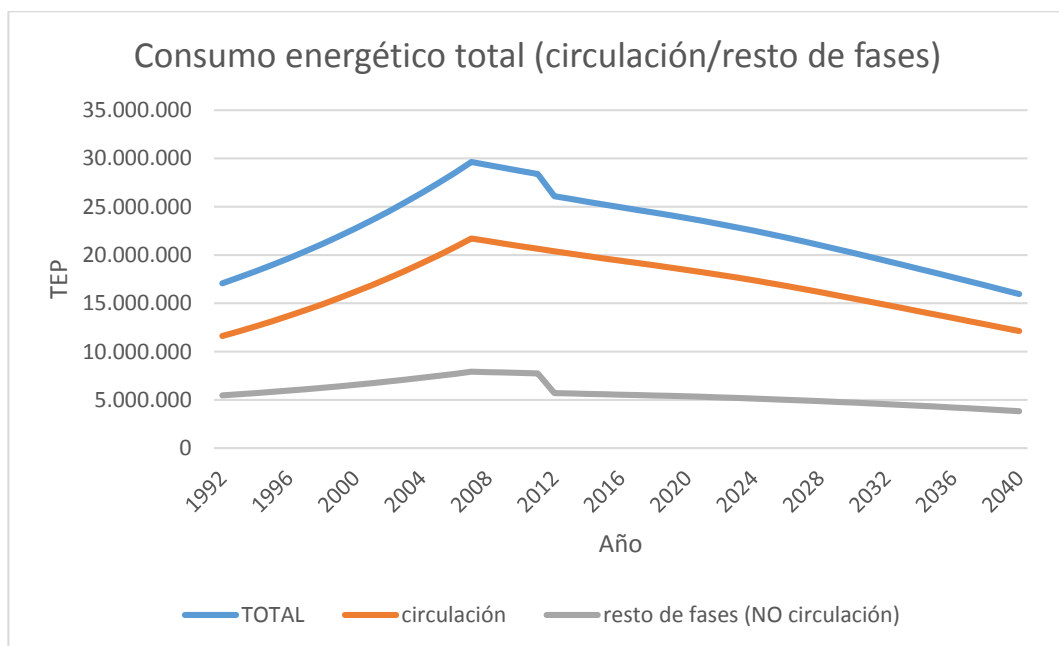
Gráfica 6.12.7. Escenario 11. Reparto del consumo de energía del modo ferroviario en la fase de circulación.

### 6.13. Escenario 12

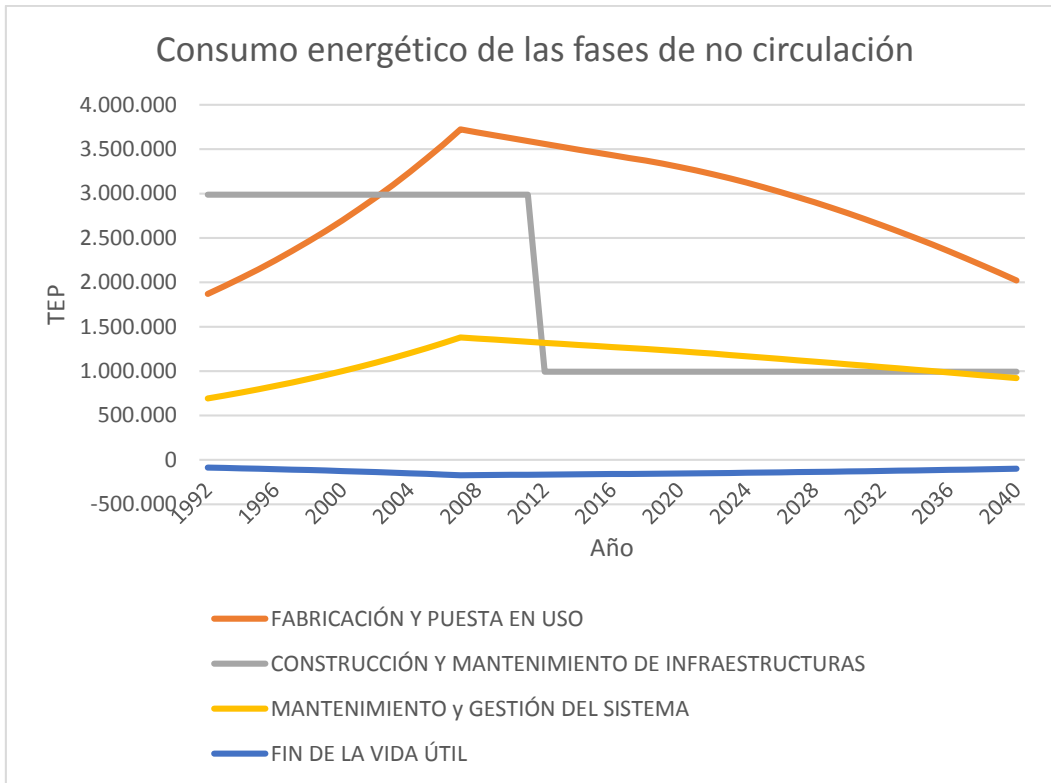
Las tres políticas que se han tomado para este escenario son las siguientes:

- Política 1: “política general int pers”=-0,009 (crecimiento en el número de desplazamientos en el interior de España)
- Política 2: se adoptan políticas a partir de 2017
  - o “T política”=2017
  - o “incremento política coches” multiplicado por -0,001: indica una disminución de los desplazamientos en coche de un 0,1% al año.
  - o “% a motocicleta + ciclomotor”=0,2
  - o “% a metro + tranvía”=0,1
  - o “% a ferrocarril”=0,1
  - o Por lo tanto, en el modelo en dinámica de sistemas el “% a bus” será 0,6 porque es la resta del total menos los tres medios (motos, metro y tren). Ver Figura 3.2.11.
  - o “incremento política aéreo” multiplicado por -0,02: se traduce en un aumento de desplazamientos de larga distancia en tren.
- Política 3: se sigue invirtiendo en función del deterioro. De esta forma los valores de inversión no caen a cero, se mantienen constantes en unos valores intermedios.

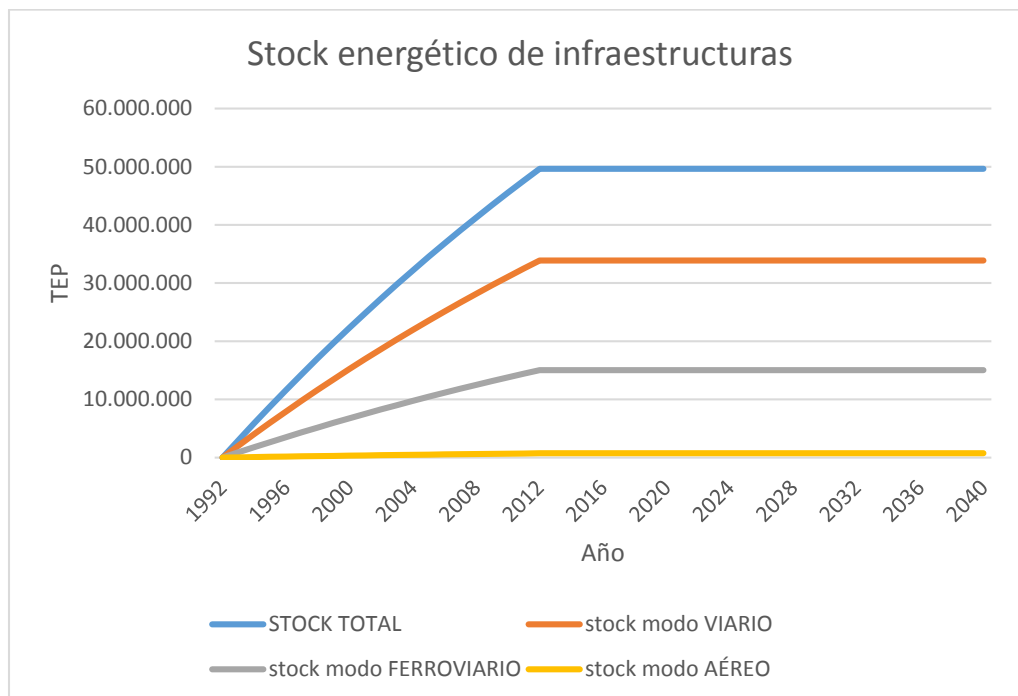
Los resultados de aplicar estas políticas sobre el modelo en dinámica de sistemas son los siguientes:



Gráfica 6.13.1. Escenario 12. Consumo energético total diferenciando la fase de circulación respecto de la suma de los consumos del resto de fases.



Gráfica 6.13.2. Escenario 12. Detalle del consumo energético de las distintas fases del transporte exceptuando la fase de circulación.



Gráfica 6.13.3. Escenario 12. Stock energético de la fase de construcción y mantenimiento de infraestructuras.



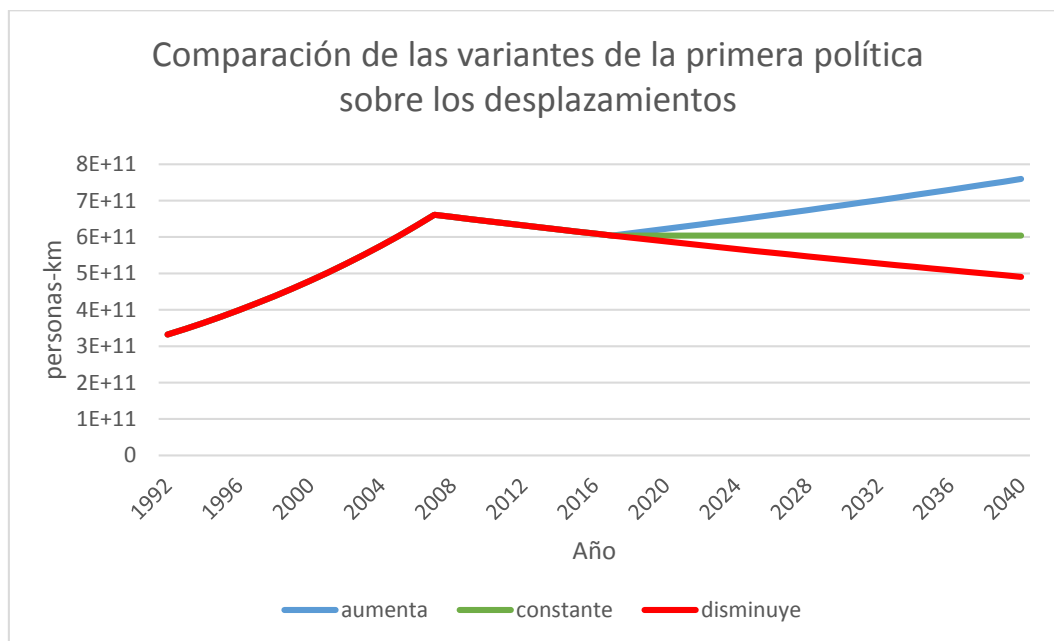


## 7. DISCUSIÓN SOBRE LOS RESULTADOS.....107

## 7. DISCUSIÓN SOBRE LOS RESULTADOS

En último lugar se va a realizar una discusión sobre el análisis de los diferentes escenarios estudiados en el modelo en Vensim.

La primera política que se ha impuesto a la hora de simular el modelo es el aumento o disminución de los desplazamientos en el transporte interior de España. A partir de los datos estadísticos se han realizado los cuatro últimos escenarios que parten una reducción de la población y se ha supuesto proporcional a los desplazamientos: si la población disminuye, se realizarán menos desplazamientos. Esta última hipótesis es válida para todos los escenarios pero los de mayor trascendencia serán los últimos ya que se aproximan a la realidad de un futuro próximo.

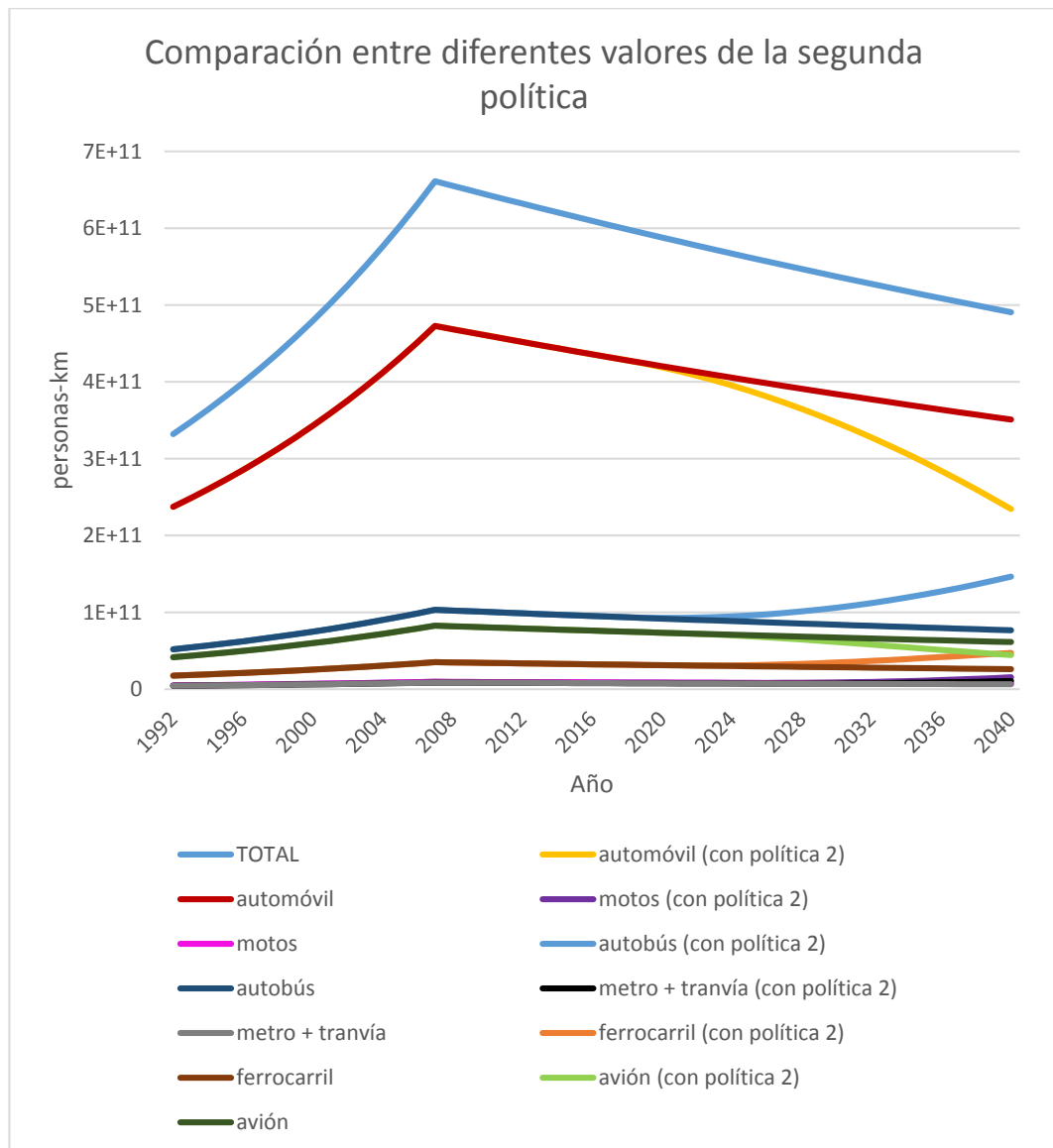


Gráfica 7.1. Comparación en la modificación de la primera política sobre los desplazamientos totales en el interior de España.

En la Gráfica 7.1. se indica en rojo la variante de la política que más se ajusta a las predicciones sobre el futuro de la población y por lo tanto será la de más importancia a la hora de comparar distintos escenarios.

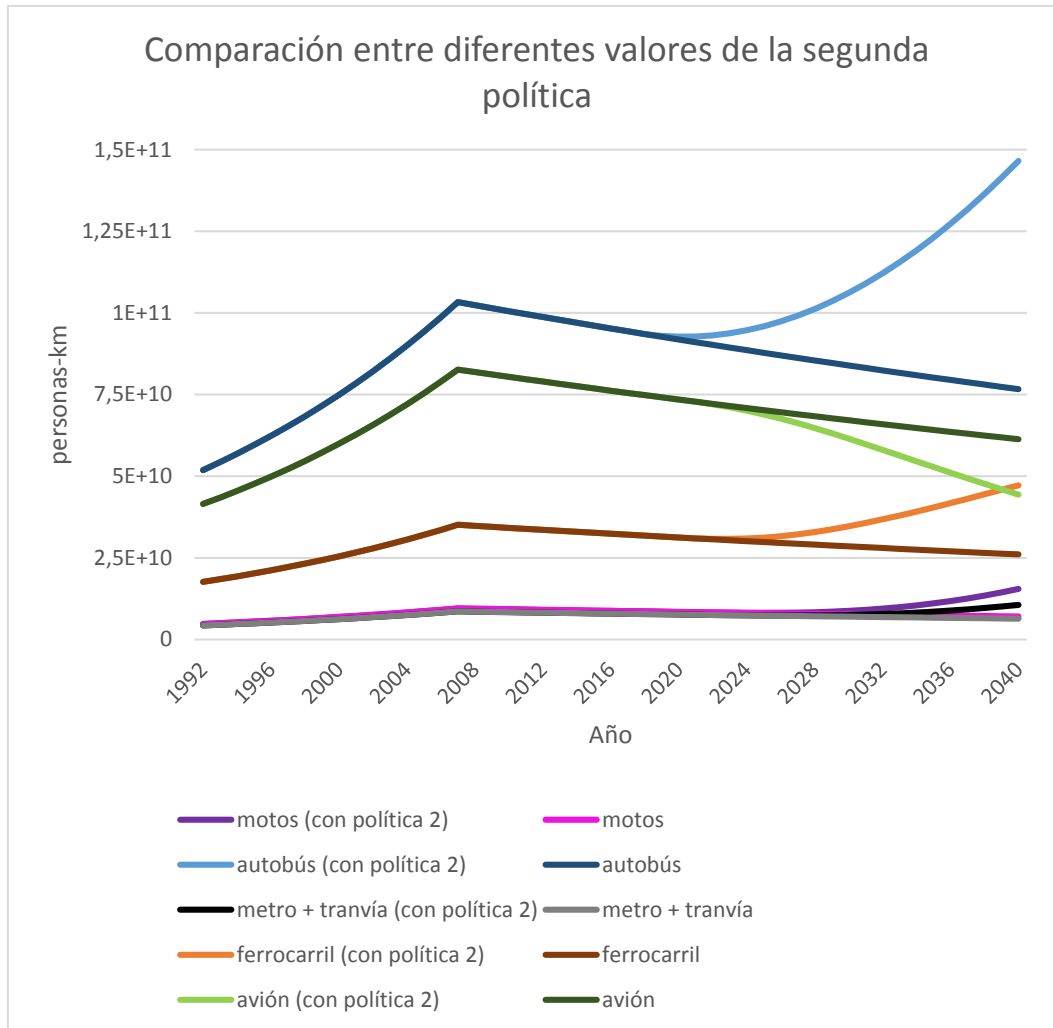
En segundo lugar, la siguiente política establecía cambios en la cantidad de desplazamientos producidos por las personas en los distintos medios de transporte (coche, moto, autobús, metro, tren y avión). Cuando no se aplicaba ninguna política, estos valores seguían su curso de la misma forma que el total de número de desplazamientos, si estos disminuían, los desplazamientos de los medios de transporte también. Por el contrario, cuando se impone alguna

política como la anteriormente mencionada, la totalidad no varía pero los desplazamientos en coche disminuyen mientras que los del autobús aumentan. Las dos gráficas siguientes muestran esta comparación entre la Gráfica 6.10.1. del Escenario 9 donde no se establece ninguna política y la Gráfica 6.12.1 del Escenario 11. Donde los desplazamientos de las personas en coche disminuyen para dar paso a un aumento de éstos en autobús, motocicleta, ciclomotor y metro, y además los desplazamientos en avión correspondientes a viajes de larga distancia son sustituidos por el tren.



Gráfica 7.2. Gráfica comparativa entre los desplazamientos en los distintos medios de transporte sin aplicar ninguna política y estableciendo una política concreta.

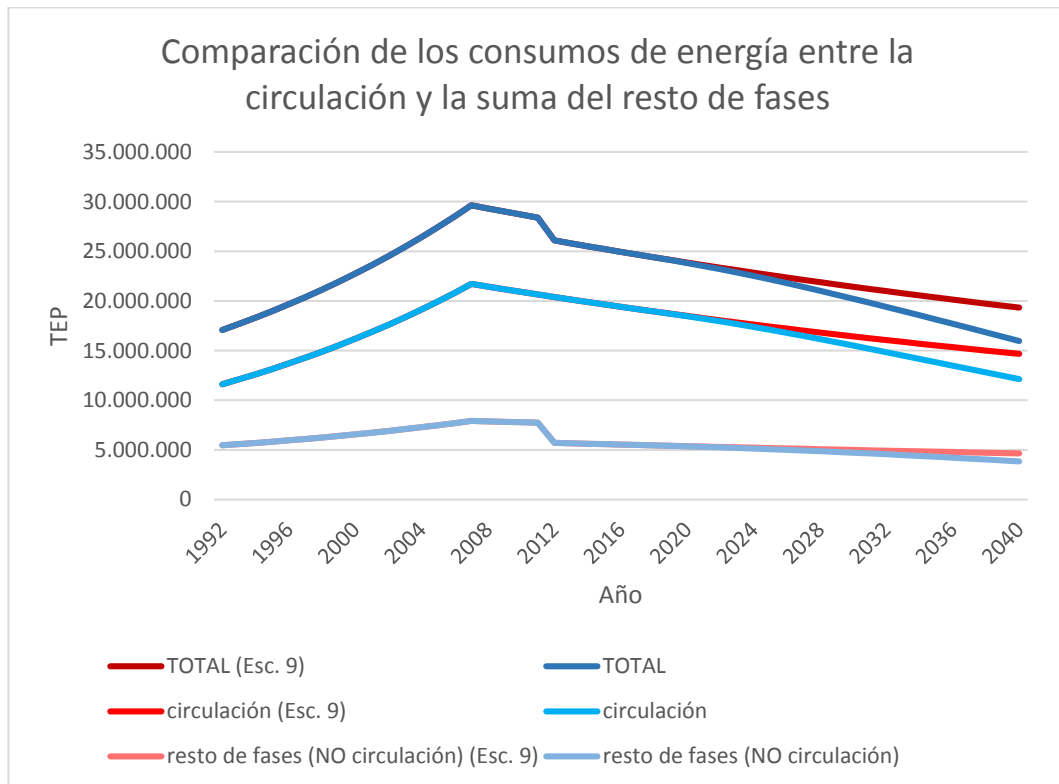
Para observar mejor la parte inferior de la gráfica, se muestra con detalle otra gráfica en la que se indican los medios de transporte que menores desplazamientos de personas producen en el interior del país.



Gráfica 7.3. Detalle de la gráfica comparativa entre los desplazamientos en los distintos medios de transporte sin aplicar ninguna política y estableciendo una política concreta.

En estas dos gráficas se puede observar que una disminución significativa del transporte de personas en coche supondría un aumento en el transporte colectivo al igual que al minorar el transporte interior en avión crecerán los desplazamientos en tren. Posteriormente se observará en las gráficas de los consumos de energía que estas medidas adoptadas generarán una reducción importante de los consumos energéticos.

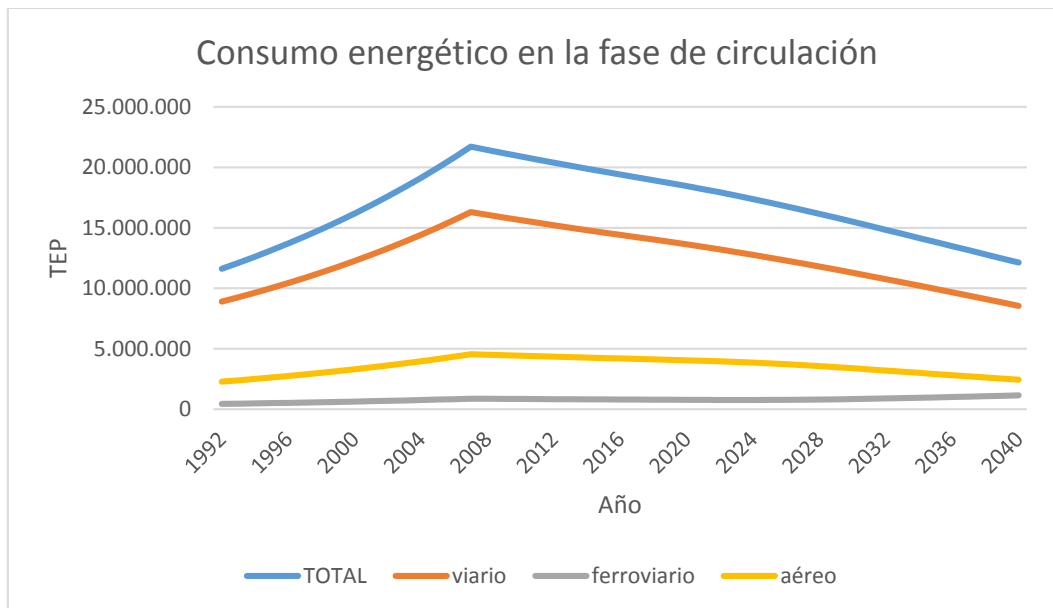
A lo largo de este capítulo se ha podido observar la diferencia entre los consumos energéticos entre las distintas fases del transporte y con ello las que son de mayor importancia. Siguiendo un orden la fase cuyo consumo de energía es mayor y por lo tanto la más trascendente en comparación con las demás es la fase de circulación. En la siguiente gráfica se va a comparar la energía en la circulación respecto al resto de fases del transporte en los escenarios 10 y 12 en los que se aplicó una política de inversión de infraestructuras igual al deterioro de las mismas:



Gráfica 7.4. Comparación entre los consumos de energía de la circulación y de la suma del resto de fases.

Si se observa la gráfica anterior se puede deducir que una disminución del número de desplazamientos en coche y en avión y apostando por los demás medios de transporte conlleva una reducción del consumo energético. Atendiendo a la Gráfica 7.2. y a la Gráfica 7.3. aproximadamente una reducción de los desplazamientos en coche del 30% y en avión del 25% causarían una reducción de algo más del 20% del consumo energético total respecto de la tendencia del Escenario 9 y 10 sin aplicar una segunda política. La mayor parte de esta disminución de la energía sería consecuencia de la reducción del consumo en la fase de circulación.

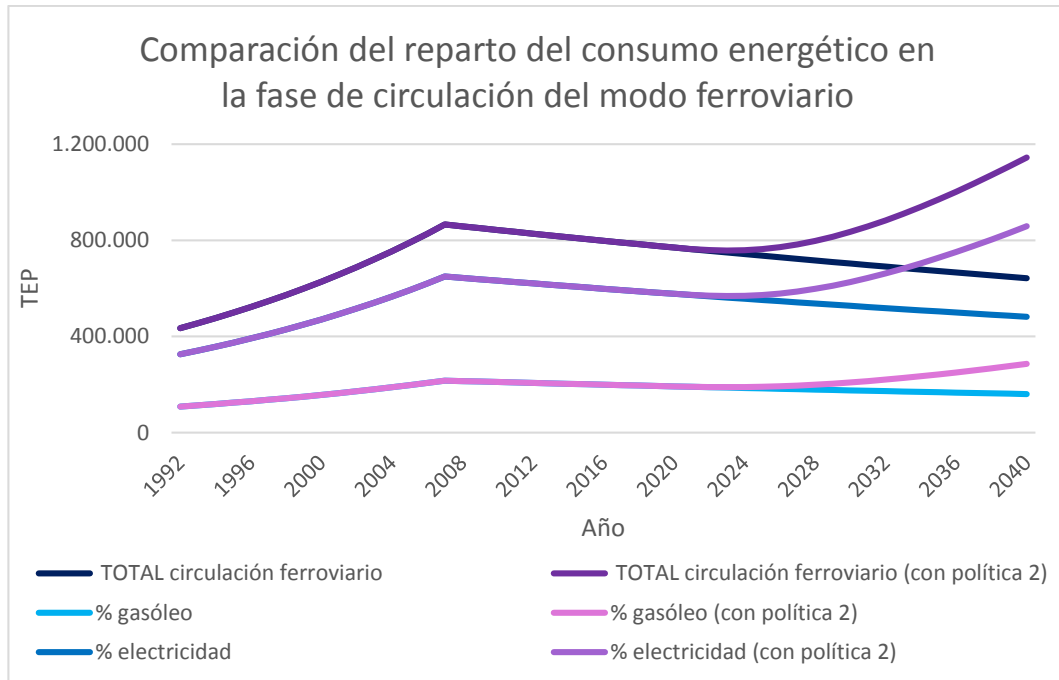
La siguiente gráfica muestra la distinción dentro de la fase de desplazamiento los consumos energéticos de los diferentes modos de transporte donde se puede observar cuál es el de mayor influencia, el modo viario.



Gráfica 7.5. Ejemplo del consumo energético en la fase de circulación.

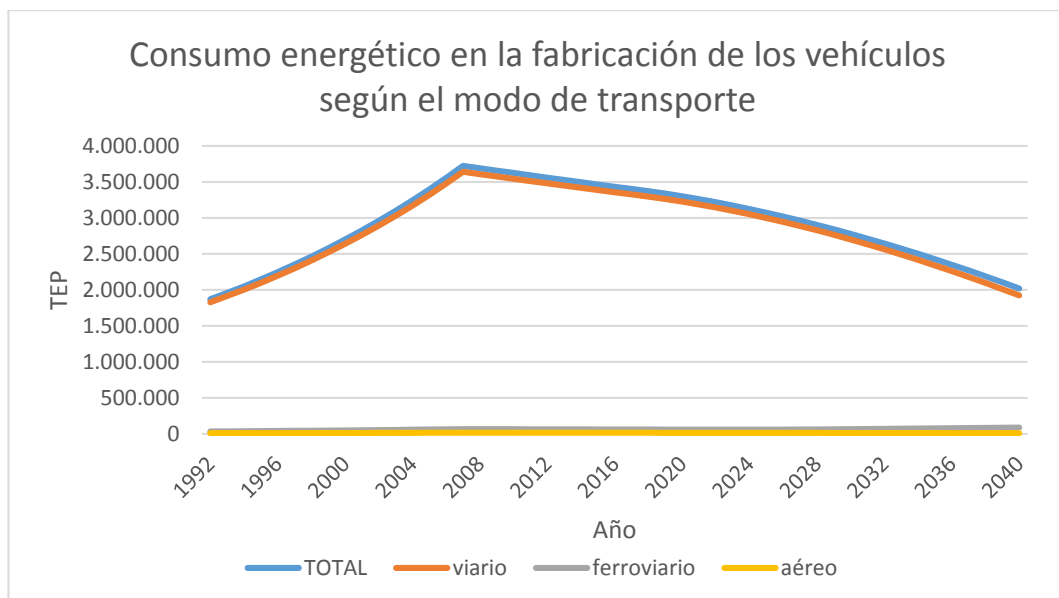
Sabiendo que la mayoría de la energía consumida en la fase de circulación se debe al modo viario, debe de actuarse principalmente en este modo de transporte aunque no es menos importante el resto de modos.

Otro aspecto importante a tener en cuenta es el porcentaje de toneladas equivalentes de petróleo del consumo energético de la fase de circulación del modo ferroviario que corresponde a electricidad. Aunque no es muy relevante respecto a la totalidad del consumo de energía en esta fase, conviene realizar un apunte sobre ello. La mayor parte de energía que consumen los trenes, metros y tranvías en esta fase son debidos a la electricidad, aproximadamente un 75% mientras que el 25% restante corresponde al gasóleo empleado para producir el movimiento de las máquinas. Este apunte se puede visualizar en la siguiente gráfica en la cual se han comparado esos consumos energéticos estableciendo una política de aumento del modo ferroviario.



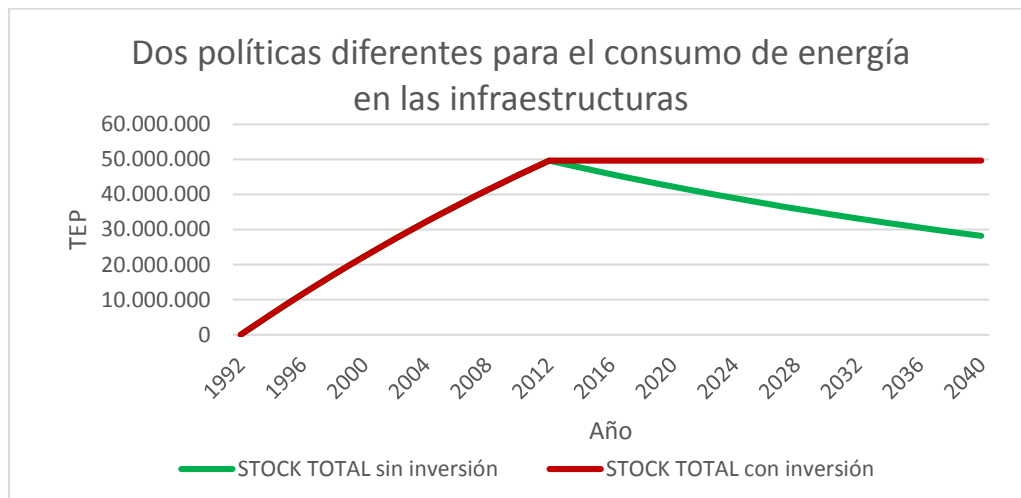
Gráfica 7.6. Reparto del consumo energético en el modo ferroviario dentro de la fase de circulación.

En cuanto a la fase de la fabricación y puesta en uso de los vehículos cabe destacar la influencia del modo viario. Como ejemplo se ha propuesto analizar este componente con las mismas características que el último escenario, el número 12, simplemente para observar esa gran diferencia:

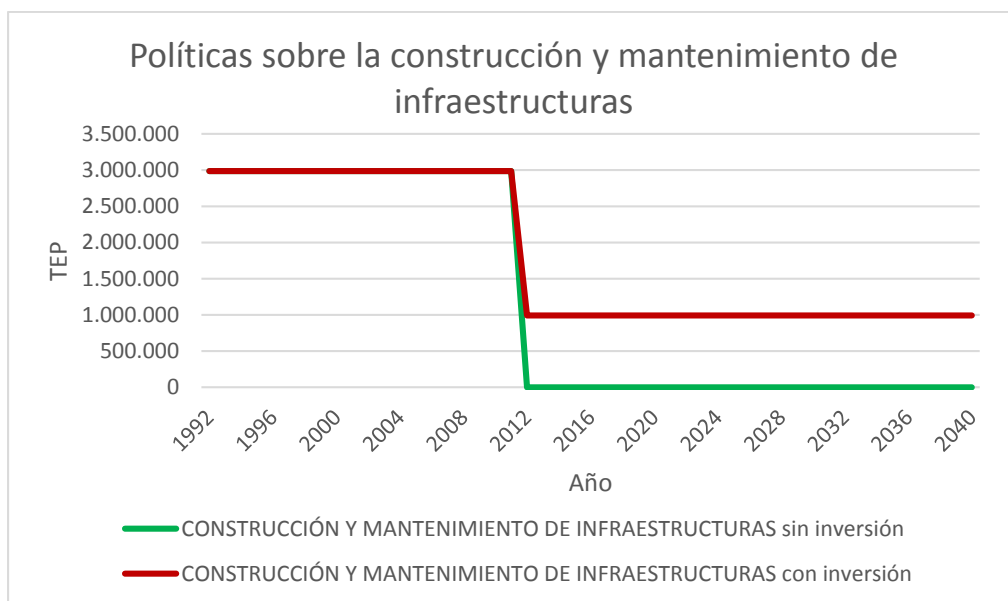


Gráfica 7.7. Consumo energético en la fase de fabricación y puesta en uso de los vehículos según el modo de transporte (Escenario 12).

En relación con la segunda fase del ciclo global del transporte se han impuesto dos políticas diferentes. La primera política impuesta en los escenarios es tajantemente la no inversión en infraestructuras (series verdes de las gráficas 7.8. y 7.9.). Esto significa que en los siguientes años a esa imposición, las infraestructuras continuarán deteriorándose sin pausa, sin posibilidad de mantenimiento y sin realizar nuevas construcciones. Por el contrario, si se mantienen las infraestructuras al mismo ritmo que se deterioran, el consumo de energía disminuirá pero se mantendrá estable en un valor dos terceras parte de lo que se invertía anteriormente (series rojas de las gráficas 7.8. y 7.9.).



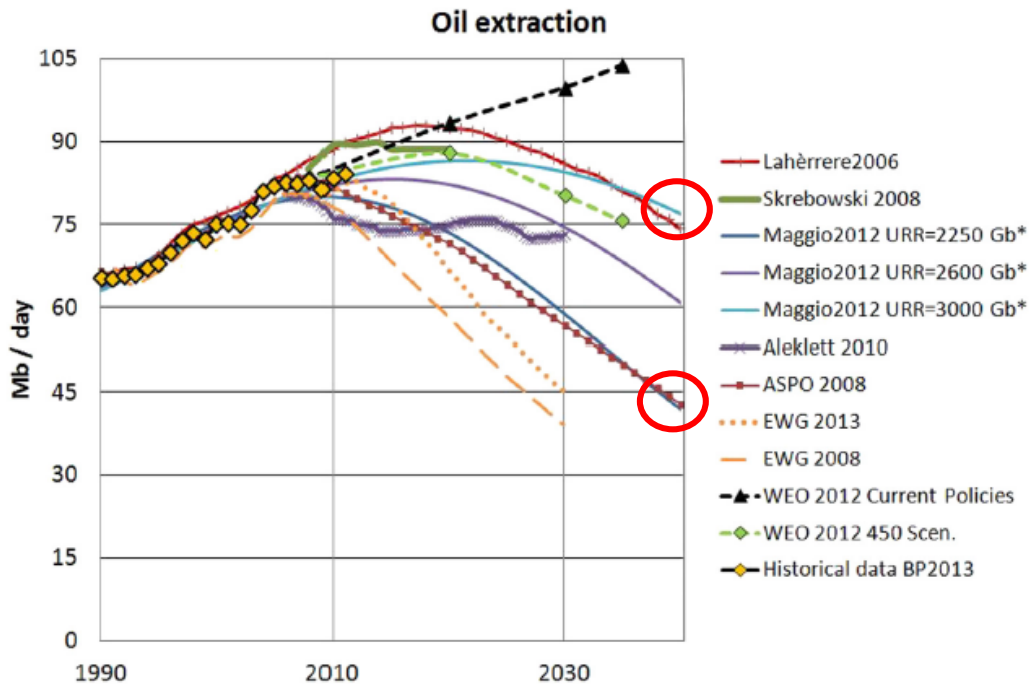
Gráfica 7.8. Comparación entre las dos políticas diferentes sobre la fase de construcción y mantenimiento de infraestructuras.



Gráfica 7.9. Comparación entre las dos políticas diferentes sobre la fase de construcción y mantenimiento de infraestructuras.



El análisis de este modelo en dinámica de sistemas en su conjunto permite hacer comparaciones con otra serie de estudios. Por ejemplo, esta ilustración muestra las estimaciones de extracción de petróleo que han realizado diferentes autores y se puede analizar entre qué intervalo de porcentajes se situará en 2040 la extracción mundial de petróleo. [12]



Gráfica 7.10. Estimaciones de extracción de petróleo de diferentes autores. Fuente: [12]

El valor más alto utilizando la curva de “Maggio2012 URR=3000Gb\*” y por lo tanto el porcentaje menor de disminución de extracción de petróleo para 2040 es aproximadamente:

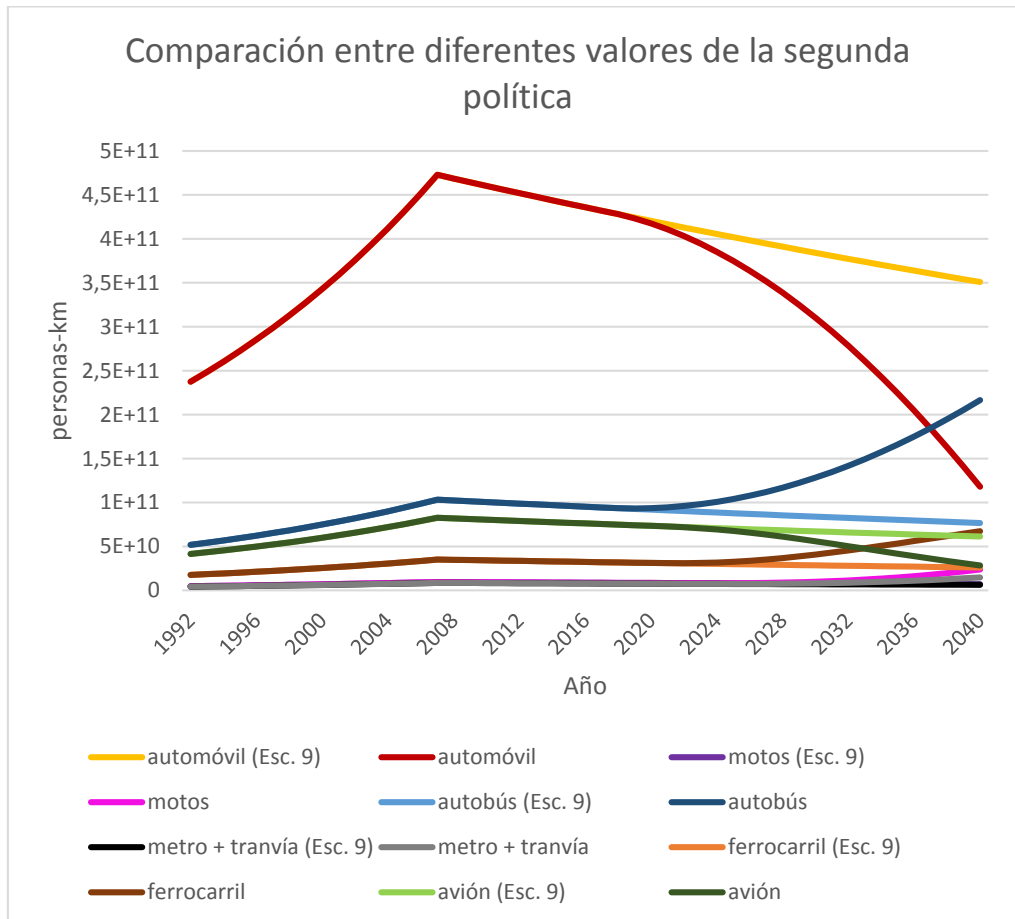
$$\% \text{ menor} = \frac{85 - 76}{85} \approx 10\%$$

Y el límite superior utilizando el menor valor de extracción de la curva más baja (“Maggio2012 URR=2250Gb\*”) será:

$$\% \text{ mayor} = \frac{85 - 44}{85} \approx 50\%$$

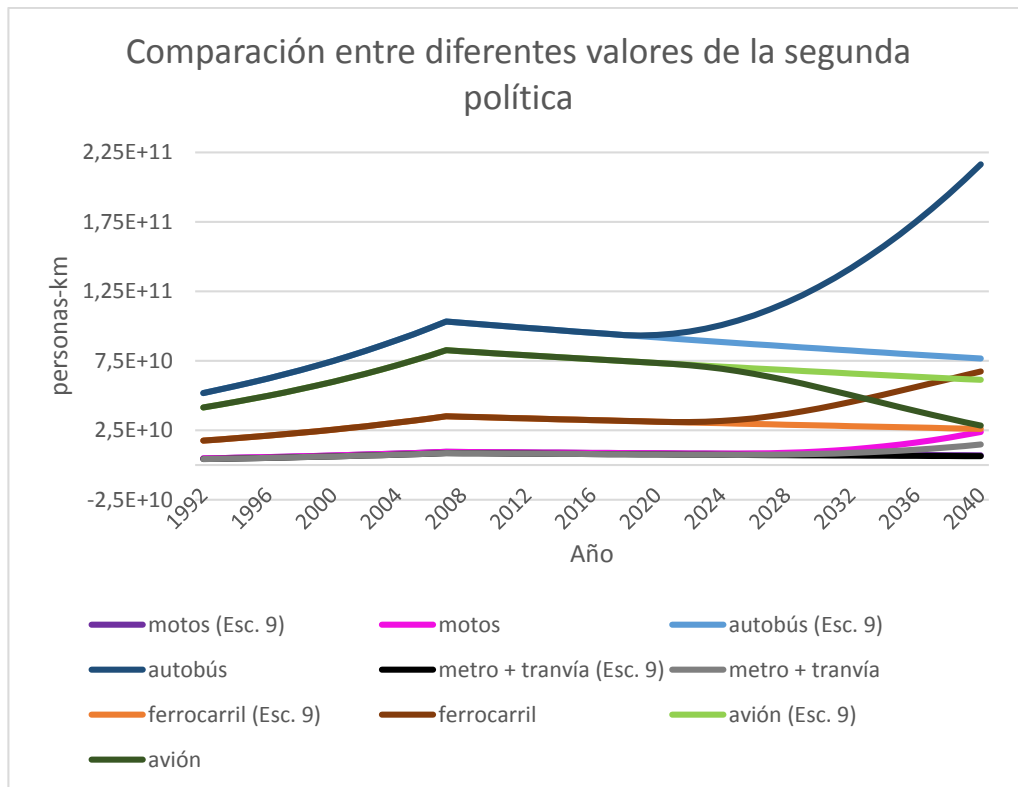
Por lo tanto, el intervalo de disminución de la extracción de petróleo para 2040 está entre un 10% y un 50%. De la misma forma, se puede estudiar con estos valores los resultados de las gráficas analizadas con el modelo realizado en Vensim. Para conseguir el valor de disminución de la extracción del petróleo hasta un 50% en 2040 se ha añadido otro escenario a mayores. En este escenario se compara la situación del Escenario 9 que solo se aplica la disminución total de desplazamientos sin aplicar una segunda política sobre la

reducción o aumento de ciertos medios de transporte ni una tercera sobre infraestructuras, con un escenario con casi las mismas características que el Escenario 12. En esta nueva alternativa se han aplicado las mismas políticas que en el Escenario 12 pero reduciendo los desplazamientos en turismo y avión con un valor el doble de lo que se había introducido en Vensim. Así se consigue aproximadamente ese 50% de reducción del consumo total de energía que se puede apreciar con un punto rojo en la Gráfica 7.13.

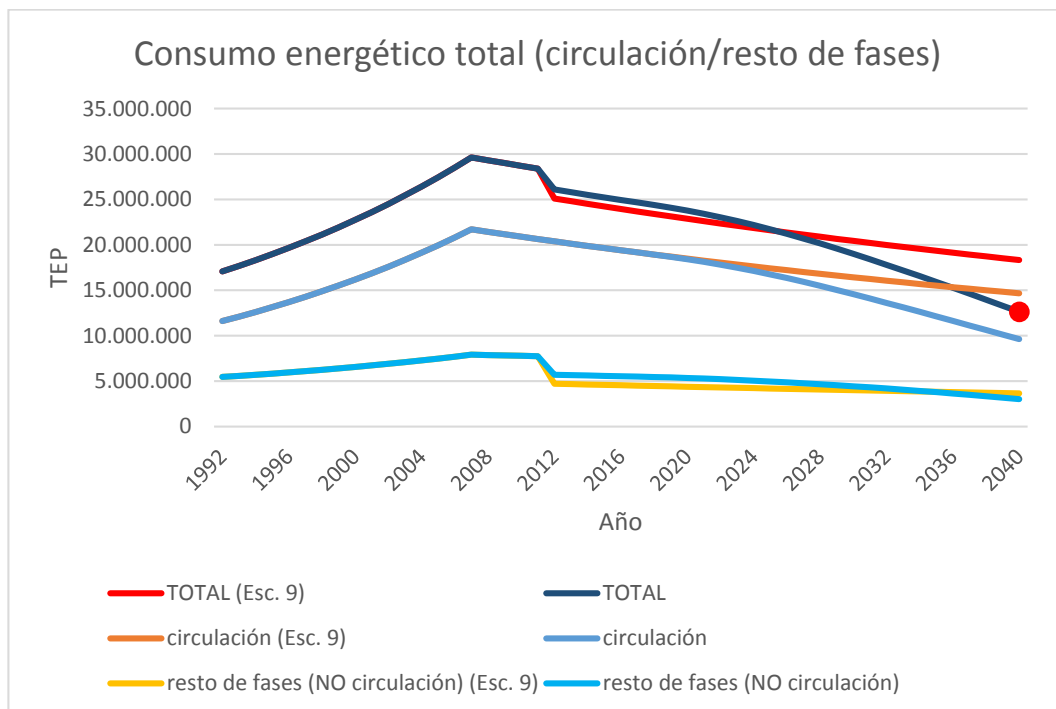


Gráfica 7.11. Gráfica comparativa entre los desplazamientos en los distintos medios de transporte del Escenario 9 y el nuevo escenario.

Los valores de los desplazamientos de los diferentes medios de transporte aumentan y disminuyen más rápidamente que en el Escenario 12 y hay una diferencia notable comparando el nuevo escenario con las gráficas del Escenario 9. Un ejemplo claro son los desplazamientos en coche donde en el nuevo escenario disminuyen un 70% respecto al Escenario 9 en 2040.



Gráfica 7.12. Detalle de la gráfica comparativa entre los desplazamientos en los distintos medios de transporte del Escenario 9 y el nuevo escenario.



Gráfica 7.13. Comparación entre los consumos de energía de la circulación y de la suma del resto de fases.

Para llegar a la situación del mayor valor de disminución de extracción de petróleo, se deben reducir los desplazamientos y aplicar políticas que insten a utilizar los transportes colectivos en vez del automóvil privado. El uso de medios no motorizados disminuiría el gran consumo de energía que se produce sobre todo en la fase intermedia de circulación. De esta forma se minoraría el ritmo de extracción de petróleo y como se ha mencionado anteriormente, dada la Gráfica 7.4. la sustitución del coche y el avión por los demás medios de transporte conllevaría una disminución del 20% del consumo de energía para el año 2040. Por lo tanto, si se quiere llegar a ese 50% de reducción de extracciones de petróleo, se deben de tomar medidas que apoyen al transporte colectivo e invertir en los medios de transporte que generan un menor consumo de energía intentando optimizar el funcionamiento de los vehículos mejorando su eficiencia como por ejemplo en los autobuses, motocicletas y metro.

El conjunto de todas las políticas aplicadas y medidas que se pueden tomar sirven para reducir el consumo energético en el transporte en el interior de España ya que es uno de los componentes que mayor consumo energético aporta al país.

En cuanto a la fase de construcción y mantenimiento de estructuras se debería de controlar su inversión ya que como es sabido, en España se han realizado infinidad de obras inservibles como por ejemplo aeropuertos que no se utilizan. Por lo tanto, el coste y la energía consumida en esos espacios que no van a ser aprovechados, pueden ser utilizados para el mantenimiento de infraestructuras que realmente lo necesiten. Se puede decir que si las altas cantidades de energía y de dinero no se distribuyen de manera correcta, su manejo inadecuado es un despilfarro que repercute en todos los ámbitos del país, sobre todo en el medioambiental y en el económico.

En este trabajo se han desarrollado unas tareas siempre en torno a los medios de transporte motorizados que son los que más consumo energético aportan a la totalidad en el país pero hay que tener en cuenta los no motorizados. La utilización de la bicicleta e ir a los sitios caminando supone un ahorro energético muy importante en las cuentas de la energía en el transporte, a parte de la infinidad de beneficios que no tienen que ver con el consumo de energía, como puede ser la realización de ejercicio físico.

Aunque se puede contabilizar un consumo energético por parte del uso de la bicicleta, no se ha tenido en cuenta por ser equivalente o mucho menor en consumos como en la fabricación o en el mantenimiento y reparación de piezas comparado con otros medios del modo viario. En el cómputo general el consumo de energía primaria asociado al uso de la bicicleta es muy pequeño por lo que su utilización en vez de otros medios de transporte siempre conllevará una reducción del consumo energético.



Otra gran apuesta para la reducción del consumo energético son los vehículos eléctricos. Estos conocimientos se están desarrollando actualmente y aunque los vehículos tienen una eficiencia energética muy alta, se necesita una gran inversión que dé un empuje al sector ya que esta tecnología todavía tiene un precio muy elevado.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES

*TFG: Diseño de un modelo de dinámica de sistemas para  
analizar las cuentas energéticas del transporte en España*

*Beatriz Benito Núñez*

---



8. CONCLUSIONES.....	121
----------------------	-----

## 8. CONCLUSIONES

En este proyecto se ha llegado a conclusiones específicas de las cuales se puede tomar nota y extrapolar las más importantes:

- Se han cumplido todos los **objetivos** que se han establecido al inicio de este proyecto.
- Se puede concluir observando las estadísticas proporcionadas por el INE (Instituto Nacional de Estadística) y la ONU (Organización de las Naciones Unidas) que la **población** en el país va a disminuir hasta cerca de los cuarenta millones de habitantes para el año 2040. Es por esto por lo que se deduce que los **desplazamientos** en el interior de España también van a disminuir en un futuro próximo.
- La disminución de un 30% de los **desplazamientos en automóvil privado** y su sustitución por el resto de medios de transporte terrestres como son las motos, los autobuses, el metro y el tren, conllevaría una disminución del consumo energético total de un 20% en el año 2040.
- Para conseguir la reducción del 20% en el consumo de energía total habría que añadir la reducción de un 25% de **desplazamientos en avión** para el año 2040. El transporte ferroviario sustituiría al transporte aéreo.
- Éste último valor se acentuaría más si únicamente se utilizara el transporte colectivo y se invirtiera en la **eficiencia** de los vehículos. En la fase de circulación una mayor eficiencia energética de los vehículos se traduciría en una disminución paulatina del consumo energético en esta fase intermedia del ciclo global del transporte ya que es la de mayor consumo energético.
- Para reducir aún más el consumo de energía en la fase de circulación, se debería apostar por los **desplazamientos en bicicleta o a pie**, ya que estos medios de transporte viarios no motorizados no consumen energía en esta fase.
- En cuanto a la fase de construcción y mantenimiento de **infraestructuras**, se debería estudiar una política nueva donde se realicen obras sin derrochar energía y dinero. Se ha podido comprobar en este proyecto que si únicamente se invierte energía en lo que se deteriora, el consumo en esta fase aproximadamente disminuye dos terceras partes de lo que se invertía. (Gráfica 5.14.9.)
- Se ha comparado el consumo energético total con otros estudios de **extracción de petróleo** en los que para el año 2040 habrá disminuido entre un 10% y 50%. Por lo tanto, si se quiere llegar a un 50% de disminución del consumo energético en España, habrá que aplicar **políticas más estrictas** sobre la reducción de los desplazamientos en



los medios de transporte que más contaminan, aumento de la eficiencia de los vehículos, etc.

En mi opinión la **dinámica de sistemas** es una herramienta muy potente con la que se pueden desarrollar estudios de cualquier ámbito, plantear escenarios y alternativas sobre un futuro próximo y llegar a conclusiones muy precisas partiendo de bases de datos e hipótesis. Este trabajo se ha realizado en torno a la reducción del consumo de energía. Disminuyendo el consumo energético en el transporte, se reducirán las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera y con ello se impedirá que se produzca el efecto invernadero, el cual precede al **cambio climático**.

Finalizado este proyecto se proponen varias líneas de mejora del modelo en dinámica de sistemas. El ejemplo más claro sería realizar escenarios sobre el transporte de mercancías ya que se ha iniciado su modelado, proponer fórmulas basadas en los datos extraídos de *Las cuentas ecológicas del transporte en España, Hacia la reconversión ecológica del transporte en España* y otros textos, y analizar los valores que proporciona la dinámica de sistemas para un futuro dentro de esos escenarios. Otra vía por la que se puede continuar este trabajo es realizar los modelos en Vensim del transporte exterior tanto de personas como de mercancías. De esta forma, estarían cubiertas todas las posibilidades del transporte en España y se podría llegar a conclusiones más precisas.

A lo largo de este proyecto se ha hablado solo de los medios motorizados, pero podrían tenerse en cuenta para posteriores trabajos los medios no motorizados, ya que son los que menos energía aportan a la totalidad del transporte en el país.

En este trabajo se han estudiado las cuentas del transporte desde la perspectiva de una sola esfera de valor: la esfera ambiental. Podría extrapolarse también a las esferas social y monetaria, las cuales darían una visión más general de la implicación del transporte en todos los ámbitos en el interior de España.

La ampliación de este proyecto la permite la dinámica de sistemas porque es una herramienta tan potente que admite el estudio de todos estos factores integrados en un solo modelo. Así se podría estudiar el ciclo global del transporte en todas sus fases, medios, modos y esferas de valor dentro del país a lo largo de los años y con perspectivas de futuro.





9. BIBLIOGRAFÍA.....125

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] IZQUIERDO, L. R.; GALÁN, J. M.; SANTOS, J. I.; DEL OLMO, R. (2008) Modelado de sistemas complejos mediante simulación basada en agentes y mediante dinámica de sistemas. Universidad de Burgos. *EMPIRIA. Revista de Metodología de Ciencias Sociales*. UNED. 2008. N° 16, julio-diciembre, pp. 85-112. ISSN: 1139-5737. Disponible en:  
<http://revistas.uned.es/index.php/empiria/article/view/1391>  
[http://www.luis.izqui.org/papers/Izquierdo\\_Galan\\_Santos\\_Olmo\\_2008.pdf](http://www.luis.izqui.org/papers/Izquierdo_Galan_Santos_Olmo_2008.pdf)
- [2] MIGUEL, L. J. *Dinámica de sistemas complejos*. Youtube: @audiovisualesuva. Universidad de Valladolid. 2013. Disponible en:  
[https://www.youtube.com/playlist?list=PLSbo9kXA\\_LcxMraWH-neSVM-Nh\\_i\\_W2Pj#sthash.HzqICmNT.dpuf](https://www.youtube.com/playlist?list=PLSbo9kXA_LcxMraWH-neSVM-Nh_i_W2Pj#sthash.HzqICmNT.dpuf)
- [3] U.S. DEPARTMENT OF ENERGY'S INTRODUCTION TO SYSTEM DYNAMICS. Disponible en:  
<http://www.systemdynamics.org/DL-IntroSysDyn/start.htm>
- [4] VENTANA SYSTEMS, INC. 2016. Vensim. Disponible en:  
<http://vensim.com/>
- [5] ESTEVAN, A.; SANZ, A. (1996) *Hacia la reconversión ecológica del transporte en España*. Los Libros de la Catarata. Disponible en:  
[http://www.gea21.com/\\_media/publicaciones/hacia\\_la\\_reconversion\\_ecologica\\_del\\_transporte\\_en\\_espana.pdf](http://www.gea21.com/_media/publicaciones/hacia_la_reconversion_ecologica_del_transporte_en_espana.pdf)
- [6] SANZ, A.; VEGA, P.; MATEOS, M. (2014) *Las cuentas ecológicas del transporte en España*. Ecologistas en Acción. Libros en Acción. Disponible en:  
[http://www.ecologistasenaccion.org/IMG/pdf/info\\_cuentas-ecologicas.pdf](http://www.ecologistasenaccion.org/IMG/pdf/info_cuentas-ecologicas.pdf)
- [7] MARTÍN, J. (2011) *Theory and Practical Exercises of System Dynamics*.
- [8] INE (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA) 2016. Madrid: INE. INEbase, Cifras de población y censos demográficos. Cifras de población y Proyecciones de población. Disponibles en:  
[http://www.ine.es/inebaseDYN/cp30321/cp\\_inicio.htm](http://www.ine.es/inebaseDYN/cp30321/cp_inicio.htm)  
[http://www.ine.es/inebaseDYN/propob30278/propob\\_inicio.htm](http://www.ine.es/inebaseDYN/propob30278/propob_inicio.htm)
- [9] ONU (ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS) / UN (UNITED NATIONS) 2015. Bases de datos. Documentos oficiales y bases de datos bibliográficas.



Development. Department of Economic and Social Affairs. Population Division. World Population Prospects 2015. Demographic Profiles and Probabilistic Projections. Disponibles en:

<https://esa.un.org/unpd/wpp/Graphs/DemographicProfiles/>

<https://esa.un.org/unpd/wpp/Graphs/Probabilistic/POP/TOT/>

[10] SANZ, A. et al. (2014) *Volumen II. Metodología de las Cuentas Ecológicas del Transporte*. Ecologistas en Acción. Libros en Acción. Disponible en:

[http://www.ecologistasenaccion.org/IMG/pdf/anexo\\_cuentas-ecologicas.pdf](http://www.ecologistasenaccion.org/IMG/pdf/anexo_cuentas-ecologicas.pdf)

[11] MEDIAVILLA, M. et al. (2013) *La transición hacia energías renovables: límites físicos y temporales*. Disponible en:

[http://www.eis.uva.es/energiasostenible/wp-content/uploads/2012/02/modelo\\_marco\\_es5\\_alblog.pdf](http://www.eis.uva.es/energiasostenible/wp-content/uploads/2012/02/modelo_marco_es5_alblog.pdf)

[12] CAPELLÁN-PÉREZ, I. et al. *Fossil fuel depletion and socio-economic scenarios: An integrated approach*. Energy, vol. 77 dec. 2014, pp 641-666. Elsevier Ltd. Disponible en:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2014.09.063>





## ANEXOS

I. Población.....	131
I.I. Población en España.....	131
I.II. Proyección de población en España.....	136
I.III. Datos de población de la ONU.....	141
II. Tablas de datos.....	145
II.I. Tablas de datos del libro “Hacia la reconversión ecológica del transporte en España” .....	145
II.II. Tablas de datos de las “Cuentas Ecológicas del Transporte en España” .....	148





## I. Población

El primer anexo muestra los datos de población de dos fuentes distintas, en primer lugar el Instituto Nacional de Estadística y en segundo lugar la Organización de las Naciones Unidas.

### I.I. Población en España

A partir de datos del INE (Instituto Nacional de Estadística) se ha podido obtener una tendencia de la población en España y en este primer anexo se muestran las tablas y gráficas utilizadas para extraer los valores y aplicarlos en Vensim.



Figura I.I.I. Logotipo del INE.  
Fuente: INE [8]

Las tablas que contienen un formato condicional en Excel han sido copiadas en Word como una imagen para conservar ese formato y poder observar los valores estables, el aumento y disminución de población.

Introduciendo en la página web [8] los parámetros que interesan como es la población total desde 1992 hasta 2015, el INE proporciona una tabla como la siguiente:

<b>Principales series desde 1971</b>	
<b>Resultados Nacionales</b>	
<b>Población residente por fecha</b>	
<b>Unidades: Personas</b>	
	<b>Total</b>
<b>1 de enero de 1992</b>	39.051.336
<b>1 de julio de 1992</b>	39.147.940
<b>1 de enero de 1993</b>	39.264.034
<b>1 de julio de 1993</b>	39.356.082
<b>1 de enero de 1994</b>	39.458.489
<b>1 de julio de 1994</b>	39.547.353
<b>1 de enero de 1995</b>	39.639.726
<b>1 de julio de 1995</b>	39.718.895
<b>1 de enero de 1996</b>	39.808.374

<b>1 de julio de 1996</b>	39.884.246
<b>1 de enero de 1997</b>	39.971.329
<b>1 de julio de 1997</b>	40.049.974
<b>1 de enero de 1998</b>	40.143.449
<b>1 de julio de 1998</b>	40.214.066
<b>1 de enero de 1999</b>	40.303.568
<b>1 de julio de 1999</b>	40.369.667
<b>1 de enero de 2000</b>	40.470.182
<b>1 de julio de 2000</b>	40.554.387
<b>1 de enero de 2001</b>	40.665.545
<b>1 de julio de 2001</b>	40.766.049
<b>1 de enero de 2002</b>	41.035.271
<b>1 de julio de 2002</b>	41.423.520
<b>1 de enero de 2003</b>	41.827.836
<b>1 de julio de 2003</b>	42.196.231
<b>1 de enero de 2004</b>	42.547.454
<b>1 de julio de 2004</b>	42.859.172
<b>1 de enero de 2005</b>	43.296.335
<b>1 de julio de 2005</b>	43.662.613
<b>1 de enero de 2006</b>	44.009.969
<b>1 de julio de 2006</b>	44.360.521
<b>1 de enero de 2007</b>	44.784.659
<b>1 de julio de 2007</b>	45.236.004
<b>1 de enero de 2008</b>	45.668.938
<b>1 de julio de 2008</b>	45.983.169
<b>1 de enero de 2009</b>	46.239.271
<b>1 de julio de 2009</b>	46.367.550
<b>1 de enero de 2010</b>	46.486.621
<b>1 de julio de 2010</b>	46.562.483
<b>1 de enero de 2011</b>	46.667.175
<b>1 de julio de 2011</b>	46.736.257
<b>1 de enero de 2012</b>	46.818.216
<b>1 de julio de 2012</b>	46.766.403
<b>1 de enero de 2013</b>	46.727.890
<b>1 de julio de 2013</b>	46.593.236
<b>1 de enero de 2014</b>	46.512.199

<b>1 de julio de 2014</b>	46.455.123
<b>1 de enero de 2015</b>	46.449.565
<b>1 de julio de 2015</b>	46.423.064

Tabla I.I.I. Datos de población en España proporcionados por el INE. Fuente: INE [8]

A partir de estos datos, se ha calculado la variación de población cada seis meses en tanto por ciento y en tanto por uno para poder introducirlo en el modelo de Vensim.

<b>Principales series desde 1971</b>				
<b>Resultados Nacionales</b>				
<b>Población residente por fecha</b>				
<b>Unidades: Personas</b>				
		<b>Variación</b>		
		<b>Total</b>	<b>%</b>	<b>tanto por uno</b>
<b>1992</b>	<b>1 de enero de 1992</b>	39.051.336	▲ 0,00	▲ 0,0000
	<b>1 de julio de 1992</b>	39.147.940	■ 0,25	■ 0,0025
<b>1993</b>	<b>1 de enero de 1993</b>	39.264.034	■ 0,30	■ 0,0030
	<b>1 de julio de 1993</b>	39.356.082	■ 0,23	■ 0,0023
<b>1994</b>	<b>1 de enero de 1994</b>	39.458.489	■ 0,26	■ 0,0026
	<b>1 de julio de 1994</b>	39.547.353	■ 0,22	■ 0,0022
<b>1995</b>	<b>1 de enero de 1995</b>	39.639.726	■ 0,23	■ 0,0023
	<b>1 de julio de 1995</b>	39.718.895	■ 0,20	■ 0,0020
<b>1996</b>	<b>1 de enero de 1996</b>	39.808.374	■ 0,22	■ 0,0022
	<b>1 de julio de 1996</b>	39.884.246	■ 0,19	■ 0,0019
<b>1997</b>	<b>1 de enero de 1997</b>	39.971.329	■ 0,22	■ 0,0022
	<b>1 de julio de 1997</b>	40.049.974	■ 0,20	■ 0,0020
<b>1998</b>	<b>1 de enero de 1998</b>	40.143.449	■ 0,23	■ 0,0023
	<b>1 de julio de 1998</b>	40.214.066	■ 0,18	■ 0,0018
<b>1999</b>	<b>1 de enero de 1999</b>	40.303.568	■ 0,22	■ 0,0022
	<b>1 de julio de 1999</b>	40.369.667	■ 0,16	■ 0,0016
<b>2000</b>	<b>1 de enero de 2000</b>	40.470.182	■ 0,25	■ 0,0025
	<b>1 de julio de 2000</b>	40.554.387	■ 0,21	■ 0,0021
<b>2001</b>	<b>1 de enero de 2001</b>	40.665.545	■ 0,27	■ 0,0027
	<b>1 de julio de 2001</b>	40.766.049	■ 0,25	■ 0,0025
<b>2002</b>	<b>1 de enero de 2002</b>	41.035.271	▲ 0,66	▲ 0,0066
	<b>1 de julio de 2002</b>	41.423.520	▲ 0,94	▲ 0,0094

2003	1 de enero de 2003	41.827.836	▲	0,97	▲	0,0097
	1 de julio de 2003	42.196.231	▲	0,87	▲	0,0087
2004	1 de enero de 2004	42.547.454	▲	0,83	▲	0,0083
	1 de julio de 2004	42.859.172	▲	0,73	▲	0,0073
2005	1 de enero de 2005	43.296.335	▲	1,01	▲	0,0101
	1 de julio de 2005	43.662.613	▲	0,84	▲	0,0084
2006	1 de enero de 2006	44.009.969	▲	0,79	▲	0,0079
	1 de julio de 2006	44.360.521	▲	0,79	▲	0,0079
2007	1 de enero de 2007	44.784.659	▲	0,95	▲	0,0095
	1 de julio de 2007	45.236.004	▲	1,00	▲	0,0100
2008	1 de enero de 2008	45.668.938	▲	0,95	▲	0,0095
	1 de julio de 2008	45.983.169	▲	0,68	▲	0,0068
2009	1 de enero de 2009	46.239.271	▬	0,55	▬	0,0055
	1 de julio de 2009	46.367.550	▬	0,28	▬	0,0028
2010	1 de enero de 2010	46.486.621	▬	0,26	▬	0,0026
	1 de julio de 2010	46.562.483	▬	0,16	▬	0,0016
2011	1 de enero de 2011	46.667.175	▬	0,22	▬	0,0022
	1 de julio de 2011	46.736.257	▬	0,15	▬	0,0015
2012	1 de enero de 2012	46.818.216	▬	0,18	▬	0,0018
	1 de julio de 2012	46.766.403	▼	-0,11	▼	-0,0011
2013	1 de enero de 2013	46.727.890	▼	-0,08	▼	-0,0008
	1 de julio de 2013	46.593.236	▼	-0,29	▼	-0,0029
2014	1 de enero de 2014	46.512.199	▼	-0,17	▼	-0,0017
	1 de julio de 2014	46.455.123	▼	-0,12	▼	-0,0012
2015	1 de enero de 2015	46.449.565	▼	-0,01	▼	-0,0001
	1 de julio de 2015	46.423.064	▼	-0,06	▼	-0,0006

Tabla I.I.II. Datos de población en España proporcionados por el INE y cálculos posteriores de la variación de población cada seis meses en tanto por ciento y tanto por uno.

Habiendo introducido un formato condicional en la tabla en Microsoft Excel se observan, en comparación con el resto de datos, una tendencia a estabilizarse la población, a aumentar y a disminuir siendo valores negativos de variación desde 2012 en adelante.

A continuación se muestra el promedio de la variación entre los valores medios y estables, valores altos y los valores más bajos o negativos, para darnos una idea de en qué periodos de tiempo la población más o menos estaba estancada, aumentaba o disminuía.

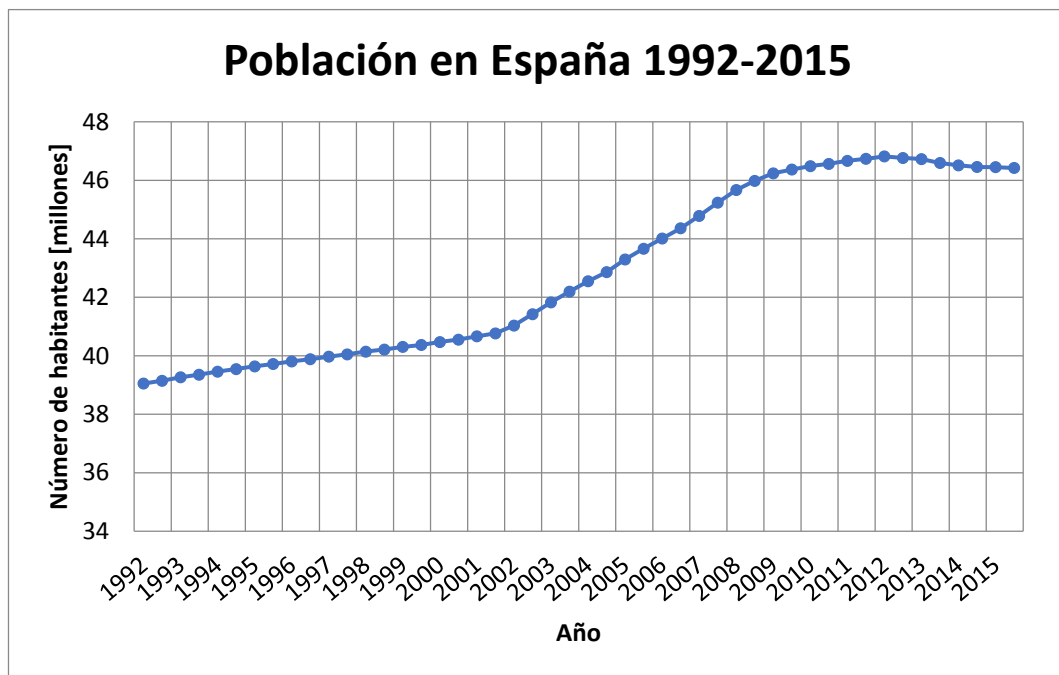
Promedio variación		
años	%	tanto por uno
1992 - 2001	0,21	0,0021
2002 - 2008	0,86	0,0086
2009 - 2012	0,26	0,0026
2013 - 2015	-0,12	-0,0012

Tabla I.I.III. Promedio de la variación entre etapas cuyo formato condicional nos muestra un aumento, disminución o estabilidad de la población.

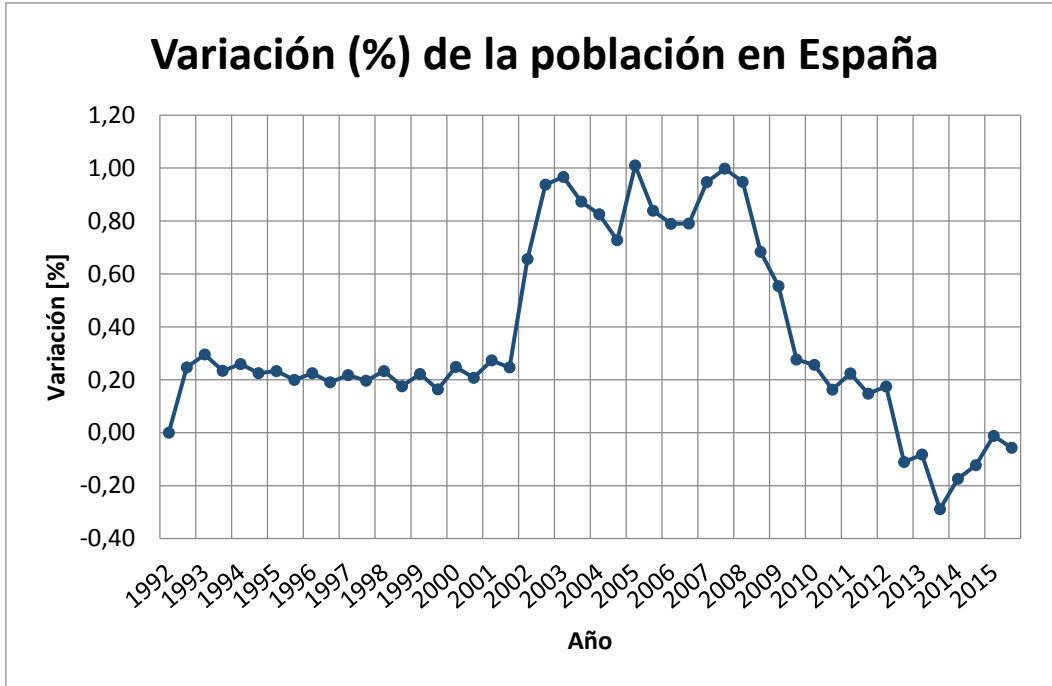
Promedio variación (1992 - 2007 - 2012)		
años	%	tanto por uno
1992 - 2007	0,47	0,0047
2008 - 2012	0,33	0,0033
2013 - 2015	-0,12	-0,0012

Tabla I.I.IV. Promedio de la variación entre las etapas consideradas en el modelo en Vensim (1992 - 2007 - 2012) cuyo formato condicional nos muestra un aumento, disminución o estabilidad de la población.

Para poder interpretar estas tablas se ha elaborado una gráfica con los valores de población en este periodo de tiempo, desde 1992 hasta 2015.



Gráfica I.I.I. Población en España entre los años 1992 y 2015.



Gráfica I.I.II. Variación porcentual cada seis meses de la población en España entre los años 1992 y 2015.

## I.II. Proyección de población en España

El INE también proporciona la proyección de la población en España en los próximos cincuenta años. Tal proyección de futuro ha interesado para proyectar en Vensim escenarios acordes a las estadísticas.

Introduciendo los parámetros en la página web [8] que interesan como es la población total desde 2014 hasta mínimo el año 2040 el INE proporciona una tabla como la siguiente:

Proyecciones de población 2014-2064	
Resultados nacionales	
Población residente en España a 1 de enero por año	
Unidades: personas	
	<b>Total</b>
<b>2014</b>	46.507.760
<b>2015</b>	46.436.797
<b>2016</b>	46.369.238
<b>2017</b>	46.303.332



<b>2018</b>	46.237.861
<b>2019</b>	46.171.990
<b>2020</b>	46.105.324
<b>2021</b>	46.037.605
<b>2022</b>	45.968.939
<b>2023</b>	45.899.538
<b>2024</b>	45.829.722
<b>2025</b>	45.759.849
<b>2026</b>	45.690.270
<b>2027</b>	45.621.112
<b>2028</b>	45.552.651
<b>2029</b>	45.484.908
<b>2030</b>	45.417.952
<b>2031</b>	45.351.545
<b>2032</b>	45.285.731
<b>2033</b>	45.220.223
<b>2034</b>	45.154.897
<b>2035</b>	45.089.535
<b>2036</b>	45.023.919
<b>2037</b>	44.957.588
<b>2038</b>	44.890.595
<b>2039</b>	44.822.879
<b>2040</b>	44.753.998
<b>2041</b>	44.680.774
<b>2042</b>	44.604.273
<b>2043</b>	44.522.953
<b>2044</b>	44.434.981
<b>2045</b>	44.339.781
<b>2046</b>	44.236.323
<b>2047</b>	44.124.688
<b>2048</b>	44.003.876
<b>2049</b>	43.872.621
<b>2050</b>	43.731.748
<b>2051</b>	43.581.814
<b>2052</b>	43.422.545
<b>2053</b>	43.253.390

2054	43.075.084
2055	42.888.408
2056	42.693.309
2057	42.490.217
2058	42.278.813
2059	42.059.994
2060	41.834.615
2061	41.603.330
2062	41.367.513
2063	41.127.636
2064	40.883.832

Tabla I.II.I. Datos de la proyección de la población en España proporcionados por el INE.

Fuente: INE [8]

A partir de estos datos, se ha calculado la variación de población cada seis meses en tanto por ciento y en tanto por uno para poder introducirlo en el modelo de Vensim.

Proyecciones de población 2014-2064				
Resultados nacionales				
Población residente en España a 1 de enero por año				
Unidades: personas				
	Total	Variación		
			%	tanto por uno
2014	46.507.760	▲	0,00	▲ 0,0000
2015	46.436.797	▲	-0,15	▲ -0,0015
2016	46.369.238	▲	-0,15	▲ -0,0015
2017	46.303.332	▲	-0,14	▲ -0,0014
2018	46.237.861	▲	-0,14	▲ -0,0014
2019	46.171.990	▲	-0,14	▲ -0,0014
2020	46.105.324	▲	-0,14	▲ -0,0014
2021	46.037.605	▲	-0,15	▲ -0,0015
2022	45.968.939	▲	-0,15	▲ -0,0015
2023	45.899.538	▲	-0,15	▲ -0,0015
2024	45.829.722	▲	-0,15	▲ -0,0015





2025	45.759.849	▲	-0,15	▲	-0,0015
2026	45.690.270	▲	-0,15	▲	-0,0015
2027	45.621.112	▲	-0,15	▲	-0,0015
2028	45.552.651	▲	-0,15	▲	-0,0015
2029	45.484.908	▲	-0,15	▲	-0,0015
2030	45.417.952	▲	-0,15	▲	-0,0015
2031	45.351.545	▲	-0,15	▲	-0,0015
2032	45.285.731	▲	-0,15	▲	-0,0015
2033	45.220.223	▲	-0,14	▲	-0,0014
2034	45.154.897	▲	-0,14	▲	-0,0014
2035	45.089.535	▲	-0,14	▲	-0,0014
2036	45.023.919	▲	-0,15	▲	-0,0015
2037	44.957.588	▲	-0,15	▲	-0,0015
2038	44.890.595	▲	-0,15	▲	-0,0015
2039	44.822.879	▲	-0,15	▲	-0,0015
2040	44.753.998	▲	-0,15	▲	-0,0015
2041	44.680.774	▲	-0,16	▲	-0,0016
2042	44.604.273	▲	-0,17	▲	-0,0017
2043	44.522.953	▲	-0,18	▲	-0,0018
2044	44.434.981	▬	-0,20	▬	-0,0020
2045	44.339.781	▬	-0,21	▬	-0,0021
2046	44.236.323	▬	-0,23	▬	-0,0023
2047	44.124.688	▬	-0,25	▬	-0,0025
2048	44.003.876	▬	-0,27	▬	-0,0027
2049	43.872.621	▬	-0,30	▬	-0,0030
2050	43.731.748	▬	-0,32	▬	-0,0032
2051	43.581.814	▬	-0,34	▬	-0,0034
2052	43.422.545	▬	-0,37	▬	-0,0037
2053	43.253.390	▬	-0,39	▬	-0,0039
2054	43.075.084	▾	-0,41	▾	-0,0041
2055	42.888.408	▾	-0,44	▾	-0,0044
2056	42.693.309	▾	-0,46	▾	-0,0046
2057	42.490.217	▾	-0,48	▾	-0,0048
2058	42.278.813	▾	-0,50	▾	-0,0050
2059	42.059.994	▾	-0,52	▾	-0,0052
2060	41.834.615	▾	-0,54	▾	-0,0054
2061	41.603.330	▾	-0,56	▾	-0,0056

<b>2062</b>	41.367.513	▼ -0,57	▼ -0,0057
<b>2063</b>	41.127.636	▼ -0,58	▼ -0,0058
<b>2064</b>	40.883.832	▼ -0,60	▼ -0,0060

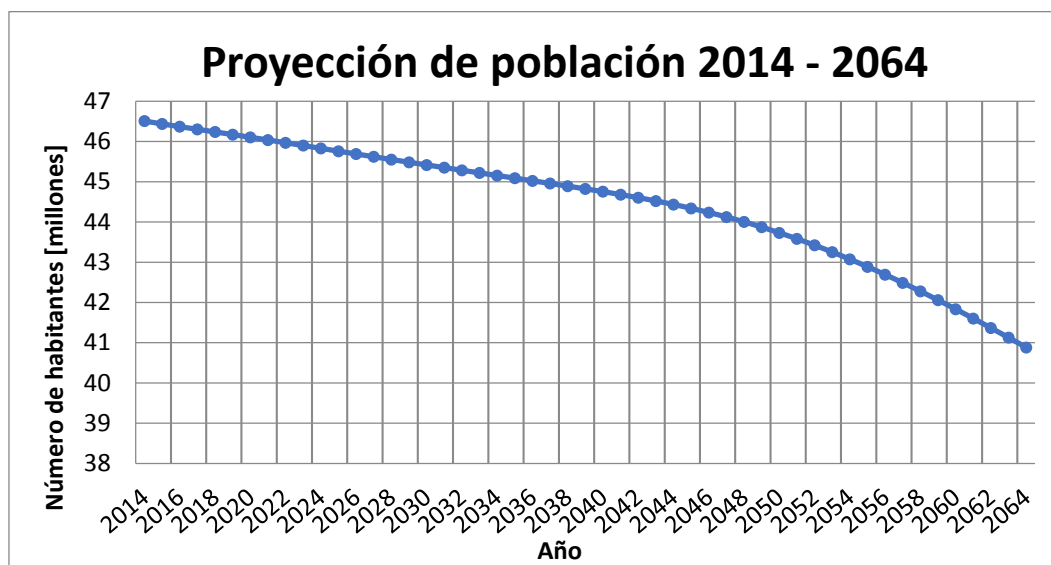
Tabla I.II.II. Datos de población en España proporcionados por el INE y cálculos posteriores de la variación de población cada seis meses en tanto por ciento y tanto por uno.

Habiendo introducido un formato condicional en la tabla en Microsoft Excel se observan, en comparación con el resto de datos, una tendencia de la población a disminuir siendo valores negativos de variación desde 2014 en adelante. A continuación se muestra el promedio de la variación entre los valores medios y estables, valores altos y los valores más bajos o negativos, para darnos una idea de en qué periodos de tiempo la población disminuiría en mayor o menor grado.

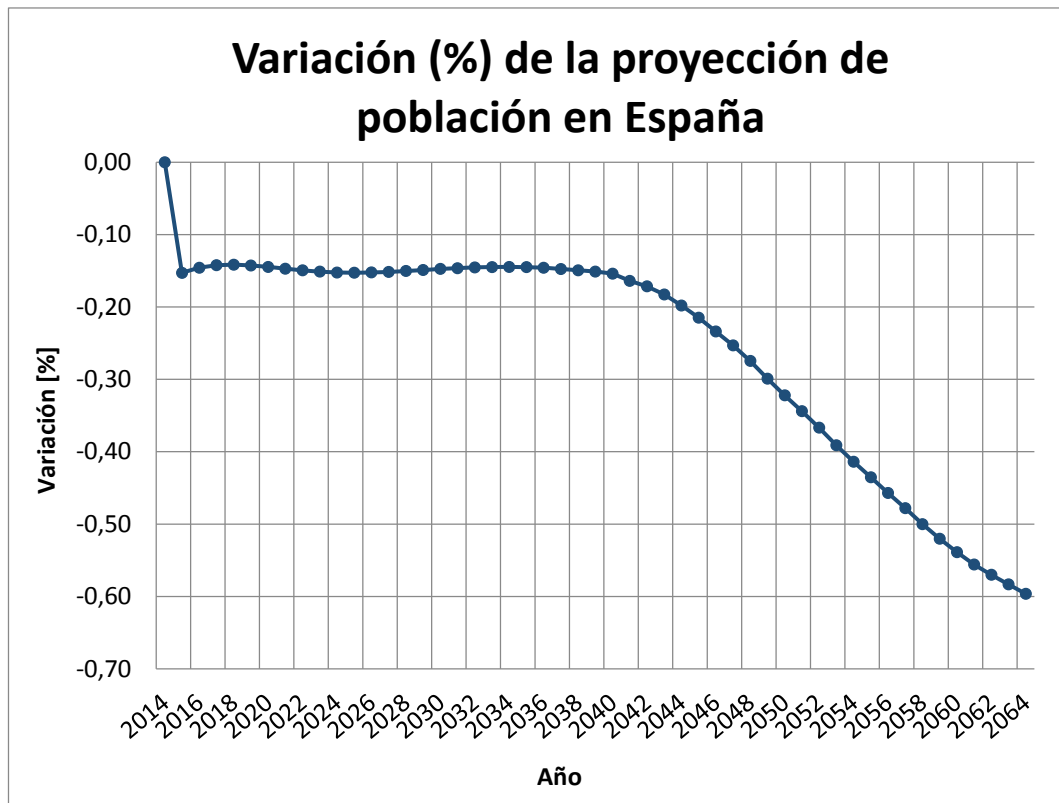
Promedio variación		
años	%	tanto por uno
2014 - 2043	▲ -0,15	▲ -0,0015
2044 - 2053	▬ -0,29	▬ -0,0029
2054 - 2064	▼ -0,51	▼ -0,0051

Tabla I.II.III. Promedio de la variación entre etapas cuyo formato condicional nos muestra un aumento, disminución o estabilidad de la población.

Para poder interpretar estas tablas se ha elaborado una gráfica con los valores de población en este periodo de tiempo, desde 2014 hasta 2064.



Gráfica I.II.I. Población en España entre los años 1992 y 2015.



Gráfica I.II.II. Variación porcentual cada seis meses de la población en España entre los años 2014 y 2064.

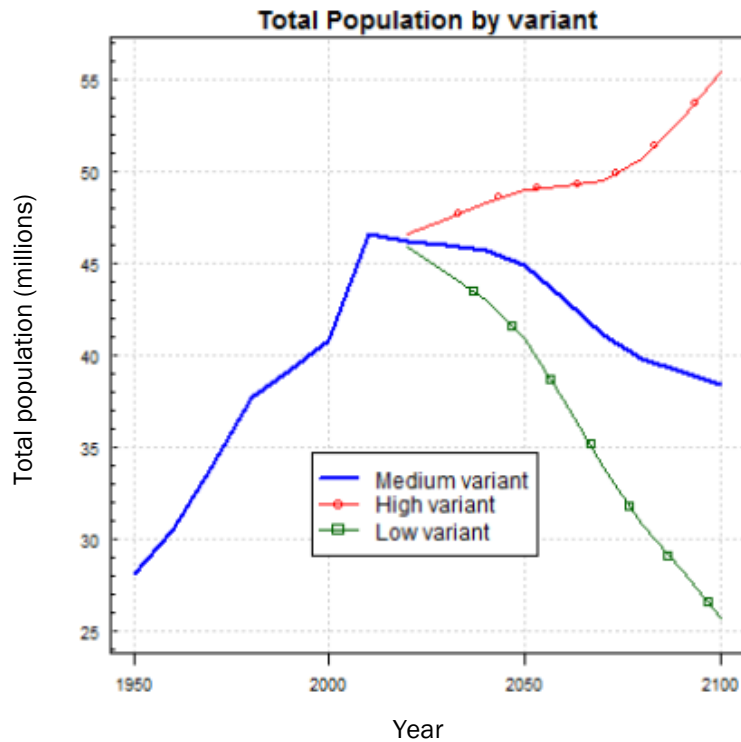
### I.III. Datos de población de la ONU

La Organización de las Naciones Unidas también proporciona unas gráficas sobre la población en los países e igualmente da una visión de futuro con proyecciones de población.

La página web de la ONU permite observar perfiles demográficos con gráficas y también pirámides de población. Los valores que se encuentran entre los años 1950 y 2015 son estimados y los datos desde el año 2015 hasta el 2100 son predicciones.

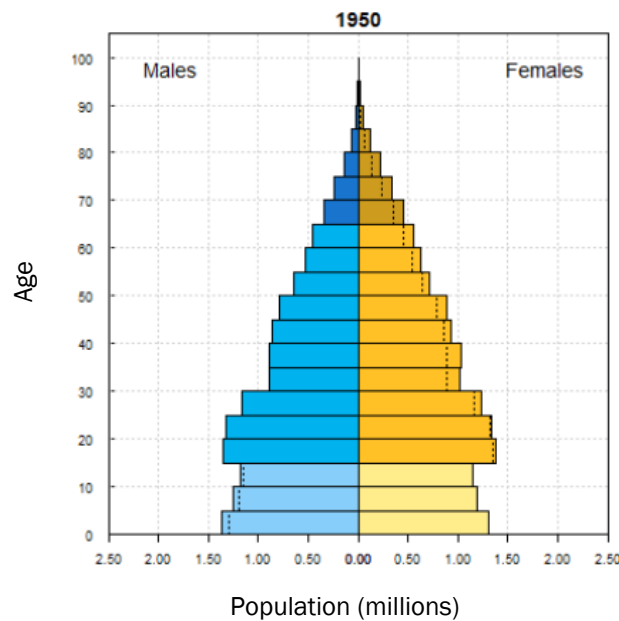


Figura I.III.I. Bandera de las Naciones Unidas. Fuente: ONU [9]

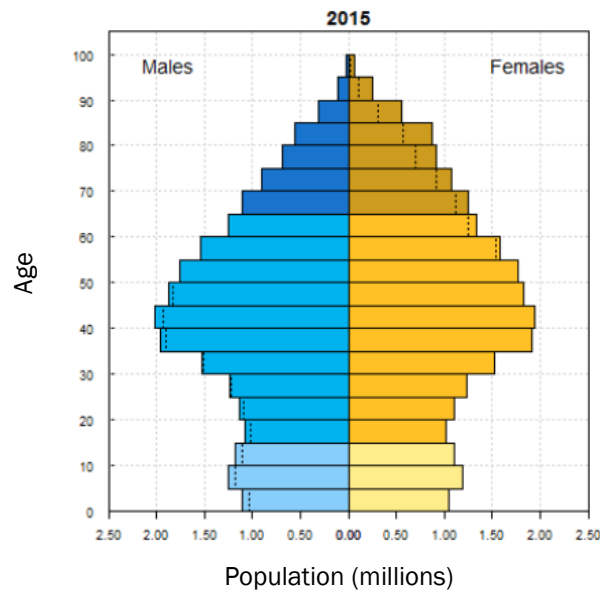


Gráfica I.III.I. Población total en España y predicción de futuro hasta 2100 según la ONU.  
Fuente: ONU [9]

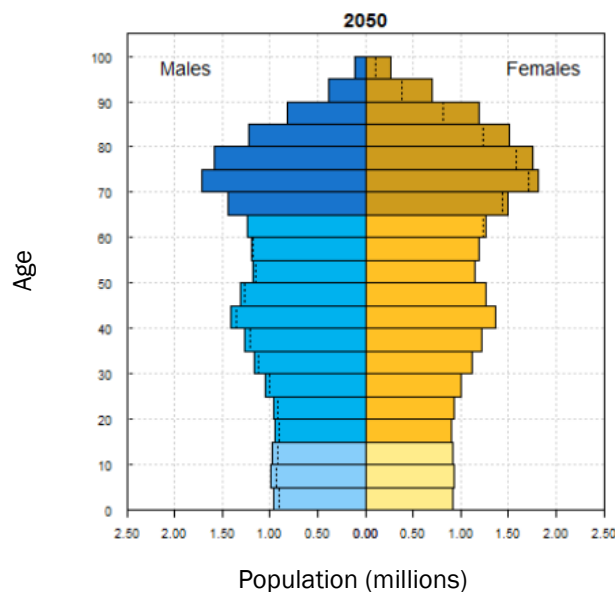
A continuación se muestran unos ejemplos de las pirámides de población realizadas por la ONU. La línea de puntos indica el exceso de población de hombres o mujeres en los diferentes grupos de edad.



Gráfica I.III.II. Pirámide de población en el año 1950. Fuente: ONU [9]



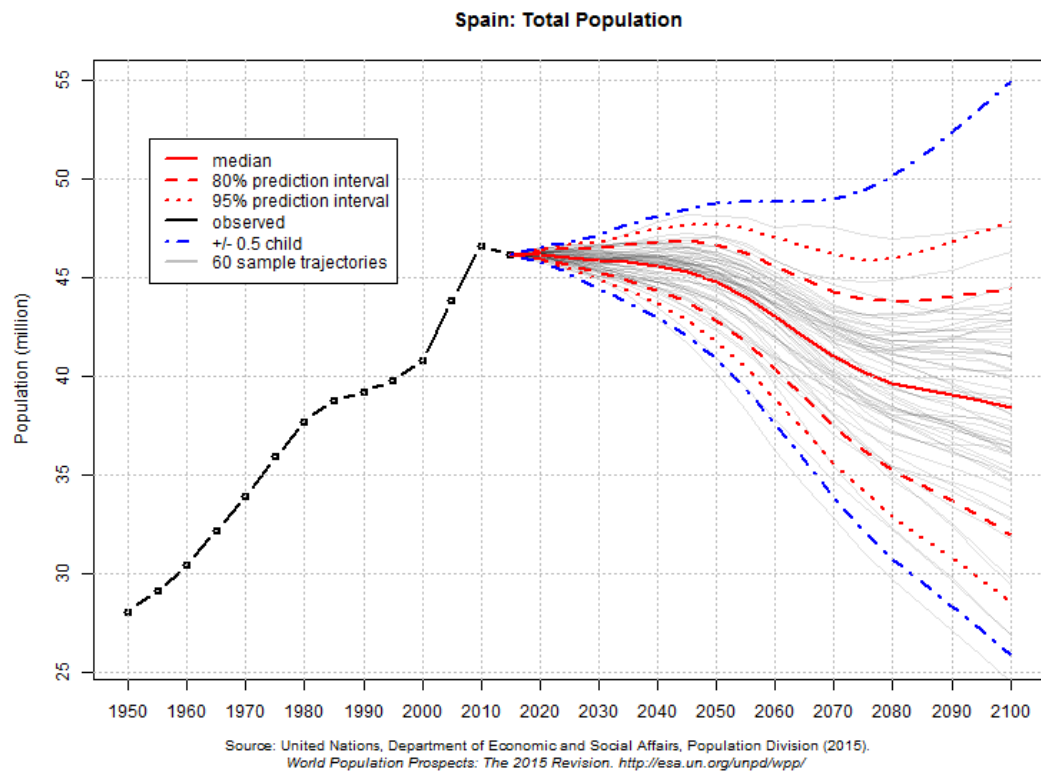
Gráfica I.III.III. Pirámide de población en el año 2015. Fuente: ONU [9]



Gráfica I.III.IV. Pirámide de población en el año 2050. Fuente: ONU [9]

La siguiente y última gráfica muestra estimaciones y proyecciones probabilísticas de la población total en España. La proyección de población se basa en las proyecciones probabilísticas de la fertilidad total y la esperanza de vida al nacer, basado en estimaciones de la Revisión 2015 de la Perspectiva Mundial de Población. Estas proyecciones probabilísticas de la fertilidad y la esperanza de vida al nacer se llevaron a cabo con un modelo jerárquico bayesiano. Las figuras demuestran la mediana probabilística y los intervalos de predicción de las proyecciones probabilísticas de población del

80% y 95%, como también el límite superior e inferior de la Revisión 2015 de la Perspectiva Mundial de Población. [9]



Gráfica I.III.V. Población total de España desde 1950 hasta hoy y proyección hasta 2100.  
Fuente: ONU [9]

## II. Tablas de datos

En este segundo anexo se recogen todas las tablas de datos utilizadas durante el proyecto, las cuales pertenecen a los dos principales libros consultados para la realización del trabajo.

### II.I. Tablas de datos del libro “Hacia la reconversión ecológica del transporte en España”

En este apartado de los Anexos se muestran varias tablas del libro “Hacia la reconversión ecológica del transporte en España” escrito por Antonio Estevan y Alfonso Sanz en 1996 habiendo recopilado datos de 1992 [5]. Gracias a este informe acerca de la energía consumida en el transporte en España se ha podido realizar un estudio más exhaustivo y realizar un modelo en dinámica de sistemas más fiable.

A continuación se muestra la evaluación de la producción global de servicios de transporte en 1992. Los datos de esta tabla que se han utilizado para realizar el modelo en Vensim® son la de producción de viajeros en unidades de millones de viajeros-km y la producción de mercancías en millones de toneladas-km.

Tabla 1. Evaluación de la producción global de servicios de transporte en 1992  
A. Producción de transporte por modos en 1992

	Carga media (tm)	Plazas por vehículo (unidades)	Tasas de ocupación estimadas (%)	Tráfico (millones de veh.-km)	Oferta de transporte (millones de plazas-km)	Producción viajeros (millones de viaj.-km)	Producción mercancías (millones de tm-km)	Movil. bruta total estimada (millones de pers.-km)
<b>Carretera</b>								
Turismos		4	46%	129.031	516.123	237.416		237.416
Motos		2	64%	3.733	7.465	4.778		4.778
Furgonetas	1,0	2	85%	42.336			42.336	71.971
Camiones	9,8	2	62%	19.353			189.955	23.998
Autobuses		51	58%	1.766	89.441	51.876		53.642
<b>Total carretera</b>				196.219	613.029	294.070	232.291	391.805
<b>Ferrocarril</b>								
Ave		328	73%	2,1	703	513		528
Largo recorrido+reg.		295	43%	78,8	23.237	9.947		10.341
Cercanías		298	38%	52,0	15.510	5.890		6.046
Mercancías	205,7			45,5			9.361	91
RENFE				178,4	39.450	16.350	9.361	17.006
FEVE y FFCC autonóm.			25%		5.148	1.287	330	1.287
FFCC metropolitanos		433	35%	28,5	12.341	4.326		4.355
<b>Total ferrocarril</b>					56.939	21.963	9.691	22.648
<b>Avión (Empresas nacionales)</b>								
Pasajeros nacional			73%		17.517	12.871		13.515
Pasajeros internacional			70%		40.959	28.630		30.062
Carga							650	
<b>Total avión</b>					58.476	41.501	650	43.576
<b>Total transporte terrestre y aéreo</b>					728.444	357.534	242.632	458.028
<b>Total transporte terrestre y aéreo interior</b>					687.485	328.904	242.632	427.967
Carretera (%)					89,2%	89,4%		91,6%
Ferrocarril (%)					8,3%	6,7%		5,3%
Avión (%)					2,5%	3,9%		3,2%

Tabla II.I.I. Evaluación de la producción global de servicios de transporte por modos en 1992.  
Fuente: [5]

En las siguientes tablas se muestra el balance energético del ciclo integral del transporte en 1992 de diferentes formas: TEP totales, porcentajes y consumos específicos.

La primera tabla muestra un cálculo del consumo por medio de transporte en toneladas equivalentes de petróleo (TEP) de energía primaria.

Tabla 4. Balance energético del ciclo integral del transporte en 1992

A. Consumos totales por medios de transporte								
Datos en toneladas equivalentes de petróleo (TEP) de energía primaria								
	Fabricación de vehículos			Construcción infraestructura	Energía de tracción	Mantenimiento del sistema	Eliminación y reciclaje	Total
	Materiales	Manufactura	Distribución					
<b>Carretera</b>								
Turismos	1.495.424	249.237	24.924	1.305.936	11.184.052	518.667	-79.756	14.698.485
Motos	22.852	3.809	381	16.346	128.462	5.957	-4.219	176.588
Furgonetas	210.723	35.120	3.512	623.792	5.092.228	236.155	-11.239	6.190.292
Camiones	258.897	43.150	4.315	1.395.898	5.504.382	255.269	-13.808	7.448.104
Autobuses	26.536	4.423	442	78.815	617.578	28.641	-1.415	755.019
<b>Total carretera</b>	<b>2.014.431</b>	<b>335.739</b>	<b>33.574</b>	<b>3.420.788</b>	<b>22.526.702</b>	<b>1.044.690</b>	<b>-107.436</b>	<b>29.268.487</b>
<b>Ferrocarril</b>								
Ave*	903	452	0	5.600	14.888	2.965	-48	24.761
Largo Recorrido	8.128	4.071	0	72.855	189.475	37.730	-433	311.827
Cercanías	10.256	5.137	0	45.333	104.345	20.778	-547	185.302
Mercancías	0	0	0	58.467	238.349	47.462	0	344.278
<b>Total RENFE</b>	<b>19.287</b>	<b>9.661</b>	<b>0</b>	<b>182.256</b>	<b>547.057</b>	<b>108.935</b>	<b>-1.029</b>	<b>866.167</b>
Via estrecha viajeros	998	500	0	14.321	32.766	7.992	-53	56.524
Via estrecha merc.	0	0	0	2.959	6.769	1.651	0	11.379
Total via estrecha	998	500	0	17.280	39.535	9.643	-53	67.903
FFCC metropolitanos	1.836	920	0	9.982	93.292	34.284	-98	140.216
<b>Total ferrocarril</b>	<b>22.121</b>	<b>11.080</b>	<b>0</b>	<b>209.518</b>	<b>679.884</b>	<b>152.862</b>	<b>-1.180</b>	<b>1.074.285</b>
<b>Avión</b>								
Pasajeros	5.315	3.054	0	48.651	2.283.598	35.821	-283	2.376.156
Carga	2.405	1.381	0	22.009	407.213	6.388	-128	439.268
<b>Total avión</b>	<b>7.720</b>	<b>4.435</b>	<b>0</b>	<b>70.660</b>	<b>2.690.812</b>	<b>42.209</b>	<b>-412</b>	<b>2.815.425</b>

UNA PRIMERA APROXIMACIÓN A LAS CUENTAS ECOLOGICAS ... 345

Tabla II.II. Consumos totales por medios de transporte en 1992. Fuente: [5]

La continuación de la tabla anterior son los datos agregados para el conjunto del transporte y los consumos específicos por modos.

Tabla 4 (continuación). Balance energético del ciclo integral del transporte en 1992

B. Datos agregados para el conjunto del transporte								
	Fabricación de vehículos			Construcción infraestructura	Energía de tracción	Mantenimiento del sistema	Eliminación y reciclaje	Total
	Materiales	Manufactura	Distribución					
<b>Consumo de energía</b>	<b>2.044.272</b>	<b>351.254</b>	<b>33.574</b>	<b>3.700.966</b>	<b>25.897.398</b>	<b>1.239.761</b>	<b>-109.028</b>	<b>33.158.197</b>
<b>Reparto por modos</b>								
Carretera	98,5%	95,6%	100,0%	92,4%	87,0%	84,3%	98,5%	88,3%
Ferrocarril	1,1%	3,2%	0,0%	5,7%	2,6%	12,3%	1,1%	3,2%
Avión	0,4%	1,3%	0,0%	1,9%	10,4%	3,4%	0,4%	8,5%
<b>Reparto por fases</b>								
Carretera	6,9%	1,1%	0,1%	11,7%	77,0%	3,6%	-0,4%	100,0%
Ferrocarril	2,1%	1,0%	0,0%	19,5%	63,3%	14,2%	-0,1%	100,0%
Avión	0,3%	0,2%	0,0%	2,5%	95,6%	1,5%	-0,0%	100,0%

Nota: Las inversiones del AVE en 1992 (material e infraestructura) se han distribuido sobre el conjunto de la red ferroviaria para atenuar la distorsión provocada por la concentración de inversiones en este ejercicio.

C. Consumos específicos por modos  
KEP\* por cada 100 unidades de transporte (UT)

	Producción (millones UT)	Fabricación de vehículos			Construcción infraestructura	Energía de tracción	Mantenimiento del sistema	Eliminación y reciclaje	Total
		Materiales	Manufactura	Distribución					
Carretera	845.320	0,24	0,04	0,00	0,40	2,66	0,12	-0,01	3,46
Ferrocarril	66.630	0,03	0,02	0,00	0,31	1,02	0,23	-0,00	1,61
Avión	59.126	0,01	0,01	0,00	0,12	4,55	0,07	-0,00	4,76

Tabla II.III. Página 346 del libro de Antonio Estevan y Alfonso Sanz. Fuente: [5]

346 HACIA LA RECONVERSION ECOLOGICA DEL TRANSPORTE EN ESPAÑA



La página anterior muestra dos tablas diferentes que se explican a continuación. La primera resume los datos agregados para el conjunto del transporte y muestra la distribución en porcentaje de las TEP por modo.

#### B. Datos agregados para el conjunto del transporte

	Fabricación de vehículos			Construcción infraestructura	Energía de tracción	Mantenimiento del sistema	Eliminación y reciclaje	Total
	Materiales	Manufactura	Distribución					
Consumo de energía	2.044.272	351.254	33.574	3.700.966	25.897.398	1.239.761	-109.028	33.158.197
Reparto por modos								
Carretera	98,5%	95,6%	100,0%	92,4%	87,0%	84,3%	98,5%	88,3%
Ferrocarril	1,1%	3,2%	0,0%	5,7%	2,6%	12,3%	1,1%	3,2%
Avión	0,4%	1,3%	0,0%	1,9%	10,4%	3,4%	0,4%	8,5%
Reparto por fases								
Carretera	6,9%	1,1%	0,1%	11,7%	77,0%	3,6%	-0,4%	100,0%
Ferrocarril	2,1%	1,0%	0,0%	19,5%	63,3%	14,2%	-0,1%	100,0%
Avión	0,3%	0,2%	0,0%	2,5%	95,6%	1,5%	-0,0%	100,0%

Nota: Las inversiones del AVE en 1992 (material e infraestructura) se han distribuido sobre el conjunto de la red ferroviaria para atenuar la distorsión provocada por la concentración de inversiones en este ejercicio.

Tabla II.IV. Datos agregados para el conjunto del transporte en 1992. Fuente: [5]

La segunda tabla consta de los consumos específicos por modos que muestran un ratio de KEP por cada 100 unidades de transporte (UT).

#### C. Consumos específicos por modos KEP\* por cada 100 unidades de transporte (UT)

	Producción (millones UT)	Fabricación de vehículos			Construcción infraestructura	Energía de tracción	Mantenimiento del sistema	Eliminación y reciclaje	Total
		Materiales	Manufactura	Distribución					
Carretera	845.320	0,24	0,04	0,00	0,40	2,66	0,12	-0,01	3,46
Ferrocarril	66.630	0,03	0,02	0,00	0,31	1,02	0,23	-0,00	1,61
Avión	59.126	0,01	0,01	0,00	0,12	4,55	0,07	-0,00	4,76

Tabla II.IV. Consumos específicos por modos en 1992. Fuente: [5]

Para este estudio se han realizado unas tablas basadas en estos datos. Se han mantenido los valores pero las unidades utilizadas han sido para el transporte de personas TEP o KEP por persona-km y para el transporte de mercancías TEP o KEP por tonelada-km. Así por ejemplo, no se han utilizado unidades de medida como TEP o KEP por cada 100 vehículos-km u otras similares. Se han intentado unificar las magnitudes que se estudian de forma que no resultaran demasiado complicados los cálculos.

Por último, en el balance energético del ciclo integral del transporte en 1992 se incluyen los consumos específicos: las unidades para desplazamientos de viajeros son KEP/100 viajeros-km, para las mercancías KEP/100 toneladas-km y para las furgonetas KEP/veh-km. Pero como se ha mencionado anteriormente, unidades diferentes a personas-km o toneladas-km no han sido utilizadas para una mayor facilidad de tratamiento de los datos.

Tabla 4 (continuación). Balance energético del ciclo integral del transporte en 1992

**D. Consumos específicos:**  
KEP/100 viajeros-km (viajeros); KEP/100 tm-km (mercancías); KEP/100 veh.-km (furgonetas)

	Producción (millones UT/km)	Fabricación de vehículos			Energía de tracción	Mantenimiento del sistema	Eliminación y reciclaje	Total	
		Materiales /	Manufactura /	Distribución					
<b>Carretera</b>									
Turismos	237.416	0,63	0,10	0,01	0,55	4,71	0,22	-0,03	6,19
Motos	4.778	0,48	0,08	0,01	0,34	2,69	0,12	-0,03	3,70
Furgonetas	42.336	0,50	0,08	0,01	1,47	12,03	0,56	-0,03	14,62
Camiones	189.955	0,14	0,02	0,00	0,73	2,90	0,13	-0,01	3,92
Autobuses	51.876	0,05	0,01	0,00	0,15	1,19	0,06	0,00	1,46
<b>Ferrocarril</b>									
Ave	513	0,18	0,09	0,00	1,09	2,90	0,58	-0,01	4,83
Largo recorrido	9.947	0,08	0,04	0,00	0,73	1,90	0,38	0,00	3,13
Cercanías	5.890	0,17	0,09	0,00	0,77	1,77	0,35	-0,01	3,15
Mercancías	9.361	0,00	0,00	0,00	0,62	2,55	0,51	0,00	3,68
Vía Estrecha viajeros	1.287	0,08	0,04	0,00	1,11	2,55	0,62	0,00	4,39
mercancías	330	0,00	0,00	0,00	0,90	2,05	0,50	0,00	3,45
<b>Metro</b>	4.326	0,04	0,02	0,00	0,23	2,16	0,79	0,00	3,24
<b>Avión</b>									
Pasajeros	41.501	0,01	0,01	0,00	0,12	5,50	0,09	0,00	5,73
Carga	650	0,37	0,21	0,00	3,39	62,65	0,98	-0,02	67,58

UNA PRIMERA APROXIMACIÓN A LAS CUENTAS ECOLÓGICAS ... 347

Tabla II.I.VI. Consumos específicos desglosados en 1992. Fuente: [5]

## II.II. Tablas de datos de las “Cuentas Ecológicas del Transporte en España”

En el segundo apartado de este anexo se muestran tablas del libro “Cuentas ecológicas del Transporte” publicado en 2014 por miembros de Ecologistas en Acción [6]. Han sido utilizadas para realizar tablas resumen y posteriormente introducir y comparar datos en el modelo en dinámica de sistemas.

**Tabla 11. Longitud de los recorridos medios dentro del país realizados por las personas en cada medio de transporte (2007)**

Modo	Millones de personas-km	%
Automóvil	489.918	69,4
Autobús	75.582	10,7
Motocicleta y ciclomotor	20.768	2,9
Peatonal	25.750	3,6
Bicideta	1.404	0,2
<b>Subtotal viario</b>	<b>613.421</b>	<b>86,9</b>
Ferrocarril convencional	21.856	3,1
Metro	7.233	1,0
Tranvía	214	0,0
<b>Subtotal ferrocarril</b>	<b>29.303</b>	<b>4,2</b>
<b>Subtotal aéreo</b>	<b>61.225</b>	<b>8,7</b>
<b>Subtotal marítimo</b>	<b>1.612</b>	<b>0,2</b>
<b>TOTAL</b>	<b>705.561</b>	<b>100,0</b>

Tabla II.II.I. Longitud de los recorridos medios dentro del país realizados por las personas en cada medio de transporte en 2007. Fuente: [6]

**Tabla 13. Recorridos de las toneladas desplazadas en el interior por modo de transporte (2007)**

Modo	Toneladas-km desplazadas (millones)	%
Camión y furgoneta en carreteras	361.227	26,3
Camión y furgoneta en viario urbano	27.523	2,0
<b>Total viario</b>	<b>388.750</b>	<b>28,3</b>
Ferroviario	11.212	0,8
Aéreo	147	0,0
Marítimo	44.040	3,2
Tubería convencional (oleoductos) interior	8.936	0,7
Tubería convencional (gasoductos) interior	3.670	0,3
<b>Total tubería de productos energéticos</b>	<b>12.606</b>	<b>0,9</b>
Agua uso urbano	181.248	13,2
Agua uso agrario	731.931	53,3
Aguas residuales	1.450	0,1
<b>Total tubería agua</b>	<b>914.629</b>	<b>66,6</b>
Cable eléctrico <sup>32</sup>	2.380	0,2
<b>TOTAL</b>	<b>1.373.764</b>	<b>100,0</b>

Tabla II.II.II. Recorridos de las toneladas desplazadas en el interior por modo de transporte (2007). Fuente: [6]

**Tabla 21. Evolución 2007-2012 de las personas-km en el interior del país**

	2007 (millones)	2012 (millones)	% 2012/2007
viario (modos motorizados)	586.267	545.999	93,1
ferroviario	29.201	29.558	101,2
aéreo	61.225	47.619	77,8
marítimo	1.612	1.429	88,6
<b>TOTAL</b>	<b>678.305</b>	<b>624.605</b>	<b>92,1</b>

Tabla II.II.III. Evolución 2007-2012 de las personas-km en el interior del país. Fuente: [6]

**Tabla 23. Evolución 2007-2012 de los desplazamientos interiores de mercancías convencionales en toneladas-kilómetro**

	2007 (millones)	2012 (millones)	% 2012 / 2007
viario	388.750	265.793	68,4
ferroviario	11.212	7.477	66,7
aéreo	147	86	58,5
marítimo	44.040	38.970	88,5
tubería	12.606	11.477	91,0
<b>TOTAL</b>	<b>456.755</b>	<b>323.803</b>	<b>70,9</b>

Tabla II.II.IV. Evolución 2007-2012 de los desplazamientos interiores de mercancías convencionales en toneladas-kilómetro. Fuente: [6]

**Tabla 52. Consumo energético en la fabricación (producción de materiales y ensamblado) de vehículos en España (2012)**

	Contenido energético vehículos nuevos (tep EP)	Consumo energético en fabricación (tep EP)	Total consumo energético de la flota nueva (tep EP)
Turismos	2.422.621	267.044	2.689.665
Motos	45.866	3.878	49.744
Ciclomotores	16.541	1.554	18.095
Autobuses	36.149	4.279	40.428
Furgonetas	257.737	32.593	290.331
Camiones	99.843	12.626	112.469
Bicicletas	27.077	-	27.077
Aviones	1.828	419	2.247
Trenes	19.436	7.207	26.643
Barcos	180.684	162.366	343.050
<b>TOTAL</b>	<b>3.080.705</b>	<b>491.966</b>	<b>3.572.672</b>

Tabla II.II.V. Consumo energético en la fabricación (producción de materiales y ensamblado) de vehículos en España (2012). Fuente: [6]

**Tabla 57. Coste monetario y energético de las infraestructuras viarias y ferroviarias construidas en España en los años de referencia**

	Carreteras		Ferrocarril		Total
	Millones de euros de 2012	tep	Millones de euros de 2012	tep	tep
Inversión media en el periodo 1993-2012	8.087	3.340.740	4.495	1.509.877	4.850.617
Inversión en 2012	6.318	2.609.966	3.939	1.323.066	3.933.032
Inversión amortizada en 2012	5.695	2.352.615	2.636	885.390	3.238.005

Tabla II.II.VI. Coste monetario y energético de las infraestructuras viarias y ferroviarias construidas en España en los años de referencia. Fuente: [6]

**Tabla 59. Consumo energético asociado a la construcción de las infraestructuras aeroportuarias**

	Operación	Construcción de infraestructuras	
	(tep EP)	(tep EP)	(%) respecto operación
2007	6.572.721	48.048	0,73%
2012	6.061.652	44.312	0,73%

Tabla II.II.VII. Consumo energético asociado a la construcción de las infraestructuras aeroportuarias. Fuente: [6]

Tabla 36. Consumo de energía en circulación del modo viario (2012)

Año 2012	Consumo de energía final (tep)				Consumo de energía primaria (tep)
	GAS NATURAL	GASÓLEO	GASOLINA	GLP	
Turismos	0	11.352.165	4.704.125	28.688	16.520.716
Autobuses	76.154	1.294.530	0	0	1.531.358
Ciclomotores	0	0	22.958	0	25.254
Motocicletas	0	0	410.301	0	451.331
De carga ligeros	0	1.777.198	22.545	0	2.015.261
De carga pesados	0	6.317.303	8.361	0	7.084.577
<b>TOTAL</b>	<b>76.154</b>	<b>20.741.197</b>	<b>5.168.290</b>	<b>28.688</b>	<b>27.628.498</b>

Tabla II.II.VIII. Consumo de energía en circulación del modo viario (2012). Fuente: [6]

Tabla 37. Consumo de energía en la operación de los servicios ferroviarios (2012)

	Energía final (tep)		Energía primaria (tep EP)
	Gasóleo	Electricidad	
ADIF	72.186,7	202.702,0	553.347,42
FEVE	7.993,4	1.952,2	13.503,20
CC.AA.	1.390,2	19.100,6	46.080,50
Cías. Privadas	0,1	77,4	180,53
<b>TOTAL</b>	<b>81.570,4</b>	<b>223.832,2</b>	<b>613.111,65</b>

Tabla II.II.IX. Consumo de energía en la operación de los servicios ferroviarios (2012). Fuente: [6]

Tabla 38. Reparto del consumo de energía primaria en el ferrocarril en función de la carga bruta remolcada (2012)

	Consumo de energía total (tep EP)	% consumo servicios de personas	% consumo servicios de mercancías
ADIF	553.347,42	86,45%	13,55%
FEVE	13.503,20	50,20%	49,80%
CC.AA + Privadas	46.261,03	97,90%	2,10%

Tabla II.II.X. Reparto del consumo de energía primaria en el ferrocarril en función de la carga bruta remolcada (2012). Fuente: [6]

**Tabla 40. Consumo energético en tracción en los metropolitanos en España (energía primaria)**

	Consumo energético tracción (tep EP)	
	2007	2012
Barcelona	36.869	37.896
Bilbao	9.820	10.304
Madrid	100.476	93.557
Sevilla	-	1.601
Valencia	12.319	9.742
<b>SUMA</b>	<b>159.484</b>	<b>153.100</b>

Tabla II.II.XI. Consumo energético en tracción en los metropolitanos en España (energía primaria). Fuente: [6]

**Tabla 42. Consumo energético en los sistemas tranviarios en España (energía primaria)**

	Persona-km (millones)		Consumo energético tracción (tep EP)	
	2007	2012	2007	2012
Alicante	10,0	42,1	392,8	1.654,0
Barcelona	121,0	137,2	4.751,0	5.390,3
Bilbao	7,5	7,7	294,6	302,8
Metro Ligero de Madrid	-	49,6	-	1.949,5
Murcia	-	20,2	-	792,8
Parla	22,0	20,0	864,1	785,6
Sevilla	2,7	9,1	106,0	356,8
Tenerife	26,7	58,5	1.047,1	2.296,7
Valencia	23,7	39,2	930,8	1.540,3
Vélez Málaga	-	1,2	-	47,1
Vitoria	-	29,1	-	1.143,1
Zaragoza	-	60,2	-	2.364,6
<b>TOTAL TRANVÍAS</b>	<b>213,5</b>	<b>474,2</b>	<b>8.386,4</b>	<b>18.623,6</b>

Tabla II.II.XII. Consumo energético en los sistemas tranviarios en España (energía primaria)

**Tabla 54. Consumo energético (tep EP) en el mantenimiento y gestión de los sistemas de transporte (2012)**

	Consumo energético en mantenimiento y gestión	Contenido energético de materiales de repuesto	Total mantenimiento y gestión del sistema
Viarío	230.422 <sup>50</sup>	600.053	830.476
FF.CC.	27.630	11.242	38.872
Metro	72.447	n.d.	72.447
Aéreo	212.582	n.d.	212.582
Marítimo	n.d.	22.959	22.959

Tabla II.II.XIII. Consumo energético (tep EP) en el mantenimiento y gestión de los sistemas de transporte (2012). Fuente: [6]

**Tabla 55. Consumo de energía primaria en el fin de la vida útil de los automóviles en España (2012)**

2012	Nº automóviles dados de baja	Peso medio (kg)	Consumo energético en el fin de la vida útil (tep EP)
Autobuses	1.268	12.536	9
Ciclomotores	65.127	88	3
De carga	109.504	3.227	202
Motocicletas	22.046	162	2
Turismos	548.519	1.410	442
<b>TOTAL</b>	<b>746.464</b>	<b>-</b>	<b>658</b>

Tabla II.II.XIV. Consumo de energía primaria en el fin de la vida útil de los automóviles en España (2012). Fuente: [6]

**Tabla 56. Recuperación de energía proveniente de los vehículos fuera de uso (2012)**

Recuperación de energía proveniente de los vehículos fuera de uso (tep EP)	
Turismos	15.525
Autobuses	6.871
Ciclomotores	380.024
Motocicletas	5.179
De carga	772.446
<b>TOTAL</b>	<b>1.180.045</b>

Tabla II.II.XV. Recuperación de energía proveniente de los vehículos fuera de uso (2012). Fuente: [6]

**Tabla 60. Consumo de energía primaria (tep) del ciclo global del transporte en España (2012)**

	Fabricación de vehículo	Construcción de la infraestructura	Desplazamiento	Mantenimiento y gestión del sistema	Fin de vida útil
Viaro	3.227.808	2.352.615	27.628.497	830.476	-1.179.387
Ferrovio	26.643	904.712	784.835	111.319	n.d.
Aéreo	2.247	44.312	6.061.652	212.582	n.d.
Marítimo	343.050	n.d.	10.469.604	22.959	n.d.
Tubería	-	n.d.	1.394.836	n.d.	n.d.
Cable eléctrico	-	n.d.	1.587.162	n.d.	n.d.
Ascensores	n.d.	n.d.	205.102	n.d.	n.d.

Tabla II.II.XVI. Consumo de energía primaria (tep) del ciclo global del transporte en España (2012). Fuente: [6]

Tabla 62. Consumo energético (tep EP) de las diferentes fases y medios del modo viario (2012)

2012	Fabricación de vehículos	Construcción de la infraestructura <sup>59</sup>	Desplazamiento	Mantenimiento de los vehículos <sup>59</sup>	Tratamiento en el fin de vida útil	Total
Turismos	2.689.665	1.921.253	16.520.716	574.170	-772.437	20.933.367
Motocicletas y ciclomotores	67.839	92.602	476.585	12.174	-11.846	637.354
Autobuses	40.428	24.707	1.531.358	45.740	-15.522	1.626.711
Camiones	112.469	159.783	7.084.577	147.478	-199.729	7.304.578
Furgonetas	290.330	154.270	2.015.261	50.913	-179.853	2.330.921
<b>TOTAL</b>	<b>3.227.808</b>	<b>2.352.615</b>	<b>27.628.497</b>	<b>830.476</b>	<b>-1.179.387</b>	<b>32.860.008</b>

Tabla II.II.XVII. Consumo energético (tep EP) de las diferentes fases y medios del modo viario (2012). Fuente: [6]