Escola de Camins
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports
UPC BARCELONATECH

TESINA D'ESPECIALITAT

Títol

Pertinencia de la alta velocidad en los países del norte de Europa.

Criterios de actuación

722-TES-CA-6126

Autor/a

Carlos Domínguez Puig

Tutor/a

Andrés López Pita

Departament

Infraestructura del transport i del territori

Intensificació

Transports

Data

JUNY 2013

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, por el apoyo continuado e incondicional. Sin ellos no hubiera podido dedicar el tiempo requerido por un trabajo que me apasiona.

A mis amigos, por los conocimientos compartidos y especialmente por los buenos ratos, que son los que al fin y al cabo constituyen la vida.

A Alex Landex, Stefan Östlund y Oskar Fröidh, por ayudarme a romper la barrera idiomática y ser los pilares básicos sobre los cuales se ha sustentado la búsqueda bibliográfica de carácter local.

A mi tutor, Andrés López Pita, por ejercer no solamente como tal, sino también como guía moral y espiritual. Me siento muy afortunado por haber podido aprender junto a este gran experto a quien ante todo, considero un amigo.

Gracias de corazón.

RESUMEN

El presente estudio pretende realizar un diagnóstico de la situación actual del sistema ferroviario de Dinamarca, Suecia y Noruega, países que actualmente poseen pobres conexiones ferroviarias con el continente europeo. Para ello, en primer lugar se analiza con detalle la geografía y la demografía de estos países, marcadas por la abundancia de islas y penínsulas y la baja densidad de población de algunas zonas, en las que los largos y fríos inviernos no favorecen las aglomeraciones urbanas.

En segundo lugar, se analizan las principales características del sistema ferroviario de estos países nórdicos, y se comparan con las de los modos viario, aéreo y marítimo. A tal efecto, se constata que el modo ferroviario ofrece unos tiempos de viaje poco competitivos en relación con los demás modos de transporte, que afectan negativamente a su cuota modal.

Consecuentemente, se verifica que el actual sistema ferroviario presenta ciertas debilidades infraestructurales, marcadas por numerosos tramos en vía única o sin electrificar, la necesidad de establecer servicios de trenes-ferry para conectar islas y penínsulas, la antigüedad de los actuales sistemas de señalización y las reducidas velocidades comerciales. A todo esto, hay que añadir los graves problemas de gestión, protagonizados por los altos consumos de capacidad que experimentan muchas líneas, especialmente en territorio danés y sueco, agravadas por el hecho de que trenes de pasajeros y mercancías comparten la misma infraestructura.

Para solucionar dichas flaquezas, los gobiernos de estos países plantean diversos proyectos, que combinan mejoras de las líneas existentes con la construcción de nuevas conexiones de alta velocidad. Ante esta disyuntiva, se abre el debate sobre qué opción es la más viable económica y socialmente.

La experiencia internacional en otros países europeos ha demostrado que la mejora de las líneas actuales no aporta los beneficios esperados en cuanto a redistribución modal y reducción de tiempos de viaje. Por lo tanto, se concluye que la solución a los problemas del sistema ferroviario es construir nuevas líneas de alta velocidad. Adicionalmente, estas nuevas líneas ofrecen la posibilidad de descongestionar las líneas actuales.

Debido a las restricciones presupuestarias características de la época actual, marcada por una situación de crisis económica, en el presente estudio se ha elaborado un criterio de priorización para seleccionar los proyectos de alta velocidad más adecuados desde el punto de vista socioeconómico, y se ha propuesto un nuevo escenario de actuación.

Posteriormente, se han analizado los nuevos tiempos de viaje en este nuevo escenario, y se han comprobado los efectos provocados en la distribución modal.

Finalmente, se concluye que la alta velocidad ferroviaria es una solución sostenible, realista y efectiva a los problemas infraestructurales y de congestión que sufre el sistema ferroviario escandinavo, y la única capaz de provocar un cambio significativo en el reparto modal. De este modo, en el escenario de estudio, Dinamarca, Suecia y Noruega quedan ferroviariamente conectados a Europa por primera vez en la historia.

ABSTRACT

The aim of the current study is to analyze the present situation of the railway system in Denmark, Sweden and Norway, countries which nowadays have poor rail connections with the European continent. In order to do that, firstly their geography and demography are analyzed in detail. These countries have plenty of islands, peninsulas and low population density areas, where long and extremely cold winters do not boost the creation of big urban agglomerations.

Secondly, the main characteristics of the rail mode of these countries are assessed and compared to those of the road, air and maritime modes. Therefore, the rail mode does not offer competitive travel times compared to the ones offered by the other modes of transport. Thus, its modal share is negatively affected.

As a consequence, it is stated that the current railway system has some infrastructural weaknesses, such as several single-track or non-electrified connections, the need of train-ferry services to connect the high number of islands and peninsulas, the non-updated signaling systems and the low commercial speeds. In addition, there are some very important capacity problems in some lines, especially in Denmark and Sweden, worsened by the fact that passenger and freight trains have to share the same tracks.

In order to solve these problems, the governments of these countries set several projects, which combine both improving existing lines and building new high speed ones. Therefore, there is an open debate on which option is the most economically and socially efficient..

International experiences in other European countries have shown that improving existing lines do not bring the expected benefits in mode redistribution and travel times reduction. Therefore, the solution to these railway problems is to build new high speed lines. Furthermore, these new connections will lower the congestion levels on the existing ones.

Because of current economical situation and budget restrictions, in this thesis a selective criterion has been created in order to choose the most socioeconomically efficient high speed projects, and a new scenario has been proposed.

Later, the new travel times and modal shares have been analyzed in this new scenario.

In conclusion, high speed railway is a realistic, sustainable and effective solution to the infrastructural and congestion problems of the Scandinavia rail system, and it is the only solution capable provoking an important modal redistribution. Thus, in the new scenario, the rail systems of Denmark, Sweden and Norway would be linked with Europe for the first time in their whole history.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS 1
2. SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y DEMOGRAFÍA 2
2.1. DINAMARCA 3
2.2. SUECIA 5
2.3. NORUEGA 7
2.4. FINLANDIA 9
3. MARCO ACTUAL DE LA SITUACIÓN FERROVIARIA 12
3.1. DINAMARCA 12
3.2. SUECIA 16
3.3. NORUEGA 21
4. OFERTA Y DEMANDA DE TRANSPORTE 25
4.1. Infraestructuras existentes 25
4.2. Análisis de los tiempos de viaje en las principales rutas 31
4.3. Cuota modal del ferrocarril 47
5. DEBILIDADES DEL SISTEMA FERROVIARIO 52
5.1. Tramos en vía única o sin electrificar. Problemas de capacidad 52
5.2. Conexiones por ferry. Enlaces fijos 59
5.3. Sistemas de señalización 69
5.4. Tiempos de viaje elevados 71
6. PROYECTOS ACTUALES DE MEJORA 75
6.1. Línea de alta velocidad Copenhague-Ringsted 75
6.2. Enlace del Fehmarn 79
6.3. Conexión Hamburgo-Puttgarden 82
6.4. Conexiones Copenhague-Odense-Århus-Aalborg 83
6.5. Enlace fijo entre Helsingør y Helsingborg (Frontera Dinamarca-Suecia) 86
6.6. Corredor Oeste (Isla de Zelanda, Dinamarca) 88
6.7. Línea de la costa (Isla de Zelanda, Dinamarca) 89
6.8. Sur de Zelanda (Dinamarca) 90
6.9. Citytunneln de Malmö (túnel urbano de Malmö) 91
6.10 Túnel de Hallandsås (Suecia) 92
6.11 Mejora de la línea Malmö-Göteborg-Oslo 94
6.12 Conexiones Estocolmo-Göteborg y Estocolmo-Malmö 96
6.13 Propuestas propias de proyectos 101
7 IDONEIDAD DE DICHOS PROYECTOS RESPECTO A LAS DEBILIDADES 104

7.1. Alternativa 1. Modificación del trazado de las líneas actuales 104
7.2. Alternativa 2. Construcción de nuevas líneas de alta velocidad 106
8. PRIORIDADES DE ACTUACIÓN 112
8.1. Criterio de priorización 112
8.2. Priorización de los proyectos 115
9. AFECTACIÓN A LA DISTRIBUCIÓN MODAL 126
10. CONCLUSIONES 128
BIBLIOGRAFÍA 129

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de los países escandinavos. Fuente: elaboración propia a partir de Google Maps. 2
Figura 2. Densidad de población y principales ciudades de Dinamarca. Fuente: National Geographic. 3
Figura 3. Mapa de distancias entre las principales ciudades de Dinamarca. Fuente: elaboración propia a partir de Google Maps 4
Figura 4. Densidad de población y principales ciudades de Suecia. Fuente: National Geographic. 5
Figura 5. Mapa de distancias por vía terrestre entre las principales ciudades de Suecia. Fuente: elaboración propia a partir de Google Maps. 6
Figura 6. Densidad de población y principales ciudades de Noruega. Fuente: National Geographic. 7
Figura 7. Mapa de las distancias por vía terrestre entre las principales ciudades de Noruega. Fuente: elaboración propia a partir de Google Maps. 8
Figura 8. Densidad de población y principales ciudades de Finlandia. Fuente: National Geographic. 9
Figura 9. Distancias por vía terrestre entre las principales ciudades de Finlandia y San Petersburgo, Rusia. Fuente: elaboración propia a partir de Google Maps. 10
Figura 10. Mapa de la red Ferroviaria de Dinamarca. Fuente: elaboración propia a partir de eurail.com. 13
Figura 11. Principales flujos de tráfico ferroviario de Dinamarca. Fuente: Banedanmark. 14
Figura 12. Tiempos de viaje mínimos en tren entre las principales ciudades de Dinamarca. Fuente: elaboración propia a partir de los horarios de DSB. 15
Figura 13. Mapa de la red ferroviaria sueca. Fuente: elaboración propia a partir de eurail.com. 17
Figura 14. Tramos de la red ferroviaria sueca en los que se alcanzan actualmente los 200 km/h. Fuente: Wikipedia. 18
Figura 15. Tiempos de viaje mínimos en tren entre las principales ciudades de Suecia. Fuente: elaboración propia a partir de SJ 20
Figura 16. Mapa de la red ferroviaria noruega. Fuente: eurail.com 22
Figura 17. Tiempos de viaje mínimos entre las principales ciudades de Noruega. Fuente: elaboración propia a partir de los horarios de NSB. 24
Figura 18. Mapa de carreteras europeas. Fuente: Eurostat 26
Figura 19. Mapa de los principales aeropuertos de Dinamarca. Fuente: aircraft-charter-world.com 27
Figura 20. Mapa de los principales aeropuertos de Suecia. Fuente: aircraft-charter-world.com 28
Figura 21. Mapa de los principales aeropuertos de Noruega. Fuente: aircraft-charter-world.com 28
Figura 22. Mapa de los principales puertos de carga. Fuente: Eurostat. 29
Figura 23. Mapa de isócronas con origen en Copenhague. 35
Figura 24. Mapa de isócronas con origen en Oslo. 35
Figura 25. Mapa de las conexiones en ferry disponibles, con los tiempos de trayecto correspondientes. Fuente: elaboración propia a partir de aferry.co.uk, fjordline.com, directferries.co.uk y google maps. 42

Figura 26. Cuota modal del modo ferroviario respecto al viario en función del tiempo de viaje en tren. Fuente: JANSSON, Kjell; NELLDAL, Bo-Lehnart, *High Speed trains in Sweden, a good idea?* 47
Figura 27. Mapa de los tramos en vía única y sin electrificar. Fuente: elaboración propia..... 53
Figura 28. Mapa de los tramos en vía única y sin electrificar. Fuente: elaboración propia..... 54
Figura 29. Mapa de los tramos en vía única y sin electrificar. Fuente: elaboración propia..... 54
Figura 30. Consumo de capacidad de las líneas de Dinamarca. Fuente: DTU Transport..... 56
Figura 31. Repartimiento del tráfico ferroviario sueco. Fuente: CETRA 2010. 57
Figura 32. Consumo de capacidad del sistema ferroviario sueco. Fuente: Trafikverket. 58
Figura 33. Estrechos más importantes. Fuente: elaboración propia. 59
Figura 34. Emplazamiento del enlace fijo de Storebælt. Fuente: Google Maps..... 60
Figura 35. Puente de Storebælt. Fuente: easygo.com 60
Figura 36. Isla de Sprogø. Al fondo se aprecia el Puente Oeste, que conecta la isla con Fionia. Fuente: storebaelt.dk. 61
Figura 37. La gran luz y altura del vano central permite el tráfico internacional de grandes buques. Fuente: cruisecritic.co.uk. 62
Figura 38. Esquema en planta del enlace fijo de Storebælt. Fuente: Vía Libre, Noviembre 1994. 62
Figura 39. Esquema en alzado del enlace fijo de Storebælt. Fuente: La Vie du Rail, Septiembre 1999..... 62
Figura 40. Fotografía de la parte este del enlace, tomada desde la isla de Sprogø, donde se bifurcan los tráficos viario (puente) y ferroviario (túnel submarino). Al fondo se alcanza a vislumbrar la isla de Zelanda. Fuente: RTI Marzo 1997. 63
Figura 41. Estrecho del Øresund. Fuente: Google Maps..... 64
Figura 42. Puente del Øresund. Al fondo se aprecia la isla artificial de Peberholm y la costa danesa. Fuente: viajeteca.com 65
Figura 43. Esquema en alzado del enlace fijo del Øresund. Fuente: La Vie du Rail, Junio 2000. 66
Figura 44. Mapa en planta del enlace del Øresund. En la parte inferior izquierda se aprecia una sección transversal del tablero del puente. Fuente: Rail Passion, Octubre de 2000..... 66
Figura 45. Plan de implementación del sistema de señalización ERTMS en Dinamarca. Fuente: The Newsleter of ERTMS, mayo de 2010. 69
Figura 46. Mapa del plan de desarrollo del sistema ERTMS en Suecia. Fuente: Swedish ERTMS Implementation Plan..... 70
Figura 47. Mapa del mercado potencial para el ferrocarril. Fuente: elaboración propia..... 74
Figura 48. Isla de Zelanda. Se pueden apreciar las poblaciones de Copenhague y Ringsted. Fuente: Google Maps. 75
Figura 49. Corredor ferroviario B de mercancías europeo. Fuente: The Newsleter of ERTMS, mayo de 2010..... 76
Figura 50. Esquema de las dos opciones planteadas: al norte figura la línea actual; al sur, la nueva línea proyectada. Fuente: *Le Rail nº 171,* Noviembre 2010..... 77
Figura 51. Trenes por hora que admiten cada uno de los tramos de las líneas. Fuente: *Le Rail nº 171,* Noviembre 2010..... 78
Figura 52. Mapa de las conexiones existentes entre la isla de Zelanda y los territorios circundantes. Fuente: FemernSundBælt..... 79
Figura 53. Esquema de la sección transversal del túnel propuesta. Fuente: FemernSundBælt. 80
Figura 54. Mapa de la zona sur del estrecho de Fehmarn. Fuente: Google Maps. 80

Figura 55. Mapa de la zona norte del estrecho de Fehmarn. Fuente: Google Maps..... 81
Figura 56. Mapa de la propuesta alemana de actualización de la línea Hamburgo-Lübeck-Puttgarden. Fuente: elaboración propia a partir de Debatoplæg til banestrategi for en konkurrencedygtig Øresundsregion..... 82
Figura 57. Alternativa 1. Fuente: String, *Status for High-Speed Networks in Northern Europe.* 83
Figura 58. Alternativa3. Fuente: String,*Status for High-Speed Networks in Northern Europe.* .. 85
Figura 59. Emplazamiento del enlace Helsingør-Helsingborg. Fuente: elaboración propia..... 86
Figura 60. Evolución de los millones de viajeros que cruzan anualmente los enlaces de Øresund y Storebælt. Fuente: Debatoplæg til banestrategi for en konkurrencedygtig Øresundsregion. 86
Figura 61. Mapa de la propuesta. Se aprecia un túnel doble para pasajeros que une ambos centros urbanos, y un tercer túnel para mercancías situado al sur. Fuente: Debatoplæg til banestrategi for en konkurrencedygtig Øresundsregion..... 87
Figura 62. Alternativas de trazado. Fuente: Debatoplæg til banestrategi for en konkurrencedygtig Øresundsregion..... 88
Figura 63. Alternativas de trazado para la línea de la costa este de Zelanda. Fuente: Elaboración propia a partir de figuras de Debatoplæg til banestrategi for en konkurrencedygtig Øresundsregion..... 89
Figura 64. Mapa de posibles actuaciones en el sur de Zelanda. Fuente: Debatoplæg til banestrategi for en konkurrencedygtig Øresundsregion..... 90
Figura 65. Esquema del proyecto de túnel urbano en Malmö. Fuente: *Vía Libre*, Marzo 2001. 91
Figura 66. Emplazamiento y esquema del túnel de Hallandsås. En negro se aprecia el trazado actual de la línea; en rojo, el del nuevo túnel bajo la cordillera. Fuente: eriksrailnews.com..... 92
Figura 67. Actualizaciones de tramos de vía en la ruta Malmö-Göteborg-Oslo. Fuente: elaboración propia a partir de datos de String, *Status for High-Speed Networks in Northern Europe.* 94
Figura 68. Tren con cuatro filas de asientos. Fuente: dianestravels.com..... 97
Figura 69. Tren con cinco filas de asientos. Fuente: blog.taiwan-guide.org..... 97
Figura 70. Faldones de bogíes. Fuente: gronataget.se 97
Figura 71. Reducción de la longitud de los trenes. Fuente: gronataget.se..... 98
Figura 72. Nuevas líneas de alta velocidad propuestas en Suecia. Fuente: Europakorridoren.100
Figura 73. Propuestas de alta velocidad en Noruega. Fuente: elaboración propia..... 101
Figura 74. Mapa de mejora de la línea Hamburgo-Jutlandia. Fuente: elaboración propia. 103
Figura 75. Mapa de la red de alta velocidad Europea. Fuente: Wikipedia Commons 2011. 106
Figura 76. Mapa de densidades de población y principales áreas metropolitanas europeas conectadas mediante alta velocidad. Fuente: elaboración propia a partir de Eurostat..... 108
Figura 77. Distancias entre las principales ciudades europeas conectadas por alta velocidad. Fuente: elaboración propia..... 109
Figura 78. Tiempos de viaje entre las principales ciudades europeas conectadas mediante alta velocidad. Fuente: elaboración propia a partir de los horarios de los operadores ferroviarios. 110
Figura 79. Propuesta de nueva línea de Alta Velocidad en Noruega. Fuente: elaboración propia. 117
Figura 80. Mapa que recoge las propuestas prioritarias. Fuente: elaboración propia..... 118
Figura 81. Nuevo mapa de isócronas desde Copenhague. Fuente: el. propia..... 123
Figura 82. Nuevo mapa de isócronas desde Oslo. Fuente: elaboración propia..... 123

Figura 83. Nuevo mapa europeo de alta velocidad, y tiempos de trayecto de las principales rutas. Fuente: elaboración propia. 125

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales ciudades de Dinamarca. Fuente: Eurostat. 3
Tabla 2. Principales ciudades de Suecia. Fuente: Eurostat. 5
Tabla 3. Principales ciudades de Noruega. Fuente: elaboración propia a partir de Eurostat..... 7
Tabla 4. Principales ciudades de Finlandia. Fuente: elaboración propia a partir de datos de Eurostat 9
Tabla 5. Características principales de la red ferroviaria danesa. Fuente: Eurostat. 12
Tabla 6. Datos sobre el tráfico ferroviario en Dinamarca. Las cuotas modales hacen referencia al transporte terrestre. Fuente: Eurostat. 13
Tabla 7. Capacidad del sistema ferroviario de Dinamarca. Fuente: DTU Transport. 13
Tabla 8. Características principales de la red ferroviaria sueca. Fuente Eurostat. 16
Tabla 9. Datos sobre el tráfico ferroviario en Suecia. Las cuotas modales hacen referencia al transporte terrestre. Fuente: Eurostat. 19
Tabla 10. Capacidad del sistema ferroviario de Suecia. Fuente: DTU Transport. 19
Tabla 11. Características principales de la red ferroviaria noruega. Fuente: Eurostat. 21
Tabla 12. Datos sobre el tráfico ferroviario de Noruega. Las cuotas modales hacen referencia al transporte terrestre. Fuente: Eurostat. 22
Tabla 13. Capacidad del sistema ferroviario de Noruega. Fuente: DTU Transport. 23
Tabla 14. Características principales del sistema viario de Dinamarca, Suecia y Noruega. Fuente: elaboración propia a partir de datos de Eurostat. 25
Tabla 15. Principales características del sistema aéreo. Fuente: elaboración propia a partir de datos de Eurostat. 27
Tabla 16. Principales características del transporte marítimo en Dinamarca, Suecia y Noruega. Fuente: elaboración propia a partir de datos de Eurostat. 29
Tabla 17. Tiempos de acceso y salida de los aeropuertos de las ciudades analizadas. Fuente: elaboración propia a partir de datos de los diferentes operadores viarios y ferroviarios de conexión de los aeropuertos. 32
Tabla 18. Tiempos de viaje mínimos en tren. Dichos tiempos incluyen los tiempos de conexión necesarios en los servicios no directos. Fuente: elaboración propia a partir de datos de DB BAHN, DSB, SJ y NSB. 33
Tabla 19. Tiempos de viaje mínimos por carretera. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Via Michelín y las compañías de autobuses SweBus y GoByBus. 36
Tabla 20. Comparación de tiempos de viaje entre el modo ferroviario y el viario. Fuente: elaboración propia a partir de la Tabla 18 y la Tabla 19. 37
Tabla 21. Tiempos totales de viaje en avión. Fuente: elaboración propia a partir de datos de las diversas aerolíneas (SAS, Norwegian, Lufthansa y KLM Royal Dutch). 39
Tabla 22. Comparación de tiempos de viaje entre el modo ferroviario y el aéreo. Fuente: elaboración propia a partir de la Tabla 18 y la Tabla 21. 40
Tabla 23. Tiempos de viaje entre las principales ciudades que pueden beneficiarse de las conexiones en ferry mencionadas. Fuente: elaboración propia a partir de datos de Vía Michelín, , aferry.co.uk, fjordline.com y directferries.co.uk 44
Tabla 24. Comparación de tiempos de viaje entre los modos viario-marítimo y viario puro. Fuente: elaboración propia a partir de la Tabla 19 y la Tabla 23. 45
Tabla 25. Cuota modal del modo ferroviario frente al aéreo. Fuente: elaboración propia..... 48
Tabla 26. Pares de datos de tiempos de viaje y cuotas modales de los modos ferroviario y viario. Fuente: elaboración propia. 49

Tabla 27. Cuota modal del ferrocarril frente a la carretera en las principales rutas estudiadas. Fuente: elaboración propia a partir de la Tabla 20 y el Gráfico 2. 51
Tabla 28. Discusión del emplazamiento del enlace fijo del Øresund. Fuente: elaboración propia. 68
Tabla 29. Tiempos de viaje mínimos. Fuente: elaboración propia a partir de la Tabla 18, Tabla 19, Tabla 21y Tabla 23. 71
Tabla 30. Comparación entre los tiempos de viaje en tren y los tiempos de viaje mínimos. Fuente: elaboración propia a partir de la Tabla 18 y la Tabla 29. 72
Tabla 31. Características principales de ambas alternativas. Fuente: *Le Rail nº 171,* Noviembre 2010. 77
Tabla 32. Tráficos admitidos por cada tramo de línea en función de la alternativa escogida. Fuente: *Le Rail nº 171,* Noviembre 2010. 78
Tabla 33. Ahorros de tiempo con la construcción de la nueva línea Copnehague-Ringsted. Fuente: Banverket. 78
Tabla 34. Ahorros de tiempos de trayecto en la alternativa 1. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de String, *Status for High-Speed Networks in NorthernEurope.* 83
Tabla 35. Alternativa 2. Fuente: String, *Status for High-Speed Networks in Northern Europe.* .. 84
Tabla 36. Ahorros de tiempos de trayecto en la alternativa 2. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de String, *Status for High-Speed Networks in NorthernEurope.* 84
Tabla 37. Ahorros de tiempos de trayecto en la alternativa 3. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de String, *Status for High-Speed Networks in NorthernEurope.* 85
Tabla 38. Ahorros temporales entre Copenhague y Helsingør. Fuente: Debatoplæg til banestrategi for en konkurrencedygtig Øresundsregion. 89
Tabla 39. Ahorros en tiempos de viaje entre Copenhague y Hamburgo en función de la infraestructura construida. 90
Tabla 40. Características de las alternativas de conexión Oslo-Trollhättan. Fuente: elaboración propia a partir de datos de String, *Status for High-Speed Networks in Northern Europe.* 95
Tabla 41. Diferencias principales entre ambas alternativas. Fuente: *Observatoire des politiques et des stratégies de transport en Europe*, Junio 2010. 96
Tabla 42. Ahorros temporales con las líneas de alta velocidad suecas. Fuente: Railway Gazette. 99
Tabla 43. Características principales de las propuestas de alta velocidad en Noruega. Fuente: elaboración propia a partir de Jernbaneverket, *Feasibility Study Concerning High-Speed Railway Lines in Norway*..... 102
Tabla 44. Reducción de la demanda de tráfico aéreo ante la disminución del tiempo de viaje en ferrocarril de la ruta París-Lyon. Fuente: A. López Pita (1991). 104
Tabla 45. Población del área metropolitana de las ciudades del estudio. Fuente: Eurostat.... 112
Tabla 46. Resumen de los proyectos analizados. Fuente: elaboración propia. 114
Tabla 47. Ratios de priorización de las alternativas constructivas analizadas. Fuente: elaboración propia. 115
Tabla 48. Ratio de priorización de la Y noruega. Fuente: elaboración propia. 117
Tabla 49. Proyectos prioritarios. Fuente: elaboración propia. 118
Tabla 50. Nuevos tiempos de viaje en modo ferroviario entre las principales ciudades del norte de Europa. Fuente: elaboración propia. 119
Tabla 51. Ahorros temporales mediante la construcción de las líneas de alta velocidad seleccionadas en el presente estudio. Fuente: elaboración propia..... 120

Tabla 52. Nuevos tiempos de viaje mínimos para las rutas analizadas. Fuente: elaboración propia. 121
Tabla 53. Nuevos ratios tiempo en tren / tiempo mínimo en el nuevo panorama ferroviario. Fuente: elaboración propia. 122
Tabla 54. Nueva cuota modal del ferrocarril frente al avión. Fuente: elaboración propia. 126
Tabla 55. Nuevas cuotas modales del ferrocarril frente a la carretera. Fuente: elaboración propia. 127

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Descripción de la red ferroviaria sueca. Tramos de vía aptos para cada velocidad (km/h). Fuente: elaboración propia a partir de *Observatoire des politiques et des stratégies de transport en Europe, 2010.* 18
Gráfico 2. Relación entre la cuota modal del ferrocarril respecto a la carretera y el ratio tiempo tren / tiempo carretera. Fuente: elaboración propia. 50
Gráfico 3. Relación distancia-tiempo de trayecto de las principales conexiones europeas (alta velocidad) y escandinavas (líneas convencionales). Fuente: elaboración propia. 111
Gráfico 4. Nuevas relaciones distancia-tiempo de trayecto de las principales conexiones europeas (alta velocidad) y escandinavas (propuesta de nuevas líneas). Fuente: elaboración propia. 124

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El objetivo del presente estudio es evaluar la conveniencia de una red de alta velocidad ferroviaria en los países del norte de Europa. Para ello, en primer lugar se analizará la situación geográfica y demográfica de dichos países. Posteriormente, se estudiarán en detalle las infraestructuras de transporte ferroviarias, viarias, aéreas y marítimas que actualmente posee esta zona. A continuación se destacarán las debilidades del sistema ferroviario actual con el fin de detectar los tiempos de trayecto de las rutas susceptibles de ser mejorados y exponer los proyectos de mejora existentes. Después se analizará la pertinencia de la alta velocidad como solución a los problemas hallados, y se llevará a cabo un proceso de priorización para seleccionar los proyectos planteados más rentables desde el punto de vista socioeconómico. Finalmente, se efectuará una propuesta de mejora de las líneas ferroviarias actuales, mediante la materialización de los proyectos escogidos, y se examinarán las consecuencias que tendría dicha propuesta en el reparto modal del transporte de viajeros de Escandinavia

Esta tesina pretende ofrecer una visión exhaustiva de la situación del sistema ferroviario en estos países, con el objetivo de realizar un análisis que permita decidir el camino a seguir en los próximos años.

.

2. SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y DEMOGRAFÍA

Escandinavia es la región situada al norte de Europa, formada por Dinamarca, Suecia, Noruega y Finlandia.

Durante muchos siglos gran parte de esta zona ha estado separada del continente europeo por las aguas del Mar Báltico, cosa que imposibilitaba un transporte ferroviario eficiente entre ambas regiones. El desarrollo de trenes-ferry, consistentes en barcazas capaces de transportar trenes de una orilla a otra, no ha sido suficiente para dotar al ferrocarril del protagonismo deseado como vínculo de unión entre Escandinavia y el resto del continente europeo. A continuación, la Figura 1 muestra un mapa de los países escandinavos.

Figura 1. Mapa de los países escandinavos. Fuente: elaboración propia a partir de Google Maps.

A continuación se procede a resumir la situación geográfica y demográfica de los cuatro países escandinavos (Dinamarca, Suecia, Noruega y Finlandia).

2.1. DINAMARCA

Dinamarca es un país con una población total de 5.580.516 habitantes (2012). Su superficie total es de 43.098 kilómetros cuadrados, y su densidad de población media es de 129,7hab/km^2 (2011) Dicha área está distribuida principalmente entre los siguientes territorios:

- Península de Jutlandia. Es el territorio más vasto, aunque en él apenas viven 2,5 millones de habitantes. Las ciudades principales son Aalborg y Århus.
- Isla de Zelanda, que alberga la capital, Copenhague.
- Isla de Fionia. Su ciudad más importante es Odense.

Las principales ciudades, con sus poblaciones y densidad de población se ven reflejadas en la Tabla 1 y en la Figura 2.

CIUDAD	POBLACIÓN MUNICIPIO (2003-2006)	POBLACIÓN REGIÓN URBANA FUNCIONAL[1] (2003-2006)
Copenhague	501.664	1.822.569
Århus	293.510	653.472
Odense	185.206	475.082
Aalborg	163.231	495.669

Tabla 1. Principales ciudades de Dinamarca. Fuente: Eurostat.

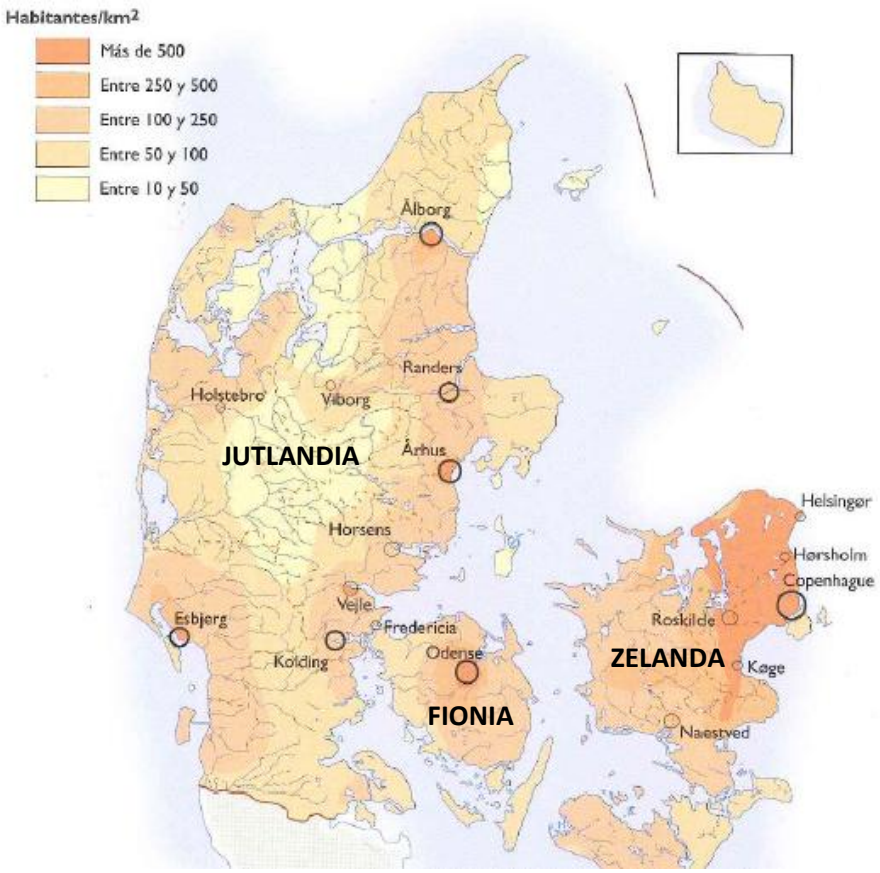

Figura 2. Densidad de población y principales ciudades de Dinamarca. Fuente: National Geographic.

[1] Definición aportada por la agencia estadística de la Unión Europea, *Eurostat*, basada en la aproximación del área metropolitana de las ciudades *UrbanAudit.*

Las distancias por vía terrestre entre las principales ciudades del país se muestran en la Figura 3.

Figura 3. Mapa de distancias entre las principales ciudades de Dinamarca. Fuente: elaboración propia a partir de Google Maps

Como se puede observar en la Figura 3, las distancias entre las principales ciudades hacen de Dinamarca un país apto para la alta velocidad, dado que la conexión entre las dos poblaciones más alejadas (Copenhague y Aalborg) no supera los 425 km.

2.2. SUECIA

La población total del país sueco es de 9.482.855habitantes (2012), con lo que es el país más poblado de Escandinavia. Su superficie es de 410.934km^2, y su densidad de población media es de 23,0 hab/km^2 (2011).Sus principales ciudades, con las respectivas poblaciones y densidades quedan reflejadas en la Tabla 2 y en la Figura 4.

CIUDAD	POBLACIÓN MUNICIPIO (2010-2012)	POBLACIÓN REGIÓN URBANA FUNCIONAL (2007-2009)
Estocolmo	847.073	1.981.263
Göteborg	513.751	914.923
Malmö	298.963	589.062
Uppsala	197.787	259.921
Linköping	146.416	188.945

Tabla 2. Principales ciudades de Suecia. Fuente: Eurostat.

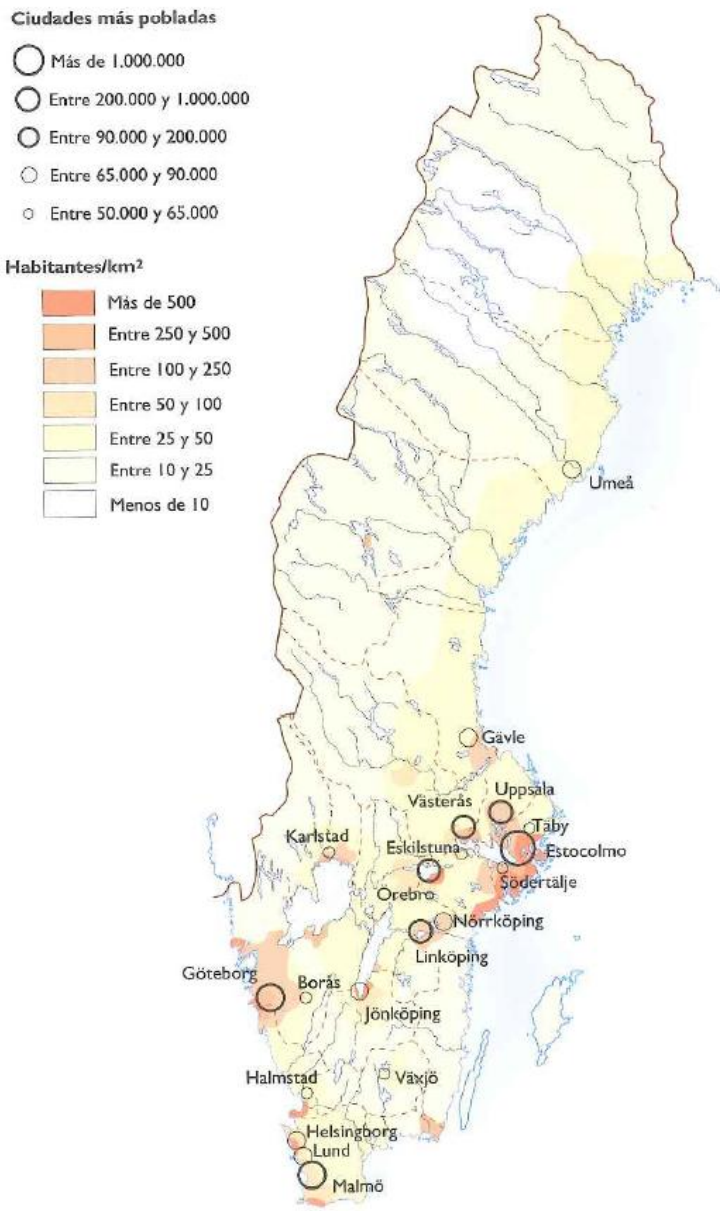

Figura 4. Densidad de población y principales ciudades de Suecia. Fuente: National Geographic.

Debido a sus inviernos extremadamente fríos, el 90% de la población vive en el tercio sur del país, así como en algunas poblaciones costeras del norte. Se puede observar como los habitantes de este país se concentran en la zona de la capital, Estocolmo, así como en los alrededores de Göteborg y Malmö.

La Figura 5 muestra las distancias por vía terrestre entre las principales ciudades del país:

Figura 5. Mapa de distancias por vía terrestre entre las principales ciudades de Suecia. Fuente: elaboración propia a partir de Google Maps.

En la Figura 5 se aprecia que las distancias entre las principales ciudades suecas (no superiores a 620 km) hacen factible su conexión mediante alta velocidad ferroviaria.

2.3. NORUEGA

Este país alberga a 4.985.870 de habitantes (2012). Su superficie total es de 323.758 km^2. Su densidad de población media es de 16,2 hab/km^2 (2011).Es extremadamente montañoso, motivo por el cual las conexiones internas por vía terrestre se ven obligadas a atravesar diversos túneles y viaductos, que las hace especialmente costosas. En la Tabla 3 y en la Figura 6 se muestran las principales ciudades de Noruega, con sus respectivas poblaciones y densidades de población.

CIUDAD	POBLACIÓN MUNICIPIO (2007-2009)	POBLACIÓN REGIÓN URBANA FUNCIONAL (2007-2009)
Oslo	560.484	1.162.255
Bergen	247.746	363.616
Trondheim	165.191	244.302
Stavanger	119.586	288.176
Kristiansand	78.919	143.560

Tabla 3. Principales ciudades de Noruega. Fuente: elaboración propia a partir de Eurostat.

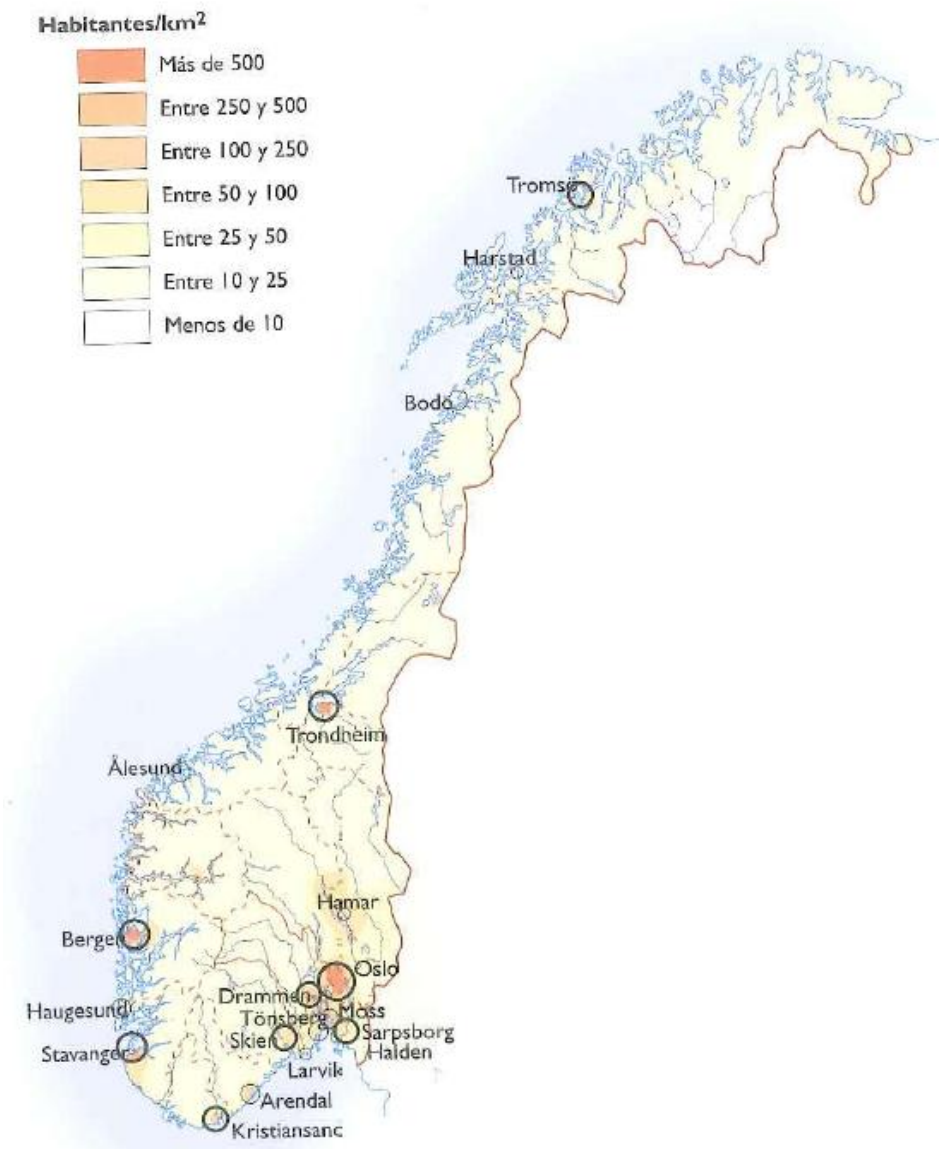

Figura 6. Densidad de población y principales ciudades de Noruega. Fuente: National Geographic.

En la Figura 6 se aprecia que la mayor concentración de población se da en la zona de la capital, Oslo, juntamente con las ciudades costeras de Bergen, Trondheim Stavanger, y Kristiansand. Como consecuencia del clima noruego, con frío intenso y fuertes nevadas durante gran parte del año, la mayoría de sus habitantes se aglomeran en las ciudades del sur del país.

La Figura 7 muestra las distancias por vía terrestre entre las principales ciudades del país:

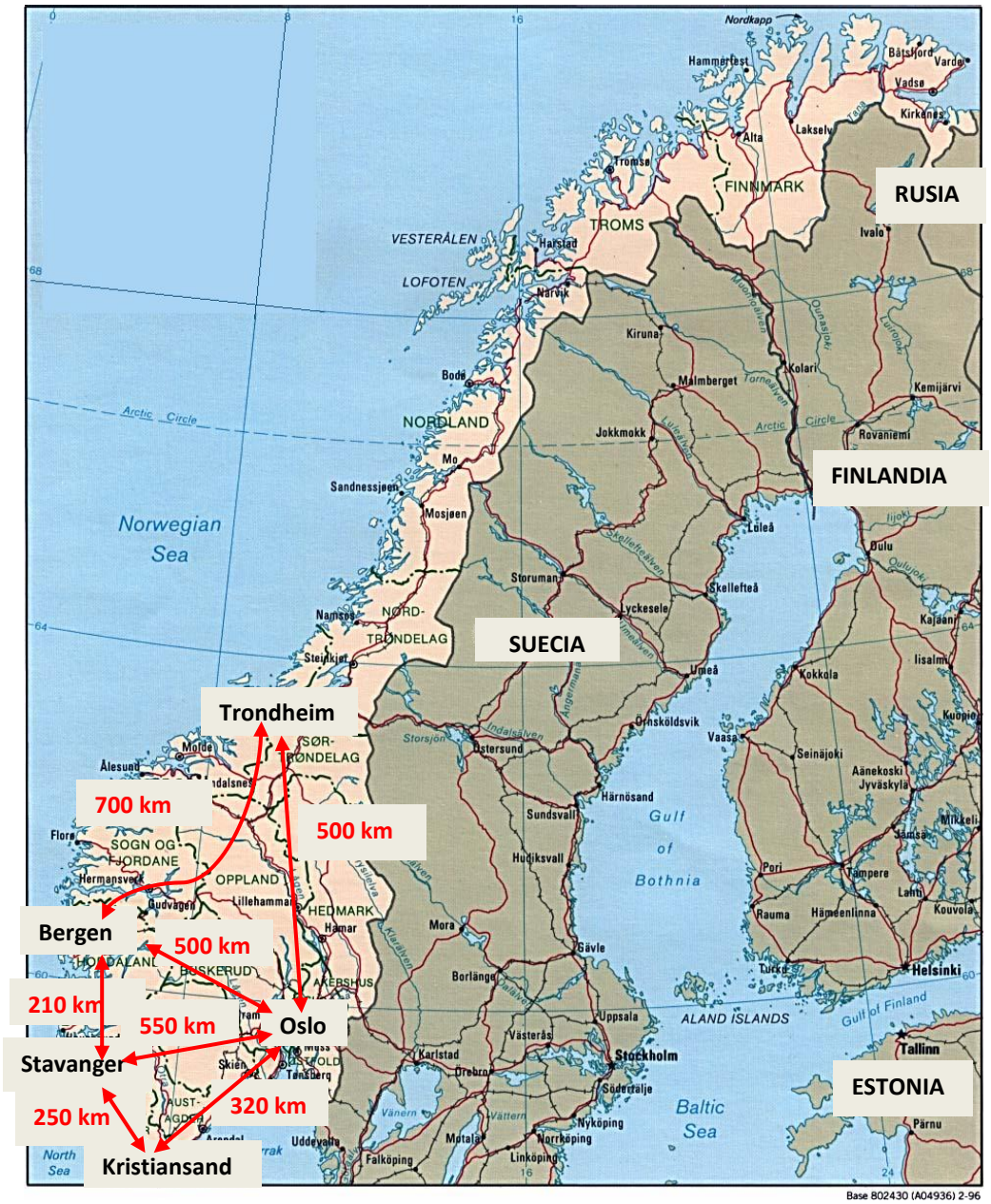

Figura 7. Mapa de las distancias por vía terrestre entre las principales ciudades de Noruega. Fuente: elaboración propia a partir de Google Maps.

Se puede apreciar en la Figura 7 que las distancias entre estas ciudades hacen viable la construcción de una red de alta velocidad, dado que la distancia mayor, que se da en la conexión Bergen-Trondheim, es de 700 km. Sin embargo, como se analizará más adelante, las dificultades orográficas de este país añaden complicaciones importantes a dicha red.

2.4. FINLANDIA

Este país de 5.401.267 habitantes (2012) está algo más aislado del continente europeo, sólo unido a éste mediante su frontera directa con Rusia. Tiene una superficie total de 388.145 km^2, y una densidad media de 17,7 hab/km^2 (2011).

La Tabla 4 y la Figura 8 muestran las principales ciudades del país, con sus respectivas poblaciones y densidades de población.

CIUDAD	POBLACIÓN MUNICIPIO (2010-2012)	POBLACIÓN REGIÓN URBANA FUNCIONAL (2007-2009)
Helsinki	588.549	1.279.685
Tampere	213.217	327.527
Turku	177.326	301.859
Oulu	141.671	212.809

Tabla 4. Principales ciudades de Finlandia. Fuente: elaboración propia a partir de datos de Eurostat

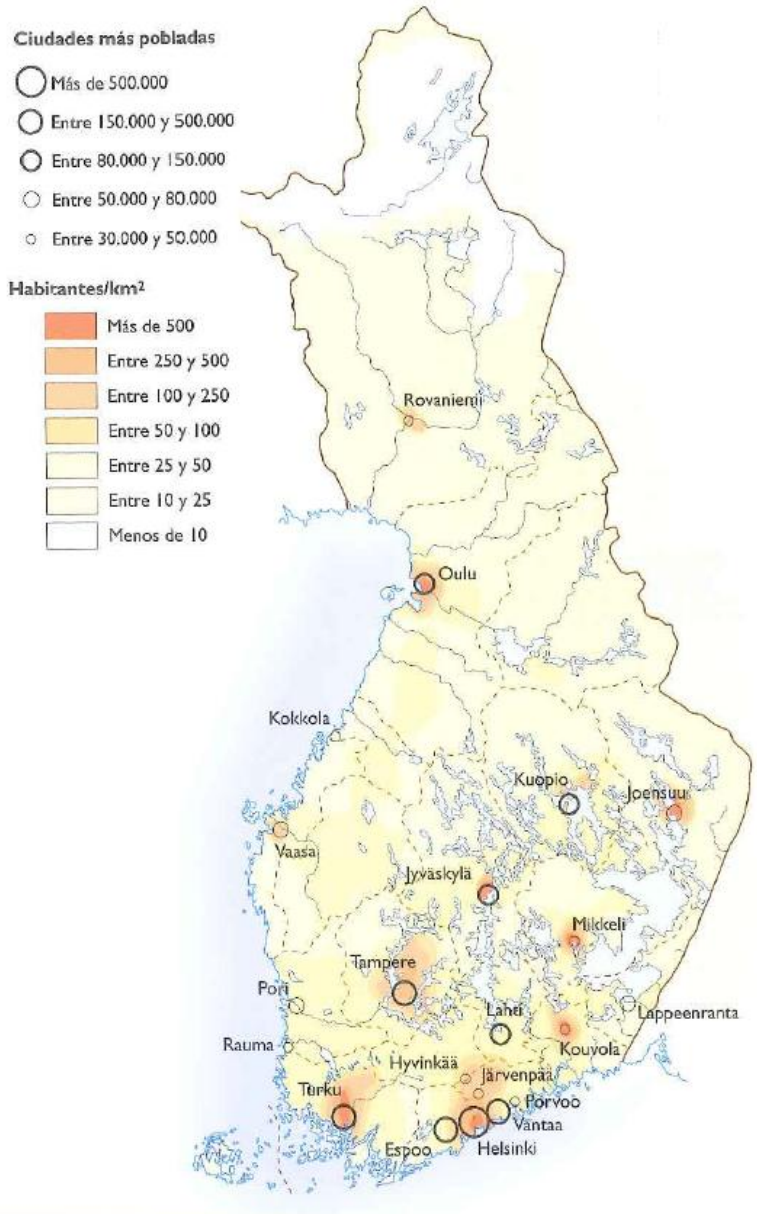

Figura 8. Densidad de población y principales ciudades de Finlandia. Fuente: National Geographic.

La Figura 8 permite concluir que las zonas más densamente pobladas de Finlandia son los alrededores de sus ciudades más pobladas (Helsinki, Tampere, Turku y Oulu). Adicionalmente se aprecia como la mayor densidad de población se da en el sur del país, debido a los largos y fríos inviernos que caracterizan el clima de la zona.

La Figura 9 muestra las distancias por vía terrestre entre las principales ciudades finesas:

Figura 9. Distancias por vía terrestre entre las principales ciudades de Finlandia y San Petersburgo, Rusia. Fuente: elaboración propia a partir de Google Maps.

Las distancias entre las principales ciudades del país hacen factible una conexión ferroviaria de alta velocidad. Sin embargo, la peculiar situación geográfica de Finlandia hace inviable la conexión de esta posible red de alta velocidad con la red central europea. De este modo, la única conexión factible a nivel internacional es con San Petersburgo, situada a 400 km de Helsinki.

Aunque existe una conexión por ferry entre la capital, Helsinki, y Tallin en Estonia, la distancia a salvar es de más de 80km. Adicionalmente, el ancho de vía finés es de 1524mm, diferente al ancho de vía internacional.

Es fácilmente apreciable que las condiciones geográficas del país finés dificultan en gran medida una conexión directa con el continente europeo sin atravesar territorio ruso. De este modo, el presente estudio se centrará solamente en Dinamarca, Suecia y Noruega.

3. MARCO ACTUAL DE LA SITUACIÓN FERROVIARIA

3.1. DINAMARCA

Contexto actual

En 1997, la compañía ferroviaria estatal (DSB), se separó en gestor de infraestructura (*Banedanmark*) y operador ferroviario (DSB).

Actualmente no existe ninguna línea de alta velocidad en territorio danés. Es más, la máxima velocidad de circulación permitida es de 180 km/h. Por otro lado, la red ferroviaria danesa sufre graves problemas de capacidad. Además, el gobierno danés se ha marcado el objetivo de duplicar el tráfico de pasajeros en 2020. A todo esto hay que añadirle que trenes de pasajeros y de carga comparten la misma infraestructura en casi toda la red.

Los trenes que circulan hoy en día por la red ferroviaria danesa son los IC3 y derivados, capaces de alcanzar una velocidad máxima de 180km/h. Estos trenes llevan funcionando desde 1989.

A continuación se detallan las características principales, de tráfico y de tiempos de viaje del sistema ferroviario de Dinamarca.

Características principales

La Tabla 5 apunta las propiedades esenciales del entramado ferroviario danés.

RED FERROVIARIA DANESA (2008)	
Administrador de la infraestrucura	Banedanmark
Operador ferroviario principal	DSB
Longitud total (km)	3.181
Longitud de red en ancho internacional (km)	3.181 (100%)
Longitud de vía doble o múltiple (km)	946 (29,7%)
Longitud de red electrificada (25 kW, 50 Hz) (km)	642 (20,2%)

Tabla 5. Características principales de la red ferroviaria danesa. Fuente: Eurostat.

Se constata que la red ferroviaria danesa no es muy extensa, dadas las pequeñas dimensiones del país. Además, el porcentaje de líneas en vía múltiple no llega al 30%, motivo que añade dificultades de operación y provoca problemas de capacidad en el sistema. Adicionalmente, solamente un 20,2% de la red está electrificada, con una potencia de 25kW y una frecuencia de 50 Hz, distintas a las de Suecia y Noruega.

En la Figura 10 aparece el mapa de la red ferroviaria de Dinamarca, así como su distribución en vía simple y doble, electrificada y no electrificada.

Figura 10. Mapa de la red Ferroviaria de Dinamarca. Fuente: elaboración propia a partir de eurail.com.

Dada su peculiar geografía, existen dificultades importantes para unir por vía terrestre los diferentes territorios del país.

Tráfico y Capacidad

La Tabla 6 aporta datos sobre el tráfico ferroviario en Dinamarca, tanto de pasajeros como de mercancías, mientras que la Tabla 7 proporciona información sobre su capacidad.

TRÁFICO FERROVIARIO DINAMARCA	
Pasajeros	
Transporte de pasajeros (millones de pax·km) (2011)	6.395
Cuota modal del transporte ferroviario de pasajeros (2010)	8,6%
Mercancías	
Transporte de mercancías (millones de toneladas·km) (2010)	2.239
Transporte de mercancías (miles de toneladas) (2010)	8.121
Cuota modal del transprte ferroviario de mercancías (2010)	13%

Tabla 6. Datos sobre el tráfico ferroviario en Dinamarca. Las cuotas modales hacen referencia al transporte terrestre. Fuente: Eurostat.

CAPACIDAD DE LA RED DINAMARCA	
Consumo de capacidad (miles de trenes·km por km de vía)	29

Tabla 7. Capacidad del sistema ferroviario de Dinamarca. Fuente: DTU Transport.

El transporte ferroviario de pasajeros en Dinamarca (millones de pax·km) ocupa la 14ª posición en Europa. Esto es en parte debido a la escasa población del país. Su cuota modal es del 8,6%, la 7ª mayor de Europa después de Suiza (17,9%), Hungría (11,8%), Austria (11,2%), Francia (9,9%), Holanda (9,7%) y Suecia (9,4%).

Por otro lado, el transporte de mercancías por ferrocarril (millones de toneladas·km) ocupa la 26ª posición dentro del continente europeo, y su cuota modal es del 13%. De este modo ocupa la 18ª posición del ranking europeo. Una posible causa de esta baja importancia del transporte de mercancías por ferrocarril es la fuerte y arraigada tradición marítima que ha mantenido Dinamarca, país formado por una península poco poblada y numerosas islas.

En cuanto a consumo de capacidad (miles de trenes·km por km de vía), la red danesa es la tercera más congestionada de Europa, después de Holanda (49) y Suiza (42).

La Figura 11 muestra los principales flujos de tráfico ferroviarios de Dinamarca.

Figura 11. Principales flujos de tráfico ferroviario de Dinamarca. Fuente: Banedanmark.

Se observa que el principal corredor es el que une Malmö (Suecia)-Copenhague-Odense-Århus-Aalborg. Asimismo, las líneas de cercanías de la capital también presentan tráficos elevados.

Tiempos de viaje y velocidades comerciales

La Figura 12 muestra los tiempos de viaje mínimos en tren entre las principales ciudades de Dinamarca.

Figura 12. Tiempos de viaje mínimos en tren entre las principales ciudades de Dinamarca. Fuente: elaboración propia a partir de los horarios de DSB.

Estos tiempos de viaje proporcionan las siguientes velocidades comerciales:

- Tramo Copenhague-Odense: 132 km/h.
- Tramo Odense-Århus: 145 km/h.
- Tramo Århus-Aalborg: 85 km/h.
- Conexión Copenhague-Aalborg: 95km/h.

Se constata que las velocidades comerciales, sobretodo en el tramo Århus-Aalborg, distan de poder ser consideradas alta velocidad.

3.2. SUECIA

Contexto actual

Similar a lo ocurrido en Dinamarca, pero 9 años antes (en 1988) Suecia dividió su empresa ferroviaria estatal en gestor de infraestructura (*Banverket*) y operador ferroviario (SJ).

A finales de los años 90 del siglo pasado, con el objetivo de aumentar la cuota mercado del transporte ferroviario, se modificó el sistema tarifario, de modo que aparecieron ofertas promocionales que abarataban el precio del billete. Esto revitalizó el uso del ferrocarril para trayectos regionales (inferiores a 100km). Esto se debe en parte a que el 39% de los suecos vive a menos de 2 km de una estación de tren, y el 73% vive a menos de 10km. Además, Estas estaciones se han mejorado durante los últimos años. Los trenes que circulan por la red son los X2000 (larga distancia), y el Y2 (regional).

El X2000 es un tren de caja basculante y bogíes flexibles que fue introducido en 1989. Gracias a estas características, su velocidad en curva aumenta de un 25 a un 30%. La introducción de este modelo de tren a la flota sueca permitió un aumento de la velocidad máxima permitida en la red de 160 a 200 km/h. De hecho, ha sido testado a una velocidad máxima de 276 km/h.

Antes de la aparición del X2000, la velocidad comercial en las principales líneas del país era de 85km/h. Después de su introducción, y con algunas mejoras de la infraestructura, ésta aumentó a 120km/h.

Recientemente, en 2010, *Banverket* se integró dentro de *Trafikverket*, que integra la gestión de todos los modos de transporte.

Actualmente existen líneas rápidas, pero no llegan a los estándares de alta velocidad (radios de giro pequeños, pasos a nivel, etc.). Algunas líneas presentan tramos en los que los X2000 pueden alcanzar los 200km/h, No obstante, todavía existen numerosos pasos a nivel, curvas con radios demasiado pequeños, muchas vías simples y numerosos problemas locales de capacidad. Además, trenes de pasajeros y carga comparten las mismas vías, hecho que agrava aún más el problema. *Travikverket* prevé que en el 2020 necesitará un 50% más de capacidad.

A continuación se detallan las características principales, de tráfico y de tiempos de viaje del sistema ferroviario de Suecia.

Características principales

La Tabla 8resume las propiedades del entramado ferroviario sueco:

RED FERROVIARIA SUECA (2010)	
Administrador de la infraestructura	Trafikverket
Operador ferroviario principal	SJ
Longitud total (km)	11.160
Longitud de red en ancho internacional (km)	11.095 (99,4%)
Longitud de vía doble o múltiple (km)	1.865 (16,7%)
Longitud de red electrificada (15 kW, 16,7 Hz) (km)	7.965 (71,4%)

Tabla 8. Características principales de la red ferroviaria sueca. Fuente Eurostat.

La red ferroviaria sueca es la más extensa de los países escandinavos. No obstante, solamente el 16,7 % de la línea es en vía múltiple, hecho que agrava los problemas de capacidad de la red. Un 71,4 % del sistema está electrificado a 15 kW y 16,7 Hz.

En la Figura 13 se observa el mapa de la red ferroviaria sueca y los tramos de la misma en vía única y vía doble, así como los tramos de línea electrificados y no electrificados.

Figura 13. Mapa de la red ferroviaria sueca. Fuente: elaboración propia a partir de eurail.com.

Se aprecia que las conexiones entre las ciudades más importantes son en vía doble, mientras que el resto de líneas son en vía única. En los alrededores de la capital existen algunos tramos con vía cuádruple.

El Gráfico 1 indica el número de secciones en las que es posible alcanzar una determinada velocidad máxima, expresada en km/h.

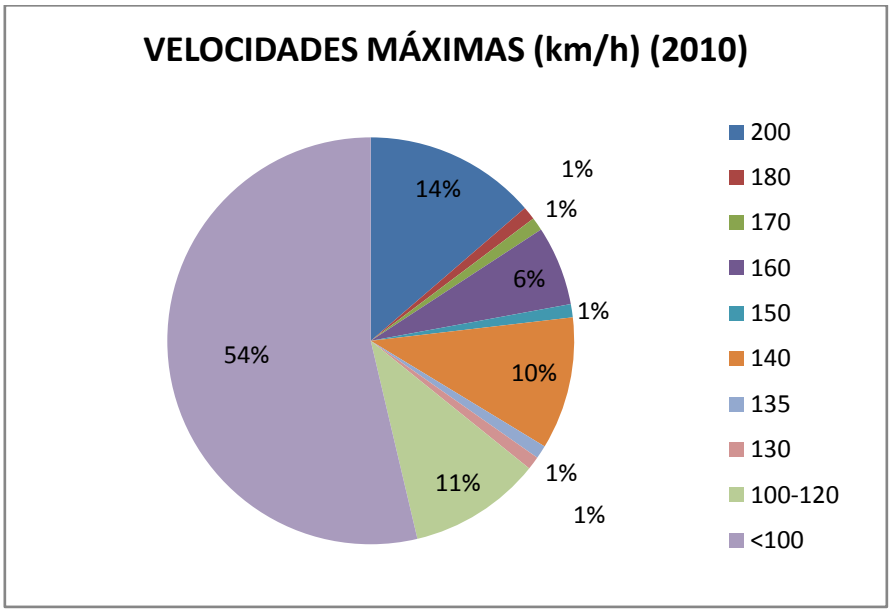

Gráfico 1. Descripción de la red ferroviaria sueca. Tramos de vía aptos para cada velocidad (km/h). Fuente: elaboración propia a partir de *Observatoire des politiques et des stratégies de transport en Europe, 2010.*

Como se puede observar, más de la mitad de la red no permite velocidades mayores a 100km/h. No obstante, en varios tramos de las líneas principales (14% de la red), esta velocidad máxima alcanza los 200 km/h. En la Figura 14 se aprecian dichos tramos.

Figura 14. Tramos de la red ferroviaria sueca en los que se alcanzan actualmente los 200 km/h. Fuente: Wikipedia.

Tráfico y capacidad

La Tabla 9 proporciona datos sobre el tráfico ferroviario de pasajeros y mercancías. Del mismo modo, la Tabla 10 aporta información sobre su capacidad.

TRÁFICO FERROVIARIO SUECIA	
Pasajeros	
Transporte de pasajeros (millones de pax·km) (2011)	11.379
Cuota modal del transporte ferroviario de pasajeros (2010)	9,4%
Mercancías	
Transporte de mercancías (millones de toneladas·km) (2011)	22.864
Transporte de mercancías (miles de toneladas) (2011)	67.907
Cuota modal del transporte ferroviario de mercancías (2010)	39,3%

Tabla 9. Datos sobre el tráfico ferroviario en Suecia. Las cuotas modales hacen referencia al transporte terrestre. Fuente: Eurostat.

CAPACIDAD DE LA RED SUECIA	
Consumo de capacidad (miles de trenes·km por km de vía)	10

Tabla 10. Capacidad del sistema ferroviario de Suecia. Fuente: DTU Transport.

El transporte ferroviario de pasajeros (millones de pax·km) ocupa la 8º posición dentro del ranking europeo, posición muy meritoria dada la escasa población de Suecia comparada con la del resto de países europeos que lideran la clasificación (Francia, Alemania, Reino Unido). Como se ha comentado anteriormente, la cuota modal del transporte ferroviario de pasajeros es la 6ª mayor de Europa.

El transporte de mercancías por ferrocarril (millones de toneladas·km) ocupa una importante 4ª posición, y su cuota modal es del 39,3%, de modo que ocupa la 5ª posición en el ranking europeo después de Letonia (61,9%), Estonia (54,2%), Suiza (45,6%) y Lituania (40,9%).

En cuanto a consumo de capacidad (miles de trenes·km por km de vía), Suecia se encuentra en la 13ª posición dentro del continente europeo. No obstante, las líneas principales (Estocolmo-Götemburgo y Estocolmo-Malmö) sufren graves niveles de congestión. Se demuestra, por lo tanto, que Suecia es un país con una cultura ferroviaria arraigada y activa.

Tiempos de viaje y velocidades comerciales

La Figura 15 muestra los tiempos de viaje mínimos entre las principales ciudades de Suecia:

Figura 15. Tiempos de viaje mínimos en tren entre las principales ciudades de Suecia. Fuente: elaboración propia a partir de SJ

Se constata que los tiempos de viaje actuales por ferrocarril entre las principales ciudades de Suecia aportan velocidades comerciales:

- Tramo Estocolmo-Göteborg: 148 km/h.
- Tramo Estocolmo-Malmö: 136 km/h.
- Tramo Göteborg-Malmö: 88 km/h.

Dichas velocidades comerciales no pueden ser consideradas alta velocidad, especialmente la del tramo Göteborg-Malmö.

Un total de 9700 km están dotados del sistema de señalización ATC.

3.3. NORUEGA

Contexto actual

En 1996, la empresa ferroviaria estatal (NSB) fue dividida en gestor de infraestructura, *Jernbaneverket* y operador ferroviario, NSB. En el año 2000 se abrió el mercado a otros operadores ferroviarios como CargoNet, Hector Rail, Tågåkeriet y Oftobanen.

Noruega comparte ancho de vía, sistema de señalización y de electrificación con Suecia, el único país con el que tiene frontera ferroviaria.

La única línea que permite la circulación a velocidades elevadas (210 km/h) es la que une Oslo con su aeropuerto. En el resto de la línea son escasos los tramos en los que se superan los 130 km/h.

A continuación se detallan las características principales, de tráfico y de tiempos de viaje del sistema ferroviario de Noruega.

Características principales

En la Tabla 11 se resumen las propiedades principales de la red ferroviaria noruega.

RED FERROVIARIA NORUEGA (2011)	
Administrador de la infraestrucura	Jernbaneverket
Operador ferroviario principal	NSB
Longitud total (km)	3.910
Longitud de red en ancho internacional (km)	3.910 (100%)
Longitud de vía doble o múltiple (km)	241 (6,16%)
Longitud de red electrificada (15 kW, 16,7 Hz) (km)	2.516 (64,3%)

Tabla 11. Características principales de la red ferroviaria noruega. Fuente: Eurostat.

Se constata que el entramado ferroviario noruego es poco mayor al de Dinamarca, un país con una superficie mucho menor. La causa de esta escasa cultura ferroviaria es su complicada orografía. Noruega está poblada de montañas y fiordos que dificultan sobremanera las comunicaciones terrestres. De hecho, la red atraviesa 696 túneles y cruza 2760 puentes. Adicionalmente, sólo un 6,16% del sistema es en doble vía, y un 64,3% está electrificado a 15 kW y 16,7 Hz, como en Suecia, su país vecino.

La Figura 16 muestra la red ferroviaria noruega, así como su distribución entre vía simple y vía doble y los tramos electrificados y no electrificados.

Figura 16. Mapa de la red ferroviaria noruega. Fuente: eurail.com

Se aprecia que la red ferroviaria noruega no conecta todas las ciudades principales entre sí, debido al complicado relieve del país.

Tráfico y capacidad

La Tabla 12 aporta datos sobre el tráfico ferroviario de pasajeros y mercancías en Noruega, y la Tabla 13 proporciona información sobre su capacidad.

TRÁFICO FERROVIARIO NORUEGA	
Pasajeros	
Transporte de pasajeros (millones de pax·km)	3.076
Cuota modal del transporte ferroviario de pasajeros (2010)	4,8%
Mercancías	
Transporte de mercancías (millones de toneladas·km) (2011)	3.574
Transporte de mercancías (miles de toneladas) (2011)	28.305
Cuota modal del transporte ferroviario de mercancías (2010)	15%

Tabla 12. Datos sobre el tráfico ferroviario de Noruega. Las cuotas modales hacen referencia al transporte terrestre. Fuente: Eurostat.

CAPACIDAD DE LA RED NORUEGA	
Consumo de capacidad (miles de trenes·km por km de vía)	9

Tabla 13. Capacidad del sistema ferroviario de Noruega. Fuente: DTU Transport.

Se observa que el transporte de pasajeros en Noruega (millones de pax·km) es el menor de los países analizados, ocupando la 18ª posición en el continente europeo, mientras que su cuota modal se sitúa en la 20ª posición.

Por otro lado, el transporte de mercancías por ferrocarril (millones de toneladas·km) es también escaso, y se sitúa en la 21ª posición, mientras que su cuota modal ocupa la 16ª posición del ranking europeo.

En cuanto a capacidad, la red noruega se encuentra en la 14ª posición en Europa, justo por detrás de Suecia.

Se concluye pues que, de todos los países escandinavos, Noruega es el país con el sistema ferroviario menos desarrollado.

Tiempos de viaje y velocidades comerciales

La Figura 17 muestra los tiempos de viaje mínimos entre las principales ciudades noruegas.

Figura 17. Tiempos de viaje mínimos entre las principales ciudades de Noruega. Fuente: elaboración propia a partir de los horarios de NSB.

Dichos tiempos de viaje proporcionan las siguientes velocidades comerciales:

- Tramo Oslo-Trondheim: 75 km/h
- Tramo Oslo-Bergen: 74 km/h
- Tramo Oslo-Kristiansand: 71 km/h
- Tramo Kristiansand-Stavanger: 80 km/h

Como se verá más adelante, estas velocidades comerciales presentan dificultades para competir con los de los demás modos de transporte.

4. OFERTA Y DEMANDA DE TRANSPORTE

4.1. Infraestructuras existentes

Aparte del sistema ferroviario, la oferta de infraestructuras se clasifica en:

- Viaria
- Aeroportuaria
- Portuaria

En consecuencia, a continuación se procede a analizar los sistemas mencionados en cada uno de los países de estudio.

4.1.1. Infraestructuras viarias

La Tabla 14 resume las características principales de los sistemas viarios de Dinamarca, Suecia y Noruega:

País	Longitud de autopistas (km)	Longitud de carreteras europeas (km)	Tráfico nacional anual de pasajeros (millones de pax·km)	Tráfico anual de mercancías (millones de toneladas·km) (2011)
Dinamarca	1128 (2008)	936 (2008)	69.368 (2008)	16.120
Suecia	1891 (2009)	7168 (2010)	108.685 (2010)	36.932
Noruega	393 (2011)	N/D	66.055(2011)	19.188

Tabla 14. Características principales del sistema viario de Dinamarca, Suecia y Noruega. Fuente: elaboración propia a partir de datos de Eurostat.

Se observa que Dinamarca, a pesar de su reducida superficie, tiene una longitud de autopistas elevada en comparación con los otros dos países, con un área mucho mayor.

En cuanto a tráficos, Suecia transporta del orden del doble de pasajeros·km y toneladas·km por sus carreteras, mientras que Dinamarca y Noruega, países con superficies muy distintas, tienen tráficos anuales similares. Esto denota la menor importancia del transporte viario en Noruega.

La Figura 18 muestra el mapa de carreteras europeas que discurren por estos territorios.

Figura 18. Mapa de carreteras europeas. Fuente: Eurostat

4.1.2. Infraestructuras aeroportuarias

La Tabla 15 resume las principales características del sistema aéreo de los países analizados.

País	Aeropuertos con más de 15000 pax al año (2011)	Transporte nacional de pasajeros (Enero-Agosto 2012)	Transporte intraeuropeo de pasajeros (Enero-Agosto 2012)	Transporte total de mercancías y correo (toneladas) (Enero-Agosto 2012)
Dinamarca	10	1.017.816	8.130.746	85.684
Suecia	40	3.676.147	8.489.238	71.621
Noruega	54	7.627.927	N/D	37.835

Tabla 15. Principales características del sistema aéreo. Fuente: elaboración propia a partir de datos de Eurostat.

Se observa que Noruega es el país que presenta un mayor número de aeropuertos con tráfico mayor a 15.000 pasajeros anuales, y un mayor movimiento de pasajeros en modo aéreo. Esto compensa las deficiencias prácticamente inevitables de sus sistemas viario y ferroviario. En cuanto a mercancías en cambio, Noruega es el país que transporta menos toneladas, frente a Dinamarca, con más del doble.

La Figura 19, Figura 20 y Figura 21 muestran los aeropuertos de cada uno de los tres países.

Figura 19. Mapa de los principales aeropuertos de Dinamarca. Fuente: aircraft-charter-world.com

Figura 20. Mapa de los principales aeropuertos de Suecia. Fuente: aircraft-charter-world.com

Figura 21. Mapa de los principales aeropuertos de Noruega. Fuente: aircraft-charter-world.com

4.1.3. Infraestructuras portuarias

La Tabla 16 muestra las principales características del transporte marítimo en los países analizados:

País	Miles de pasajeros transportados, excluyendo los cruceros (2011)	Miles de toneladas transportadas (2011)
Dinamarca	30581	92,61
Suecia	29149	181,64
Noruega	5770	198,97

Tabla 16. Principales características del transporte marítimo en Dinamarca, Suecia y Noruega. Fuente: elaboración propia a partir de datos de Eurostat.

Se observa que los tráficos de pasajeros de Dinamarca y Suecia son del mismo orden de magnitud, que a su vez es mucho mayor al movimiento de pasajeros de Noruega, donde predomina el transporte aéreo.

No obstante, el transporte de mercancías de Noruega es el mayor de los tres países analizados.

La Figura 22 muestra el mapa de los principales puertos de carga, en función de su movimiento de toneladas anual.

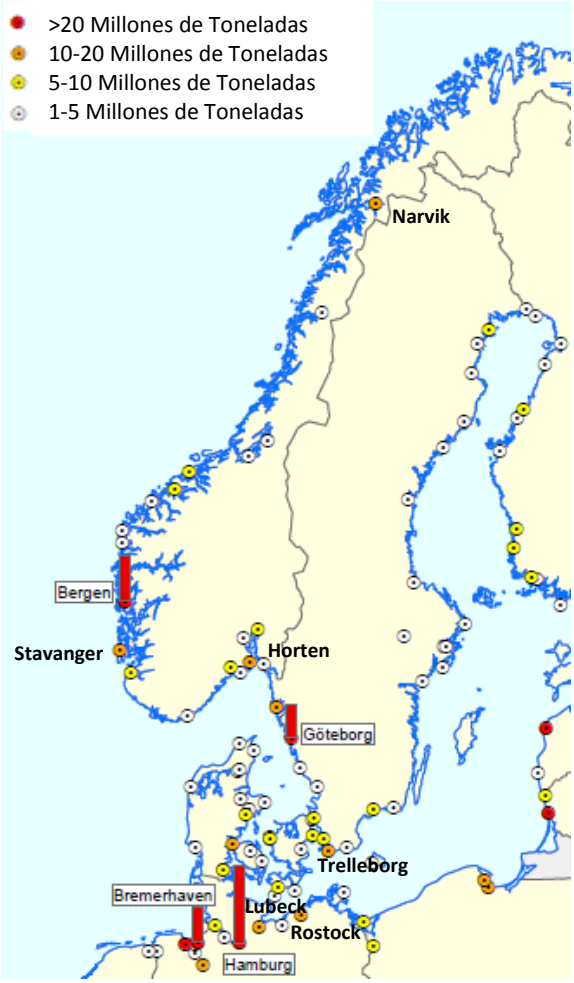

Figura 22. Mapa de los principales puertos de carga. Fuente: Eurostat.

Se aprecia que los principales puertos de carga de la zona son Hamburgo, Bremerhaven (Alemania), Bergen y Göteborg. En otro orden de importancia se sitúan los puertos de Lubeck y Rostock, en el norte de Alemania, Trelleborg, cercano a Malmö en el sur de Suecia, Horten próximo a Oslo en Noruega, Stavanger y Narvik, en el norte de Noruega.

4.2. Análisis de los tiempos de viaje en las principales rutas

En el momento de escoger un modo de transporte para realizar una determinada ruta, la duración del trayecto es un factor clave. Consecuentemente, a continuación se analizan los tiempos de viaje entre las principales ciudades de Dinamarca, Suecia y Noruega, así como la ciudad de alemana de Hamburgo, por la función potencial que puede desempeñar como puerta europea hacia Escandinavia. Dicho estudio se ha realizado por separado para los diferentes modos de transporte: ferroviario, viario, aéreo y combinación viario-marítimo.

4.2.1. Metodología

Para realizar el estudio de tiempos de viaje para las diferentes rutas, se han construido matrices origen destino, cuyas celdas contienen el valor de dichas duraciones de trayecto. Para ello, se han tenido en cuenta las siguientes hipótesis:

1. El tiempo de trayecto entre una ciudad A y otra ciudad B es el mismo en ambos sentidos, es decir, las matrices de tiempos de viaje serán simétricas.
2. Se asume que el origen y el destino de las rutas son las estaciones de ferrocarril, situadas dentro del núcleo urbano de las ciudades analizadas.

Modo ferroviario

3. En el modo ferroviario, ante la ausencia de rutas con servicio directo, la hipótesis 1 puede introducir ligeras variaciones, dado que los tiempos de espera en las estaciones de conexión no son siempre los mismos en ambos sentidos. No obstante, dicha suposición tiene efectos despreciables para el objeto del estudio.
4. Solamente se han considerado los tiempos mínimos de trayecto, es decir, únicamente se han tenido en cuenta las conexiones más rápidas existentes. La disponibilidad de dichas rutas rápidas está sujeta a los horarios de los diferentes operadores ferroviarios.

Modo viario

5. Para el cálculo de tiempos de viaje, se han asumido condiciones normales de tráfico y situación climática.

Combinación modo viario-marítimo

6. Se ha considerado un tiempo medio de espera de los ferries de 15 minutos.

Modo aéreo

7. Se ha tenido en cuenta un tiempo extra de una hora y media para la facturación, *check in* y embarque en la aeronave, además de los tiempos de acceso y salida de los aeropuertos correspondientes. Estos últimos vienen recogidos en la Tabla 17. En el caso de las ciudades de Malmö y Odense, el aeropuerto más cercano es del de Copenhague. Éstos son los únicos casos considerados en los que una población utiliza el aeropuerto de otra, debido a la gran proximidad de ambas ciudades en el caso de Malmö, y a la ausencia de un aeropuerto operante en el caso de Odense.
8. En las rutas sin conexión directa disponible, la hipótesis 1 también puede introducir ligeras variaciones dado que, de nuevo, los tiempos de espera en las estaciones de conexión no son siempre los mismos en ambos sentidos. No obstante, las variaciones introducidas en el modelo son nuevamente despreciables.

9. Solamente se han calculado los tiempos de viaje de las rutas no directas que pueden entrar en competencia con los otros modos. Existen rutas no directas entre poblaciones muy próximas (por ejemplo Copenhague-Malmö) cuya conexión por vía aérea carece de sentido.

Tiempos de acceso y salida de los aeropuertos (H:MM)	
Hamburgo	0:25
Copenhague	0:12
Århus	0:45
Odense-Aeropuerto de Copenhague	1:34
Aalborg	0:18
Estocolmo	0:20
Göteborg	0:30
Malmö-Aerpuerto de Malmö	0:45
Malmö-Aerpuerto de Copenhague	0:20
Oslo	0:20
Bergen	0:25
Trondheim	0:26
Stavanger	0:20
Kristiansand	0:20

Tabla 17. Tiempos de acceso y salida de los aeropuertos de las ciudades analizadas. Fuente: elaboración propia a partir de datos de los diferentes operadores viarios y ferroviarios de conexión de los aeropuertos.

A continuación se muestran las matrices origen-destino con los tiempos de viaje analizados para cada modo de transporte.

4.2.2. Modo ferroviario

La Tabla 18 muestra los tiempos de trayecto mínimos en tren entre las ciudades mencionadas. Algunas de las rutas no cuentan con servicios directos, de modo que es necesario realizar enlaces entre diferentes servicios ferroviarios, y los pasajeros pueden verse obligados a esperar en las estaciones de conexión, con lo que el tiempo de viaje se ve perjudicado.

Origen/Destino	Hamburgo	Copenhague	Århus	Odense	Aalborg	Estocolmo	Göteborg	Malmö	Oslo	Bergen	Trondheim	Stavanger	Kristiansand
Hamburgo		4:46	4:29	4:13	6:22	10:12	8:47	5:38	14:24	23:28	23:25	24:00	20:06
Copenhague	4:46		2:50	1:15	4:19	4:51	3:43	0:34	8:17	17:21	15:06	17:55	13:25
Århus	4:29	2:50		1:33	1:21	8:13	6:48	3:39	11:22	20:26	21:27	21:00	17:04
Odense	4:13	1:15	1:33		3:02	6:33	5:08	1:59	9:42	18:46	18:43	19:20	15:01
Aalborg	6:22	4:19	1:21	3:02		9:39	8:14	4:58	12:48	21:52	21:49	22:06	18:30
Estocolmo	10:12	4:51	8:13	6:33	9:39		3:11	4:29	5:55	13:36	9:48	14:54	11:28
Göteborg	8:47	3:43	6:48	5:08	8:14	3:11		3:07	3:49	12:05	12:50	12:12	8:50
Malmö	5:38	0:34	3:39	1:59	4:58	4:29	3:07		7:41	16:45	14:28	17:19	12:49
Oslo	14:24	8:17	11:22	9:42	12:48	5:55	3:49	7:41		6:47	6:40	7:58	4:32
Bergen	23:28	17:21	20:26	18:46	21:52	13:36	12:05	16:45	6:47		14:46	15:25	11:59
Trondheim	23:25	15:06	21:27	18:43	21:49	9:48	12:50	14:28	6:40	14:46		15:00	11:34
Stavanger	24:00	17:55	21:00	19:20	22:06	14:54	12:12	17:19	7:58	15:25	15:00		2:57
Kristiansand	20:06	13:25	17:04	15:01	18:30	11:28	8:50	12:49	4:32	11:59	11:34	2:57	

Tabla 18. Tiempos de viaje mínimos en tren. Dichos tiempos incluyen los tiempos de conexión necesarios en los servicios no directos. Fuente: elaboración propia a partir de datos de DB BAHN, DSB, SJ y NSB.

En la Tabla 18 se muestran en color verde los tiempos de viaje inferiores a las 3:30 h, en naranja los situados entre las 3:30 h y las 6:00 h, y en rojo los tiempos superiores a las 6:00 h.

Se constata que la mayoría de tiempos de viaje en las rutas analizadas son mayores de 6:00 h, con algunas excepciones. Los tiempos de viaje menores se dan entre las ciudades danesas y suecas situadas a menos de 300 km de distancia, excepto el caso de la ruta Estocolmo-Göteborg, que se realiza en un tiempo mínimo de poco más de 3h, y la distancia entre ambas ciudades es de 470 km.

En territorio noruego, en cambio, los tiempos de viaje son sustancialmente más altos, incluso entre ciudades relativamente cercanas. Esto se debe de nuevo a la complicada orografía del país.

Desde Hamburgo, los tiempos de viaje en tren son relativamente bajos a las ciudades danesas de Odense, Århus y Copenhague, además de Malmö, en Suecia. Esto es debido a la existencia de los enlaces fijos de Storebælt y Øresund, de los cuales se hablará más adelante.

La Figura 23 y la Figura 24 muestran sendos mapas de isócronas desde Copenhague y Oslo. Se aprecia que los tiempos de viaje desde Copenhague hasta Göteborg es de aproximadamente cuatro horas, el tiempo de trayecto hasta Estocolmo y Hamburgo es de unas 5 horas, y hasta Oslo son más de 8 horas. Por otro lado, los tiempos de viaje desde Oslo son de 4 horas hasta Göteborg y Kristiansand, de aproximadamente 6 horas a Estocolmo, de alrededor de 8 horas a Trondheim, Bergen, Stavanger, Copenhague y Malmö, de 12 horas hasta las poblaciones situadas en Jutlandia, y de 16 horas a Hamburgo.

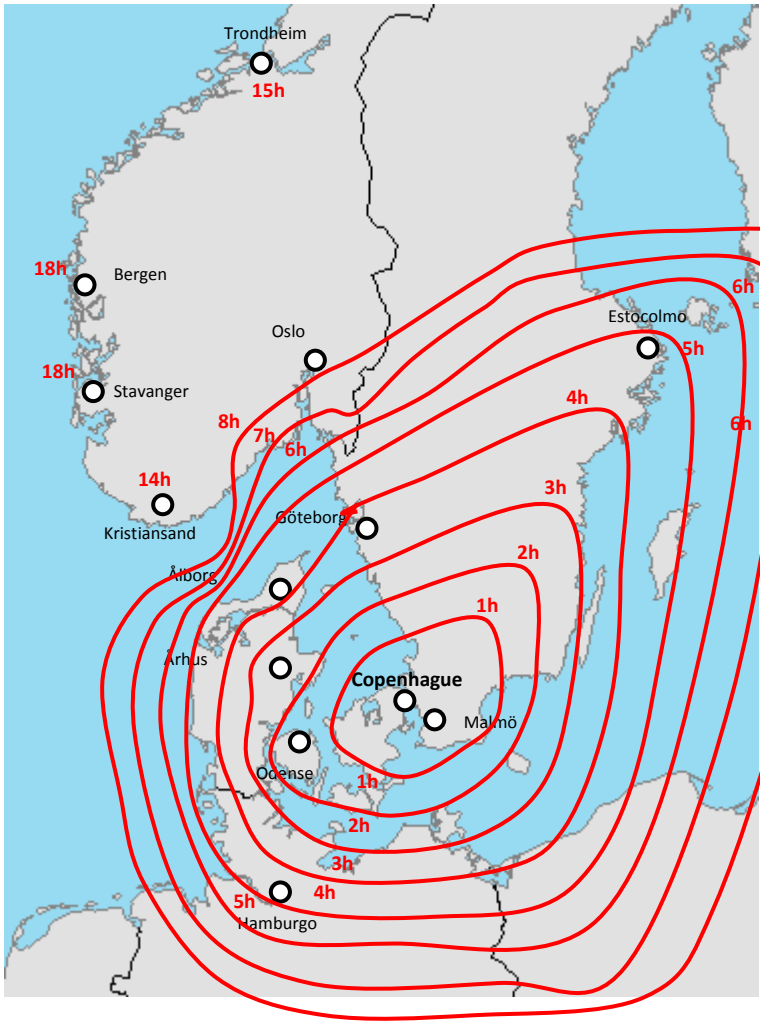

Figura 23. Mapa de isócronas con origen en Copenhague.

Fuente: elaboración propia.

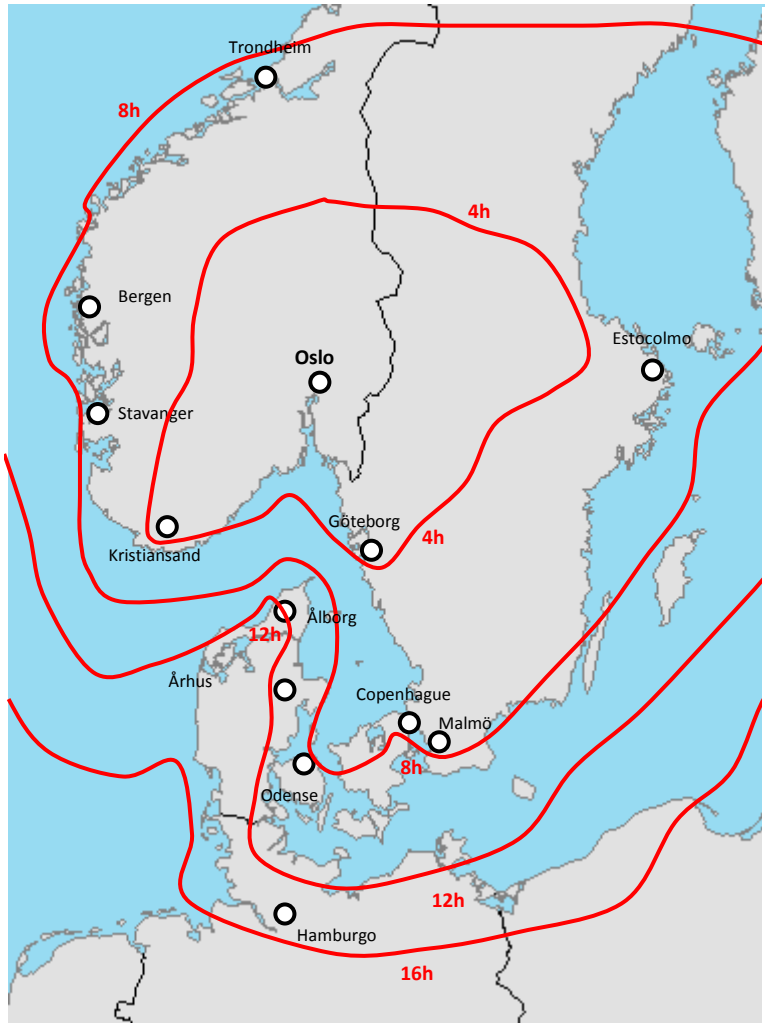

Figura 24. Mapa de isócronas con origen en Oslo.

Fuente: elaboración propia

4.2.3. Modo viario

La Tabla 19 muestra los tiempos de viaje por carretera entre las poblaciones analizadas.

Origen/Destino	Hamburgo	Copenhague	Århus	Odense	Aalborg	Estocolmo	Göteborg	Malmö	Oslo	Bergen	Trondheim	Stavanger	Kristiansand
Hamburgo		4:19	3:03	2:49	4:09	11:31	7:36	4:42	11:00	19:36	18:46	19:28	15:35
Copenhague	4:19		2:49	1:28	3:55	7:07	3:16	0:22	6:39	15:15	14:25	15:07	11:14
Århus	3:03	2:49		1:17	1:04	10:02	6:05	3:13	9:28	18:04	17:14	17:56	14:03
Odense	2:49	1:28	1:17		2:22	8:41	4:46	1:52	8:07	16:43	15:53	16:35	12:42
Aalborg	4:09	3:55	1:04	2:22		11:02	7:11	4:17	10:34	19:10	18:20	19:02	15:09
Estocolmo	11:31	7:07	10:02	8:41	11:02		4:36	6:41	6:30	15:06	10:30	14:58	11:05
Göteborg	7:36	3:16	6:05	4:46	7:11	4:36		2:49	3:23	11:59	11:09	11:51	7:58
Malmö	4:42	0:22	3:13	1:52	4:17	6:41	2:49		6:12	14:48	13:58	14:40	10:47
Oslo	11:00	6:39	9:28	8:07	10:34	6:30	3:23	6:12		8:36	7:46	8:28	4:35
Bergen	19:36	15:15	18:04	16:43	19:10	15:06	11:59	14:48	8:36		12:21	4:33	8:49
Trondheim	18:46	14:25	17:14	15:53	18:20	10:30	11:09	13:58	7:46	12:21		16:04	12:09
Stavanger	19:28	15:07	17:56	16:35	19:02	14:58	11:51	14:40	8:28	4:33	16:04		4:02
Kristiansand	15:35	11:14	14:03	12:42	15:09	11:05	7:58	10:47	4:35	8:49	12:09	4:02	

Tabla 19. Tiempos de viaje mínimos por carretera. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Via Michelín y las compañías de autobuses SweBus y GoByBus.

El modo viario ofrece unos tiempos de trayecto similares a los ferroviarios, con algunas variaciones. Dichas variaciones se analizan a continuación, en la comparativa entre los modos ferroviario y viario.

Comparativa modo ferroviario-modo viario

En la Tabla 20 se comparan los tiempos de viaje entre ambos modos. Para ello, se ha dividido el tiempo en tren entre el tiempo por carretera, y se ha expresado el resultado en porcentaje. El color verde indica un ratio menor al 100%, el color naranja indica un ratio situado entre el 100% y el 125%, y el rojo expresa un ratio mayor al 125%.

Origen/Destino	Hamburgo	Copenhague	Århus	Odense	Aalborg	Estocolmo	Göteborg	Malmö	Oslo	Bergen	Trondheim	Stavanger	Kristiansand
Hamburgo		110%	147%	150%	153%	89%	116%	120%	131%	120%	125%	123%	129%
Copenhague	110%		101%	85%	110%	68%	114%	155%	125%	114%	105%	119%	119%
Århus	147%	101%		121%	127%	82%	112%	113%	120%	113%	124%	117%	121%
Odense	150%	85%	121%		128%	75%	108%	106%	120%	112%	118%	117%	118%
Aalborg	153%	110%	127%	128%		87%	115%	116%	121%	114%	119%	116%	122%
Estocolmo	89%	68%	82%	75%	87%		69%	67%	91%	90%	93%	100%	103%
Göteborg	116%	114%	112%	108%	115%	69%		111%	113%	101%	115%	103%	111%
Malmö	120%	155%	113%	106%	116%	67%	111%		124%	113%	104%	118%	119%
Oslo	131%	125%	120%	120%	121%	91%	113%	124%		79%	86%	94%	99%
Bergen	120%	114%	113%	112%	114%	90%	101%	113%	79%		120%	339%	136%
Trondheim	125%	105%	124%	118%	119%	93%	115%	104%	86%	120%		93%	95%
Stavanger	123%	119%	117%	117%	116%	100%	103%	118%	94%	339%	93%		73%
Kristiansand	129%	119%	121%	118%	122%	103%	111%	119%	99%	136%	95%	73%	

Tabla 20. Comparación de tiempos de viaje entre el modo ferroviario y el viario. Fuente: elaboración propia a partir de la Tabla 18 y la Tabla 19.

Observando con detenimiento la Tabla 20, se constata que el modo ferroviario es más rápido que el viario en los trayectos entre:

- Estocolmo y el resto de las poblaciones analizadas, excepto Kristiansand (103%).
- Oslo y las demás ciudades noruegas.
- Copenhague-Odense, ambas en Dinamarca.
- Trondheim-Stavanger, Trondheim-Kristiansand, Stavanger-Kristiansand, todas ellas en Noruega.

Se aprecia que la mayoría de rutas restantes tienen tiempos de viaje en tren relativamente superiores a los tiempos de viaje por carretera. Con algunas mejoras de velocidad comercial en las rutas ferroviarias, el modo ferroviario podría ganar mercado potencial en cuanto a tiempos de viaje se refiere.

No obstante, existen rutas con tiempos de trayecto en tren significativamente mayores a los del modo viario. Estas son:

- Conexiones desde Hamburgo a las ciudades de Århus, Odense y Aalborg. Estas poblaciones están situadas a una distancia relativamente pequeña de la ciudad alemana, pero sin embargo las comunicaciones ferroviarias no son eficientes en tiempo de trayecto.
- De Århus y Odense a Aalborg, también situadas a muy corta distancia.
- Bergen-Stavanger, Bergen-Kristiansand, dado que no existe una línea ferroviaria entre dichas poblaciones, y los trenes se ven obligados a pasar por Oslo.

Conclusiones

De la comparativa entre los modos viario y ferroviario, se llega a las siguientes conclusiones:

- La mayoría de trayectos son ligeramente más rápidos por carretera que por ferrocarril. No obstante, con ligeras mejoras en el servicio ferroviario, estas diferencias pueden ser reducidas.
- Las conexiones ferroviarias con Estocolmo son sensiblemente más rápidas en tren que por carretera.
- A pesar de contar con tiempos de viaje elevados, las conexiones entre las principales ciudades de Noruega (excepto Bergen-Stavanger y Bergen-Kristiansand, por ausencia de una línea de ferrocarril que las una) son ligeramente más rápidas en tren que por carretera. Esto remarca de nuevo las dificultades que deben superar las conexiones terrestres en Noruega.
- Las mayoría de conexiones ferroviarias a Hamburgo y Aalborg ofrecen unos tiempos de viaje sustancialmente superiores a las viarias, problema que se podría solucionar con mejoras de las líneas.

4.2.4. Modo aéreo

La Tabla 21 muestra los tiempos de viaje en las rutas analizadas. Las celdas en cursiva indican conexiones no directas. Las celdas vacías hacen referencia a rutas que en avión carecen de sentido por no ofrecer tiempos de viaje competitivos, ya sea por la gran proximidad entre las ciudades unidas, o por la combinación de proximidad con ausencia de conexiones directas.

Origen/Destino	Hamburgo	Copenhague	Århus	Odense	Aalborg	Estocolmo	Göteborg	Malmö	Oslo	Bergen	Trondheim	Stavanger	Kristiansand
Hamburgo		**2:57**	*5:25*	**4:19**	*4:58*	**3:40**	*4:45*	*3:05*	**3:40**	*5:35*	*5:56*	*5:30*	***5:05***
Copenhague	**2:57**		**3:02**	**-**	**2:45**	**3:12**	**2:57**	**-**	**3:12**	**3:27**	**3:38**	**3:12**	**3:07**
Århus	*5:25*	**3:02**		**-**	**-**	**3:55**	**3:20**	**3:10**	**3:40**	*6:00*	*7:06*	*5:30*	*5:10*
Odense	*4:19*	**-**	**-**		**-**	**4:34**	**4:19**		**4:34**	**4:49**	5:00	**4:34**	**4:29**
Aalborg	*4:58*	**2:45**	**-**	**-**		***5:13***	*4:43*	*2:53*	**3:08**	*4:48*	*5:19*	**3:03**	*5:33*
Estocolmo	**3:40**	**3:12**	**3:55**	**4:34**	*5:13*		**3:15**	**3:40**	**3:05**	**3:35**	**3:36**	**3:45**	*4:45*
Göteborg	*4:45*	**2:57**	**3:20**	**4:19**	*4:43*	**3:15**		**-**	**-**	*5:20*	*5:16*	*5:05*	*6:55*
Malmö	*3:05*	**-**	**3:10**	**-**	*2:53*	**3:40**	**-**		**3:20**	**3:35**	**3:36**	**3:30**	3:30
Oslo	**3:40**	**3:12**	**3:40**	**4:34**	**3:08**	**3:05**	**-**	**3:20**		**3:10**	**3:06**	**3:00**	**2:55**
Bergen	*5:35*	3:27	*6:00*	**4:49**	*4:48*	**3:35**	*5:20*	**3:35**	**3:10**		**3:21**	**2:55**	*4:25*
Trondheim	*5:56*	3:38	*7:06*	**5:00**	*5:19*	**3:36**	*5:16*	**3:36**	**3:06**	**3:21**		**3:26**	*4:31*
Stavanger	*5:30*	3:12	*5:30*	**4:34**	**3:03**	**3:45**	*5:05*	**3:30**	**3:00**	**2:55**	**3:26**		**-**
Kristiansand	*5:05*	3:07	*5:10*	**4:29**	***5:33***	***4:45***	*6:55*	**3:30**	**2:55**	*4:25*	*4:31*	**-**	

Tabla 21. Tiempos totales de viaje en avión. Fuente: elaboración propia a partir de datos de las diversas aerolíneas (SAS, Norwegian, Lufthansa y KLM Royal Dutch).

Se observa que la todas las rutas directas tienen tiempos de trayecto inferiores a las 4h.

Comparativa modo ferroviario-modo aéreo

A continuación se comparan los tiempos de viaje en tren y en avión. Para ello, se ha construido la Tabla 22, cuyas celdas muestran el valor del ratio *tiempo de viaje en tren/tiempo de viaje en avión*, expresado en porcentaje.

Origen/Destino	Hamburgo	Copenhague	Århus	Odense	Aalborg	Estocolmo	Göteborg	Malmö	Oslo	Bergen	Trondheim	Stavanger	Kristiansand
Hamburgo		162%	83%	98%	128%	278%	185%	183%	393%	420%	395%	436%	395%
Copenhague	162%		93%	-	157%	152%	126%	-	259%	503%	416%	560%	430%
Århus	83%	93%		-	-	210%	204%	115%	310%	341%	302%	382%	330%
Odense	98%	-	-		-	143%	119%	-	212%	390%	374%	423%	335%
Aalborg	128%	157%	-	-		185%	175%	172%	409%	456%	410%	725%	333%
Estocolmo	278%	152%	210%	143%	185%		98%	122%	192%	380%	272%	397%	241%
Göteborg	185%	126%	204%	119%	175%	98%		-	-	227%	244%	240%	128%
Malmö	183%	-	115%	-	172%	122%	-		231%	467%	402%	495%	366%
Oslo	393%	259%	310%	212%	409%	192%	-	231%		214%	215%	266%	155%
Bergen	420%	503%	341%	390%	456%	380%	227%	467%	214%		441%	529%	271%
Trondheim	395%	416%	302%	374%	410%	272%	244%	402%	215%	441%		437%	256%
Stavanger	436%	560%	382%	423%	725%	397%	240%	495%	266%	529%	437%		-
Kristiansand	395%	430%	330%	335%	333%	241%	128%	366%	155%	271%	256%	-	

Tabla 22. Comparación de tiempos de viaje entre el modo ferroviario y el aéreo. Fuente: elaboración propia a partir de la Tabla 18 y la Tabla 21.

Se constata que en la mayoría de rutas el avión ofrece un tiempo de viaje inferior al ferrocarril Las únicas excepciones son las conexiones siguientes:

- Hamburgo-Århus, Hamburgo-Odense.
- Copenhague-Århus, Copenhague-Odense, Copenhague-Malmö.
- Århus-Odense, Århus-Aalborg.
- Odense-Aalborg.
- Göteborg-Malmö, Göteborg-Oslo.
- Stavanger-Kristiansand

Se observa que las rutas en las que el ferrocarril es más veloz son aquéllas que unen ciudades cercanas o entre las cuales no existe un servicio aéreo directo.

Existen rutas con ratios situados entre el 100% y el 125%, como Århus-Malmö, Odense-Göteborg y, Estocolmo-Malmö, que podrían ofrecer tiempos competitivos con mejoras en las líneas. No obstante, las rutas con origen o destino en Noruega ofrecen ratios muy elevados.

Conclusiones

El análisis comparativo entre los modos ferroviario y viario aporta las siguientes ideas:

- En la mayoría de las rutas el modo aéreo ofrece tiempos de viaje visiblemente menores al modo ferroviario, especialmente las conexiones a y entre ciudades noruegas.
- Existen rutas en las que el tren es más veloz que el avión, especialmente aquéllas que unen ciudades cercanas o sin conexión aérea directa.
- Mejorando las conexiones ferroviarias Århus-Malmö, Odense-Göteborg y, Estocolmo-Malmö, estas rutas podrían ofrecer tiempos de viaje inferiores al modo aéreo, de modo que la cuota de mercado potencial del ferrocarril aumentaría.

4.2.5. Combinación modos viario-marítimo

La geografía escandinava, con numerosas penínsulas e islas, incentiva al uso combinado de modos de transporte viarios con el actual sistema de ferries.

La Tabla 23 resume los tiempos de viaje de las rutas susceptibles de ahorrar en tiempo de trayecto mediante el uso de conexiones por ferry. Dichas conexiones son las siguientes, mostradas en la Figura 25:

- Puttgarden (Alemania)-Rodby (Dinamarca) (45 min)
- Grenå (Dinamarca)-Varberg (Suecia) (4h 25 min)
- Frederikshavn (Dinamarca)-Göteborg (3h 20 min)
- Hirtshals (Dinamarca)-Larvik (Noruega) (3h 45 min)
- Hirtshals (Dinamarca)-Kristiansand (3h 15min)

Figura 25. Mapa de las conexiones en ferry disponibles, con los tiempos de trayecto correspondientes. Fuente: elaboración propia a partir de aferry.co.uk, fjordline.com, directferries.co.uk y google maps.

Las rutas que se ven potencialmente beneficiadas por estas conexiones marítimas son aquéllas que conectan Hamburgo o poblaciones situadas en Fionia o la península de Jutlandia (Odense, Århus, Aalborg) con Göteborg y las ciudades noruegas de Oslo, Kristiansand, Stavanger y Bergen. A continuación se muestra la matriz con los tiempos de viaje de las rutas mencionadas.

Origen/Destino	Hamburgo	Copenhague	Århus	Odense	Aalborg	Estocolmo	Göteborg	Malmö	Oslo	Bergen	Trondheim	Stavanger	Kristiansand
Hamburgo		3:33				10:55	7:04	4:10	10:27	17:19	18:13	12:31	8:14
Copenhague	3:33												
Århus							5:13		6:59	13:58		9:26	5:09
Odense							6:31		8:17	15:35		10:48	6:31
Aalborg							4:09		5:55	13:09		8:22	4:05
Estocolmo	10:55												
Göteborg	7:04		5:13	6:31	4:09								
Malmö	4:10												
Oslo	10:27		6:59	8:17	5:55								
Bergen	17:19		13:58	15:35	13:09								
Trondheim	18:13												
Stavanger	12:31		9:26	10:48	8:22								
Kristiansand	8:14		5:09	6:31	4:05								

Tabla 23. Tiempos de viaje entre las principales ciudades que pueden beneficiarse de las conexiones en ferry mencionadas. Fuente: elaboración propia a partir de datos de Vía Michelín, , aferry.co.uk, fjordline.com y directferries.co.uk

Se observa que los tiempos de viaje son todavía bastante elevados, dado que los ferries ofrecen velocidades de trayecto inferiores a la de los medios de transporte terrestre.

Comparativa modo combinado viario-marítimo con modo puramente viario

Dividiendo los tiempos de viaje en modo mixto viario-marítimo entre los del modo puramente viario se obtiene la Tabla 24, expresada en porcentajes:

Origen/Destino	Hamburgo	Copenhague	Århus	Odense	Aalborg	Estocolmo	Göteborg	Malmö	Oslo	Bergen	Trondheim	Stavanger	Kristiansand
Hamburgo		82%				95%	93%	89%	95%	88%	97%	64%	53%
Copenhague	82%												
Århus							86%		74%	77%		53%	37%
Odense							137%		102%	93%		65%	51%
Aalborg							58%		56%	69%		44%	27%
Estocolmo	95%												
Göteborg	93%		86%	137%	58%								
Malmö	89%												
Oslo	95%		74%	102%	56%								
Bergen	88%		77%	93%	69%								
Trondheim	97%												
Stavanger	64%		53%	65%	44%								
Kristiansand	53%		37%	51%	27%								

Tabla 24. Comparación de tiempos de viaje entre los modos viario-marítimo y viario puro. Fuente: elaboración propia a partir de la Tabla 19 y la Tabla 23.

La Tabla 24 demuestra que en la mayoría de las rutas escogidas, la elección de la ruta que combina carretera y servicio de ferry es la más rápida. Los mayores ahorros temporales se dan en las rutas entre poblaciones más cercanas a los puertos desde donde zarpan las embarcaciones. A su vez, es en estas rutas en las que el modo puramente terrestre tiene menos sentido (como es el ejemplo de Aalborg-Kristiansand, que para conectarlas por vía terrestre es necesario cruzar toda Dinamarca y bordear la costa oeste de Suecia).

Por otro lado, el tiempo de viaje entre Odense y Oslo es parecido en ambas opciones. Por último, la conexión Göteborg-Odense es más lenta escogiendo el ferry que circulando solamente por carretera. Esto es debido a que Odense es una población situada en el centro de Dinamarca, y no se beneficia tanto de las conexiones por ferry como lo pueden hacer las ciudades situadas al norte y noroeste del país.

Conclusiones

- Las rutas que se benefician de las conexiones por ferry son las que unen Hamburgo y poblaciones del oeste de Dinamarca con Göteborg y las del sur de Noruega.
- La ciudad de Odense, al estar en el centro del país danés, está situada en la frontera de ciudades que ahorran tiempo mediante el uso de conexiones marítimas.

Más adelante se analizarán conjuntamente los tiempos de viaje de las rutas estudiadas con el objetivo de identificar las rutas en las que una reducción del tiempo de viaje dotaría de competitividad al modo ferroviario.

4.3. Cuota modal del ferrocarril

4.3.1. Cuota modal del ferrocarril frente al modo aéreo.

Aglutinando diferentes experiencias internacionales, se constata que la cuota modal del tráfico ferroviario respecto al modo aéreo es dependiente del tiempo de viaje. La Figura 26 muestra dicha relación:

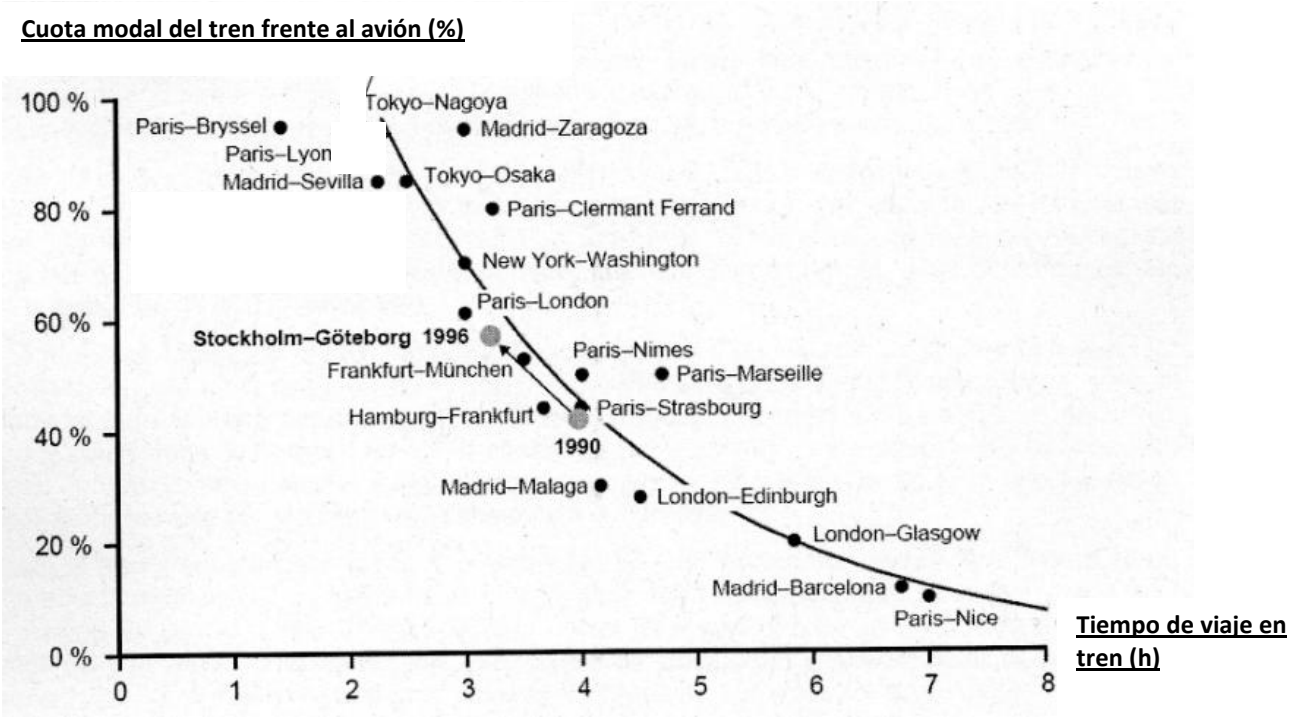

Figura 26. Cuota modal del modo ferroviario respecto al viario en función del tiempo de viaje en tren. Fuente: JANSSON, Kjell; NELLDAL, Bo-Lehnart, *High Speed trains in Sweden, a good idea?*

En consecuencia, se ha hecho uso de esta experiencia, conociendo los tiempos de viaje de las principales rutas, para ofrecer una aproximación contrastada de la cuota modal del modo ferroviario frente al aéreo. De este modo, se han utilizado los tiempos de viaje mostrados en la Tabla 18 y se han obtenido las cuotas modales resumidas en la Tabla 25.

Origen/Destino	Hamburgo	Copenhague	Århus	Odense	Ålborg	Estocolmo	Göteborg	Mälmo	Oslo	Bergen	Trondheim	Stavanger	Kristiansand
Hamburgo		29%	34%	40%	7%	0%	0%	16%	0%	0%	0%	0%	0%
Copenhague	29%		74%	100%	38%	28%	51%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
Århus	34%	74%		100%	100%	0%	4%	53%	0%	0%	0%	0%	0%
Odense	40%	100%	100%		69%	6%	23%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
Ålborg	7%	38%	100%	69%		0%	0%	26%	0%	0%	0%	0%	0%
Estocolmo	0%	28%	0%	6%	0%		64%	34%	12%	0%	0%	0%	0%
Göteborg	0%	51%	4%	23%	0%	64%		66%	49%	0%	0%	0%	0%
Mälmo	16%	100%	53%	100%	26%	34%	66%		0%	0%	0%	0%	0%
Oslo	0%	0%	0%	0%	0%	12%	49%	0%		4%	5%	0%	33%
Bergen	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	4%		0%	0%	0%
Trondheim	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	5%	0%		0%	0%
Stavanger	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		71%
Kristiansand	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	33%	0%	0%	71%	

Tabla 25. Cuota modal del modo ferroviario frente al aéreo. Fuente: elaboración propia.

Si se calcula la cuota modal media del ferrocarril frente al avión, ésta es del 17%. Además, se observa que las únicas rutas con más del 60% de reparto modal respecto al avión son:

- Copenhague-Odense (100%)
- Copenhague-Malmö (100%)
- Århus-Odense (100%)
- Århus-Aalborg (100%)
- Odense-Malmö (100%)
- Copenhague-Århus (74%)
- Stavanger-Kristiansand (71%)
- Odense-Aalborg (69%)
- Malmö-Göteborg (66%)
- Estocolmo-Göteborg (64%)
- Malmö- Århus (53%)
- Copenhague-Göteborg (51%)

De este modo, se constata que el sistema ferroviario no ofrece tiempos de viaje lo suficientemente competitivos como para competir con el tráfico aéreo en las principales rutas de los países del norte de Europa.

4.3.2. Cuota modal del ferrocarril frente al modo viario

El conocimiento de la cuota de mercado del ferrocarril respecto a la carretera es muy limitado. Ello se debe a la necesidad de realizar encuestas en los distintos ejes viarios que requieren tiempo y recursos económicos. En consecuencia solamente se disponen de datos aislados referidos a algunas relaciones muy concretas.

En el contexto de esta tesina se calculará la relación aproximada entre la cuota modal del ferrocarril respecto a la carretera y el ratio $\frac{\text{Tiempo en tren}}{\text{Tiempo por carretera}}$ mostrado en la Tabla 20. Para ello, se tendrán en cuenta los siguientes datos:

Experiencia	Ratio $\frac{\text{Tiempo en tren}}{\text{Tiempo por carretera}}$ (%)	Cuota modal del ferrocarril frente a la carretera (%)
Caso extremo 1	0	100
AVE Madrid-Sevilla	43	45
Línea convencional Barcelona-Madrid	103	22
Caso extremo 2	350	2

Tabla 26. Pares de datos de tiempos de viaje y cuotas modales de los modos ferroviario y viario. Fuente: elaboración propia.

Para hallar los valores de la Tabla 20, se ha tenido en cuenta:

- Si el ratio $\frac{\text{Tiempo en tren}}{\text{Tiempo por carretera}}$ es cero, todos los pasajeros elegirán el tren.
- En el caso del AVE Madrid-Sevilla, la cuota modal del ferrocarril frente a la carretera es del 45%, mientras que la relación entre los tiempos de viaje es del 43% (2h 20min en tren frente a 5h 23 min por carretera)
- Antes de la puesta en servicio de la línea de alta velocidad entre Barcelona y Madrid, el tiempo de viaje en tren entre ambas ciudades era de 6h 30min, mientras que por carretera era de 6h 17min, lo que resulta en un ratio del 103%, y la cuota modal del ferrocarril frente a la carretera era del 22%.
- En el caso de que el tiempo de viaje entre sea mucho más elevado que el tiempo por carretera, se asume como cuota modal un valor 2%, dado que siempre pueden existir circunstancias que propicien la elección del ferrocarril como modo de transporte (comodidad, romanticismo, etc.)

El Gráfico 2 muestra la relación explicada anteriormente.

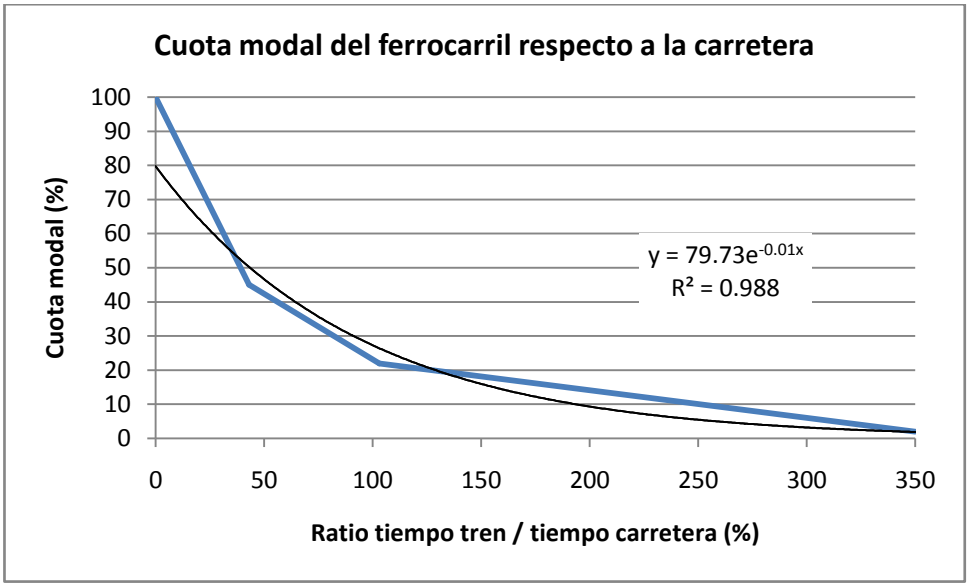

Gráfico 2. Relación entre la cuota modal del ferrocarril respecto a la carretera y el ratio tiempo tren / tiempo carretera. Fuente: elaboración propia.

Para el cálculo genérico de la función que relacione ambas variables, se ha realizado una regresión exponencial, cuya ecuación se muestra también en el Gráfico 2. De este modo, esta relación numérica permite calcular la cuota modal del ferrocarril frente a la carretera ante cualquier ratio de tiempos de viaje deseado.

Hay que destacar que la regresión no ofrece un método exacto para el cálculo de cuotas modales, pero sin embargo representa un método homogéneo para su cuantificación y análisis.

A continuación en la Tabla 27 se muestran las cuotas modales de las rutas estudiadas.

Origen/Destino	Hamburgo	Copenhague	Århus	Odense	Ålborg	Estocolmo	Göteborg	Mälmo	Oslo	Bergen	Trondheim	Stavanger	Kristiansand
Hamburgo		24%	17%	17%	16%	30%	23%	22%	20%	22%	21%	21%	20%
Copenhague	24%		27%	31%	24%	37%	24%	16%	21%	24%	26%	23%	22%
Århus	17%	27%		22%	21%	33%	24%	24%	22%	24%	21%	23%	22%
Odense	17%	31%	22%		20%	35%	25%	25%	22%	24%	23%	23%	23%
Ålborg	16%	24%	21%	20%		31%	23%	23%	22%	24%	22%	23%	22%
Estocolmo	30%	37%	33%	35%	31%		37%	38%	30%	30%	29%	27%	26%
Göteborg	23%	24%	24%	25%	23%	37%		24%	24%	27%	23%	26%	24%
Mälmo	22%	16%	24%	25%	23%	38%	24%		21%	24%	26%	23%	22%
Oslo	20%	21%	22%	22%	22%	30%	24%	21%		34%	31%	29%	27%
Bergen	22%	24%	24%	24%	24%	30%	27%	24%	34%		22%	2%	19%
Trondheim	21%	26%	21%	23%	22%	29%	23%	26%	31%	22%		29%	28%
Stavanger	21%	23%	23%	23%	23%	27%	26%	23%	29%	2%	29%		35%
Kristiansand	20%	22%	22%	23%	22%	26%	24%	22%	27%	19%	28%	35%	

Tabla 27. Cuota modal del ferrocarril frente a la carretera en las principales rutas estudiadas. Fuente: elaboración propia a partir de la Tabla 20 y el Gráfico 2.

Se constata que la cuota modal promedio es del 25%, un porcentaje relativamente bajo, que podría ser mejorado mediante mejoras en el sistema ferroviario de los países escandinavos.

5. DEBILIDADES DEL SISTEMA FERROVIARIO

El análisis de los apartados anteriores permite afirmar que el sistema ferroviario de los países del norte de Europa presenta ciertas deficiencias. Dichas dificultades son:

1. Existencia de numerosos tramos en vía única o sin electrificar. Adicionalmente, en países como Dinamarca o Suecia el elevado y heterogéneo tráfico ferroviario provoca graves problemas de capacidad.
2. La complicada geografía de la zona conduce a que muchas conexiones ferroviarias dependan de un servicio regular de ferries. No obstante, en los últimos años se han construido enlaces fijos que cruzan los estrechos (Storebælt, Øresund). Otros están aún en proyecto (Fehmarn).
3. Los actuales sistemas de señalización están pendientes de ser actualizados a ERTMS.
4. Debido a las dificultades mencionadas, algunas velocidades comerciales son reducidas, lo que genera tiempos de viaje elevados y cuotas modales reducidas para el ferrocarril.

A continuación se describen de forma más detallada dichas debilidades.

5.1. Tramos en vía única o sin electrificar. Problemas de capacidad.

En la Figura 10, Figura 13 y Figura 16 se muestran las redes ferroviarias de los países estudiados. La Figura 27, la Figura 28, y la Figura 29 destacan las rutas con tramos en vía única o sin electrificar:

Tramos en vía única

- Copenhague-Hamburgo, en el tramo que discurre entre Vordingborg y Rødby (ambas en Dinamarca) y el tramo entre Lübeck y Puttgarden (ambas en Alemania).
- La ruta que conecta Hamburgo con Jutlandia, en el tramo Vojens y Vamdrup (ambas en Dinamarca).
- Algunos tramos de la conexión Malmö-Göteborg, entre Malmö y la cordillera de Hallandsås.
- Göteborg-Oslo, en gran parte de su recorrido.
- Estocolmo-Oslo, en el segmento Laxå (Suecia)-Oslo.
- Todas las rutas entre las principales ciudades noruegas, con la única excepción de la periferia de la capital.

Tramos sin electrificar

Por otro lado, las siguientes rutas carecen de conexiones electrificadas:

- Copenhague-Hamburgo, en los tramos entre Ringsted (Dinamarca)-Rødby y Lübeck-Puttgarden.
- El eje ferroviario que cruza la península de Jutlandia de norte a sur, abasteciendo a las poblaciones de Aalborg y Århus.

.

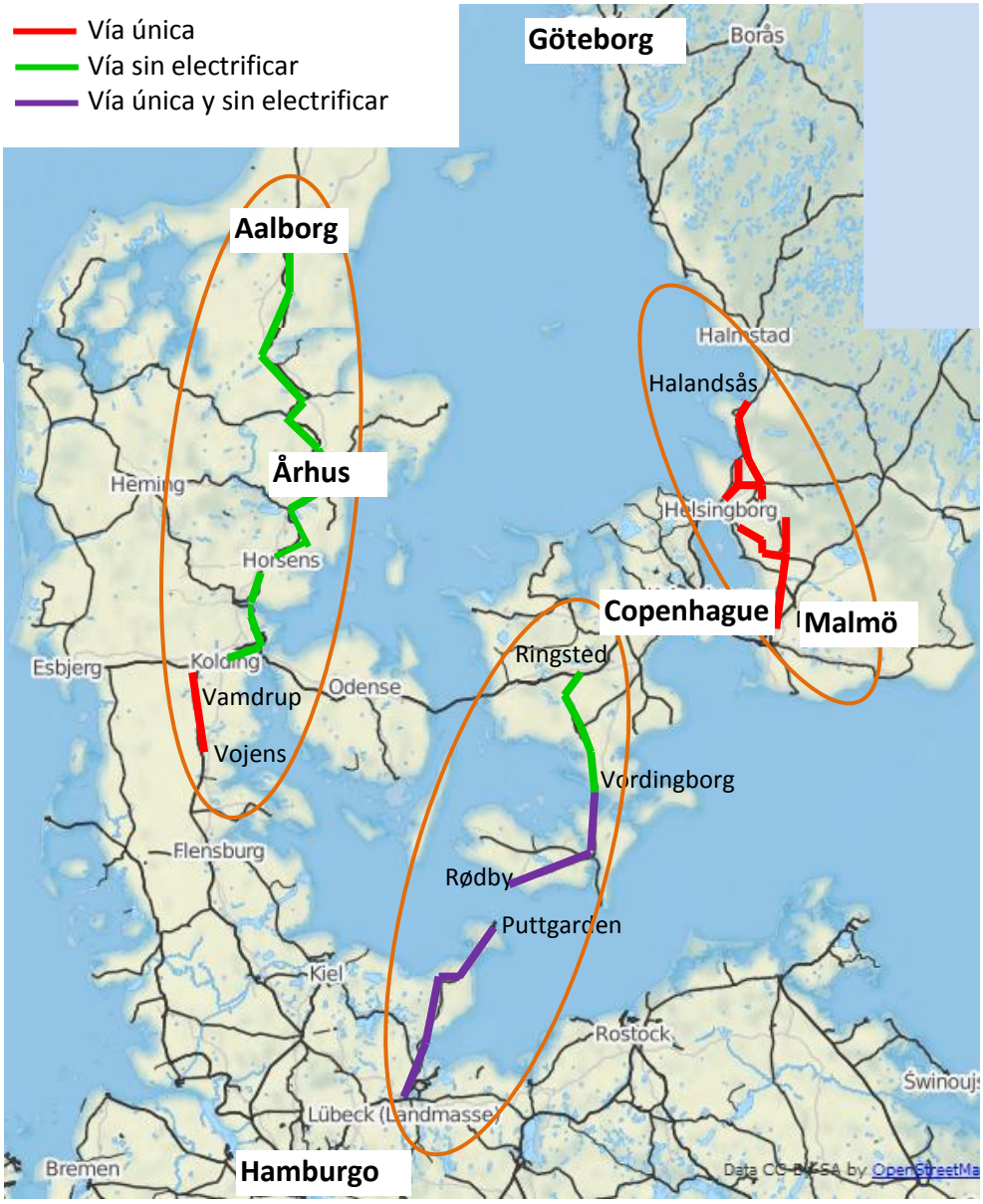

Figura 27. Mapa de los tramos en vía única y sin electrificar. Fuente: elaboración propia.

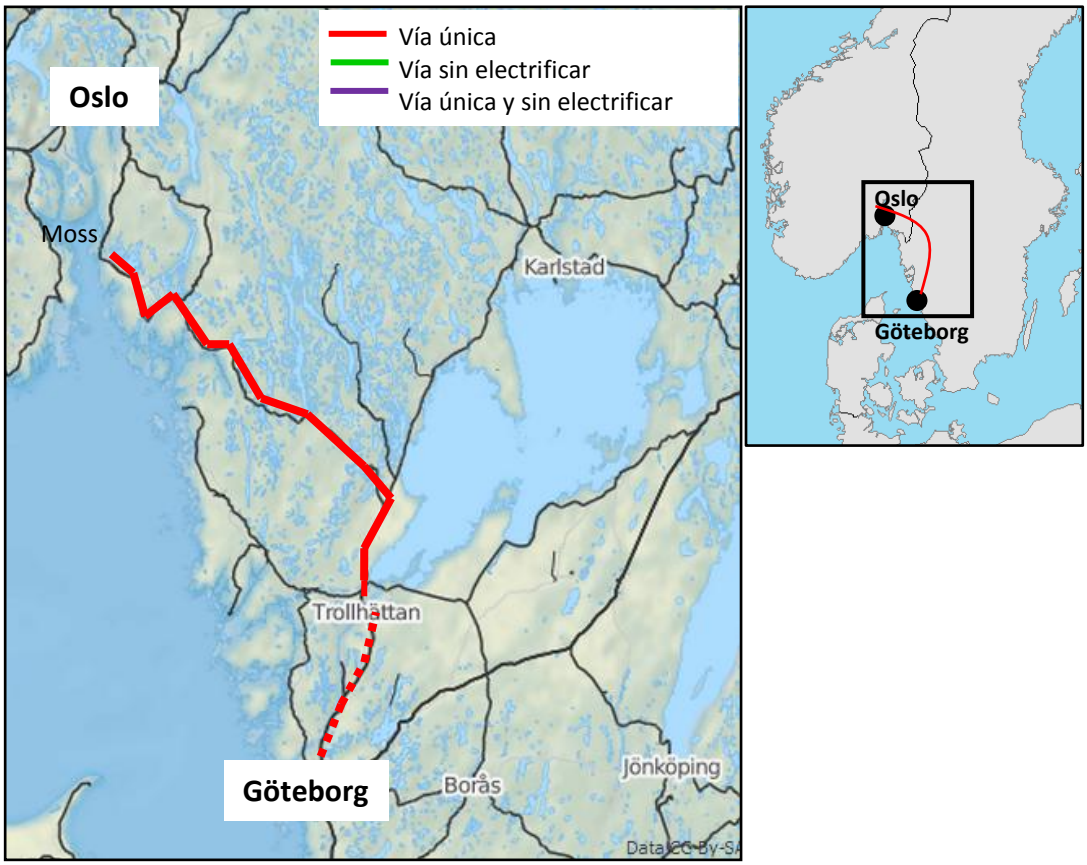

Figura 28. Mapa de los tramos en vía única y sin electrificar. Fuente: elaboración propia.

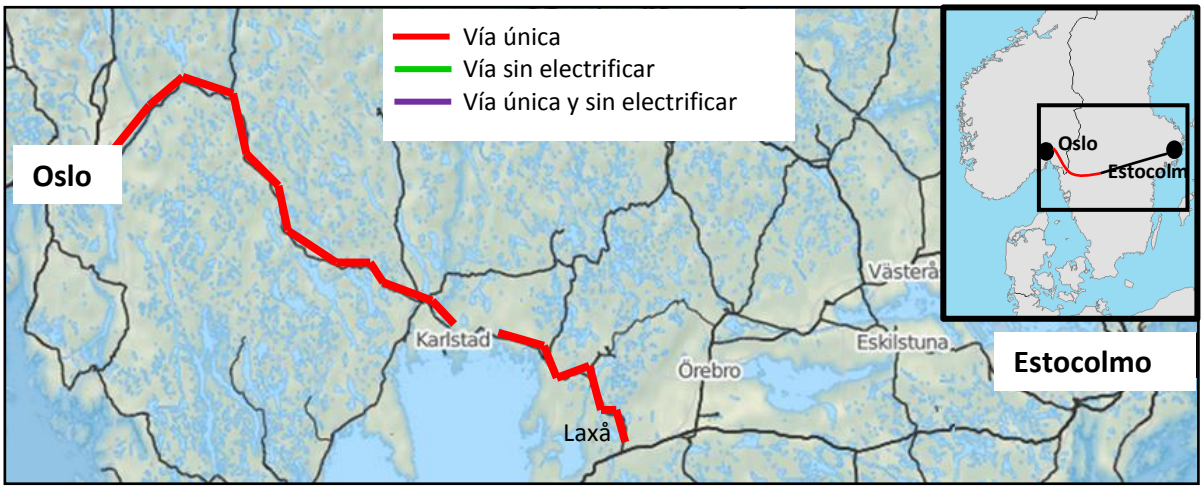

Figura 29. Mapa de los tramos en vía única y sin electrificar. Fuente: elaboración propia.

Problemas de capacidad

Por otra parte, el elevado tráfico ferroviario de Dinamarca y Suecia agrava los problemas mencionados, y provoca la formación de cuellos de botella en la red. Dichos puntos conflictivos causan retrasos y aumentan los tiempos de trayecto, motivo por el cual la eficiencia del transporte ferroviario se ve afectada.

Los cuellos de botella de la red, además de los tramos en vía única son:

Dinamarca

La Figura 30 muestra la capacidad actual de las líneas de Dinamarca. Los tramos conflictivos que pertenecen a las rutas ferroviarias de mayor importancia son:

- Diversos segmentos de la línea Copenhague-Ringsted, que forma parte de la conexión Copenhague-Hamburgo y Copenhague-Odense. Los problemas de capacidad están causados por la heterogeneidad de tráficos.
- El tramo Odense-península de Jutlanadia.
- El segmento Hobro-Aalborg.
- El tramo entre Vamdrup y Vojens, por contar solamente con una sola vía.
- El tramo entre Vordingborg y Nykøbing cruza un puente que actualmente sólo dispone de una única vía. Con la futura puesta en marcha del enlace fijo del Fehmarn, los problemas de capacidad en este tramo aumentarán.
- El enlace del Øresund, que hace frontera con Suecia, está experimentando grandes incrementos de tráfico desde su inauguración en el año 2000. Esto, juntamente con la futura apertura del enlace del Fehmarn, puede crear un nuevo punto crítico de capacidad.
- Por otro lado, la línea de la costa este de la isla de Zelanda, que une Copenhague con Helsingør, presenta un tráfico intenso y heterogéneo. Actualmente el consumo de capacidad todavía no es crítico, pero esta línea no dispone de mucha capacidad disponible para absorber nuevos tráficos.

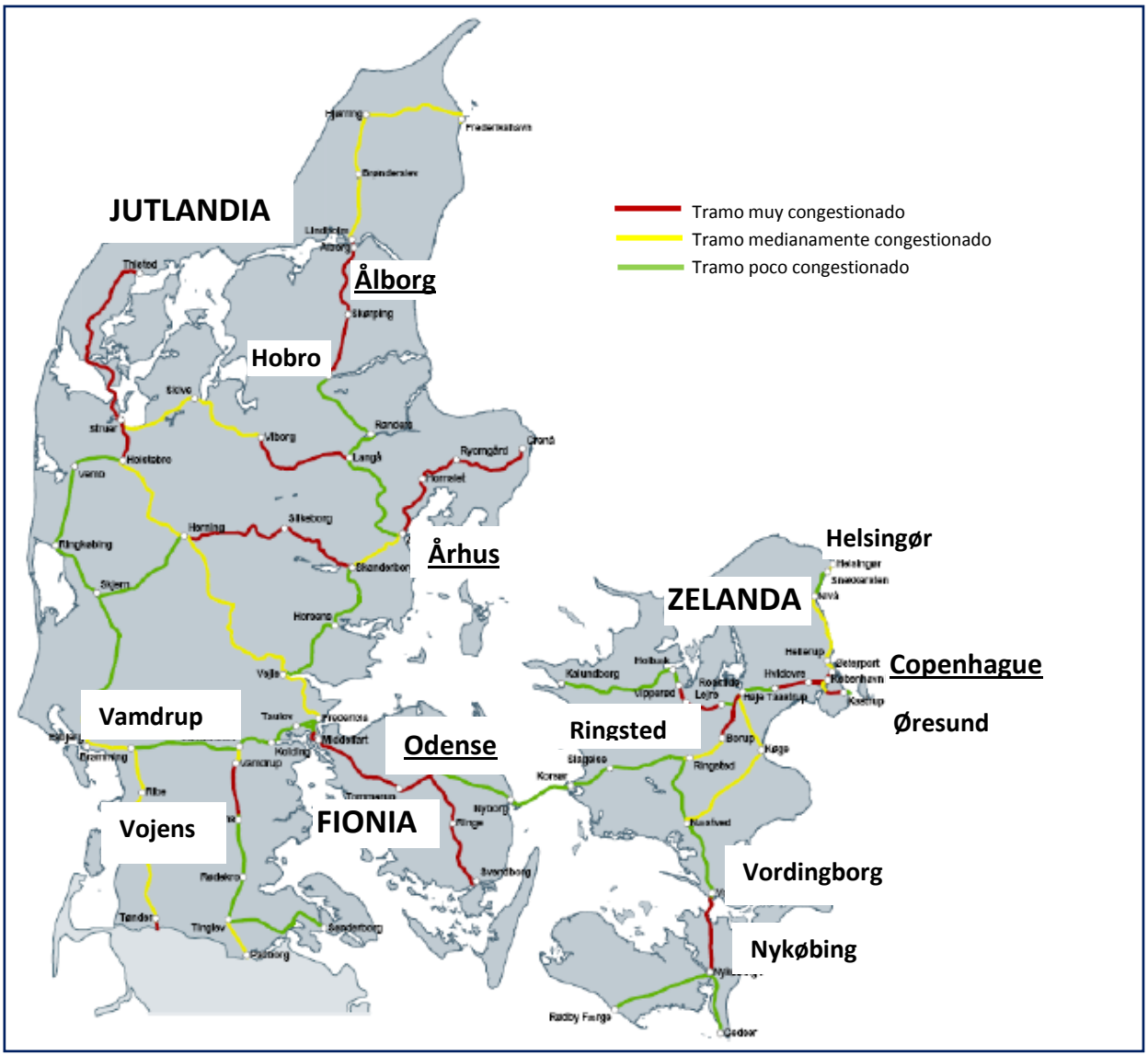

Figura 30. Consumo de capacidad de las líneas de Dinamarca. Fuente: DTU Transport.

Adicionalmente, se prevé un tráfico anual de pasajeros·kilómetro de 13.000 millones para el año 2030, que representa el doble del tráfico de 2011.

Suecia

La Figura 31 muestra el repartimiento del tráfico de pasajeros y mercancías (número de trenes /día) en la red ferroviaria sueca. El grosor de las líneas indica su valor relativo respecto al total.

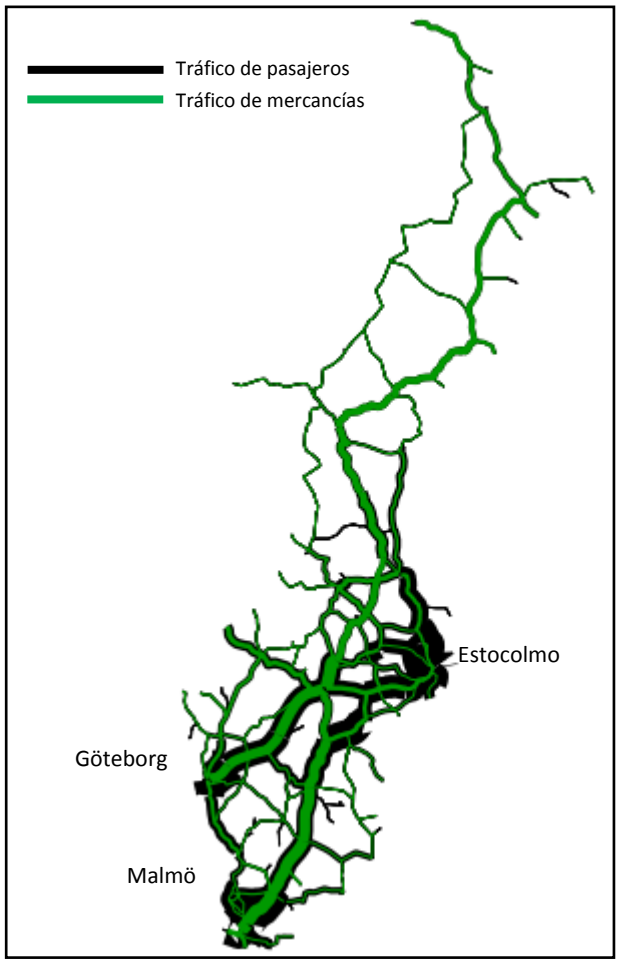

Figura 31. Repartimiento del tráfico ferroviario sueco. Fuente: CETRA 2010.

Se constata que las rutas más congestionadas son las que unen las principales ciudades suecas. Asimismo, son también las que experimentan una mayor confluencia de tráficos mixtos de pasajeros y mercancías.

La Figura 32, por otra parte, analiza el consumo de capacidad de las líneas. De este modo, los tramos coloreados en rojo denotan una elevada congestión, mientras que los tramos en verde significan consumos más reducidos. Nuevamente se observa que los tramos conflictivos son las conexiones entre Estocolmo, Göteborg y Malmö. Estas rutas gozan de vía doble en la gran mayoría de los tramos, por lo tanto una de las soluciones que se barajan es construir nuevas líneas.

Figura 32. Consumo de capacidad del sistema ferroviario sueco. Fuente: Trafikverket.

Adicionalmente, existen más de 8500 pasos a nivel (frente a los 1154 de Dinamarca y los 3500 de Noruega), motivo por el cual la capacidad y la seguridad de las líneas ferroviarias se ven afectadas.

5.2. Conexiones por ferry. Enlaces fijos

La complicada geografía de la zona, con numerosas islas y penínsulas, obliga a las conexiones terrestres a cruzar diversos estrechos. Los de mayores dimensiones son:

- Storebælt: divide las islas danesas de Fionia y Zelanda. Tiene 18km de longitud.
- Øresund: con una anchura que oscila entre los 4 y los 16 km, separa Zelanda del sur Suecia.
- Fehmarn: estrecho entre la isla de Lolland, al sur de Zelanda y el norte de Alemania. Tiene 18km de longitud.

Figura 33. Estrechos más importantes. Fuente: elaboración propia.

En la actualidad, los estrechos de Storebælt y Øresund están salvados mediante sendos enlaces fijos para carretera y ferrocarril, lo que supone grandes ahorros temporales para ambos modos. El estrecho de Fehmarn, en cambio, es cruzado mediante un servicio de ferries. Sus 18 km son salvados en 45 minutos.

En las siguientes páginas se procede a describir los enlaces ya construidos.

5.2.1. Enlace fijo de Storebælt

Este enlace fijo cruza el estrecho con el mismo nombre, entre las islas de Fionia y Zelanda, en Dinamarca.

Figura 34. Emplazamiento del enlace fijo de Storebælt. Fuente: Google Maps.

Figura 35. Puente de Storebælt. Fuente: easygo.com

Historia

La construcción de este enlace fijo comenzó en 1988. Para tal fin se creó la empresa Storebælt, encargada de la construcción, explotación y gestión de la infraestructura, que financió el proyecto con préstamos del estado a bajo interés.

Tiene parte en puente y parte en túnel. Inicialmente, se proyectó establecer un intervalo temporal de 3 años entre la apertura al tráfico ferroviario y la correspondiente al viario. Sin embargo, durante la construcción, hubo problemas con las tuneladoras (aparte de ser entregadas con retraso, una de ellas se topó con una bolsa de agua inesperada y el túnel se inundó). Como

consecuencia de estos retrasos en la construcción, el intervalo temporal fue reducido a un año, y el precio de la obra aumentó de forma significativa.

Finalmente, los años de apertura al tráfico fueron:

- 1997: apertura al tráfico ferroviario.
- 1998: apertura al tráfico viario.

Los motivos por los cuales la apertura al tráfico viario fue más tardía son:

- Impulsar y estimular el tráfico ferroviario.
- Evitar un cierre súbito de los servicios de ferry que cruzaban el estrecho antes de la construcción del enlace fijo.

Este estrecho está situado en una zona de alto tráfico marítimo internacional. Por este motivo, antes de la inauguración del enlace de Storebælt, el gobierno Finés denunció esta obra al tribunal internacional de la Haya, argumentando que obstruía y dificultaba el tráfico de plataformas petrolíferas.

Descripción del enlace

El enlace en su conjunto mide 17,5 km de longitud. Está formado por tres tramos, mostrados en la Figura 38 y la Figura 39.

- Tramo Oeste. Integrado por un puente mixto para carretera y ferrocarril, llamado Puente Oeste. Acabado en mayo 1993, tiene 6,6 km de longitud. En realidad son dos puentes paralelos separados 1m. Posee doble vía para ferrocarril y 4 carriles (2 por sentido) para el tráfico viario. Está formado por 341 secciones prefabricadas de hormigón que fueron puestas con grúa.
- Isla de Sprogø. Debido a su forma alargada y a su orientación este-oeste, esta isla, ya existente antes de la construcción del enlace, fue aprovechada para reducir la longitud total de obra construida. Mide unos 3 km.

Figura 36. Isla de Sprogø. Al fondo se aprecia el Puente Oeste, que conecta la isla con Fionia. Fuente: storebaelt.dk.

- Tramo Este. Debido al alto tráfico internacional que circula por el estrecho y al obstáculo que supone el Puente Oeste para el tráfico naval, el Tramo Este se diseñó para poder ser atravesado por buques de grandes dimensiones. Para el tráfico viario se optó por construir una parte del puente como puente colgante, para permitir una mayor luz. Sin embargo, el

tráfico ferroviario no podría circular por dicho puente colgante, dadas las altas pendientes de su trazado en alzado. De este modo, el Tramo Este posee tráficos separados para carretera y ferrocarril. Para que el ferrocarril no obstruyera dicho tráfico naval, se construyó un túnel entre la isla de Sprogø y la de Zelanda. Dichas soluciones son:

- Túnel Este ferroviario, con una longitud de 8000m. El punto más profundo está a 70m bajo el nivel del mar (10m bajo el fondo marino). Está formado por 2 Tubos de 8,72 metros de diámetro. La máxima pendiente es del 15‰.
- Puente Este, con una longitud de 6800m y una luz central de 624m. El punto más alto se alza a 63m por encima del nivel del mar. Las pilas centrales miden 254m de altura.

Figura 37. La gran luz y altura del vano central permite el tráfico internacional de grandes buques. Fuente: cruisecritic.co.uk.

A continuación se muestra un esquema en planta y alzado del enlace:

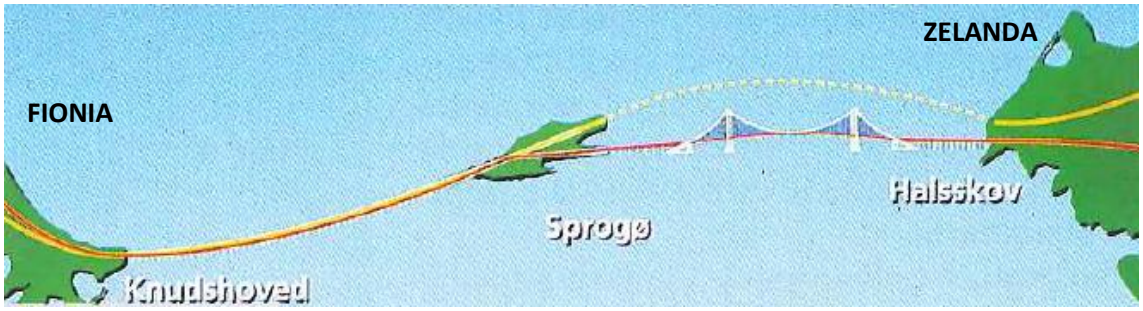

Figura 38. Esquema en planta del enlace fijo de Storebælt. Fuente: Vía Libre, Noviembre 1994.

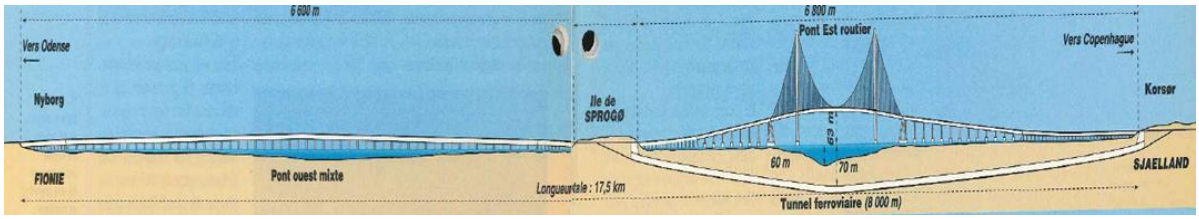

Figura 39. Esquema en alzado del enlace fijo de Storebælt. Fuente: La Vie du Rail, Septiembre 1999.

Ahorro de tiempo

La puesta en marcha del enlace fijo de Storebælt supone un ahorro de tiempo muy significativo. De este modo, antes de la construcción del enlace, cruzar el estrecho en tren-ferry suponía 70min para los viajeros, mientras que con el enlace directo ferroviario este tramo se cubre en no más de 7 minutos. Asimismo, el tiempo de viaje entre Copenhague y Århus se redujo de 3h 55min hasta 2h 50min.

En el caso de los trenes de mercancías precedentes de Alemania y con destino a la capital danesa, el ahorro temporal respecto al cruce por ferry por el estrecho de Fehmarn es de 2h. Otra ventaja significativa es la supresión de la limitación de longitud de los convoyes, ya que para entrar en el ferry los trenes debían ser fraccionados. Después de la construcción de este enlace, no existe tal limitación de longitud.

No obstante, los pasajeros que viajan entre el norte de Alemania y Copenhague siguen usando el tren-ferry por el estrecho de Fehmarn, ya que los 175 km extra necesarios para cruzar por el estrecho de Storebælt suponen una penalización temporal demasiado importante.

Coste de la obra

La inversión realizada en la construcción del enlace fue de 2900 millones de euros, en precios de 1988. El retorno de la inversión se consigue mediante el cobro de un peaje.

Figura 40. Fotografía de la parte este del enlace, tomada desde la isla de Sprogø, donde se bifurcan los tráficos viario (puente) y ferroviario (túnel submarino). Al fondo se alcanza a vislumbrar la isla de Zelanda. Fuente: RTI Marzo 1997.

5.2.2. Enlace del Øresund

Este enlace cruza el estrecho con el mismo nombre, que hace de frontera natural entre Suecia y Dinamarca.

Figura 41. Estrecho del Øresund. Fuente: Google Maps.

Historia

En 1991 se llegó al primer acuerdo internacional entre Dinamarca y Suecia para construir un enlace fijo que uniese ambos países. Posteriormente, en 1995 se firmó el contrato por tres consorcios:

- *Øresund Tunnel Contractors* (Encargado del túnel)
- *Øresund Marine Joint Venture* (A cargo de la isla artificial)
- *Sundlink Contractors* (Responsable del puente)

En 1995 comenzaron los trabajos, y durante el año 1999 se terminó la construcción del enlace. Finalmente, fue inaugurado el primero de julio del año 2000, para tráfico viario y ferroviario.

Antes de existir este enlace fijo, la conexión se realizaba mediante ferries que cruzaban el estrecho a la altura de Copenhague (donde actualmente se encuentra el enlace fijo) o de Helsingør, más al norte, donde la distancia a salvar es menor. Este servicio marítimo estaba altamente condicionado por las condiciones meteorológicas, llegándose a cancelar en situaciones de agitación marina importantes.

Esta obra fue pagada a partes iguales por los gobiernos danés (*AS Øresundforbidelsen*) y sueco (*SVEDAB*). Los daneses se encargaron del túnel y la isla artificial, y los suecos del puente.

Después de la apertura del enlace fijo, ya no circulan trenes-ferry por Helsingør. Los ferries suponían penalizaciones temporales para los pasajeros, y restricciones de capacidad para las mercancías.

Descripción del enlace

La solución consta de 3 tramos, mostrados en la Figura 43, de oeste a este:

- Túnel de 3510m de longitud. Formado por 5 Tubos (2 para tráfico ferroviario, 2 para tráfico viario y 1 de servicio). En el túnel se permite una velocidad de 180km/h. El motivo de la solución en túnel es el de no perturbar la circulación aérea del aeropuerto de Copenhague, situado junto al enlace.
  Vistos los problemas habidos con las tuneladoras que excavaron el Túnel Este en Storebælt, este túnel está hecho sin tuneladora. Dado que el fondo es poco profundo, éste se dragó y se bombeó el agua para introducir cada uno de los elementos del túnel. Se usaron 2 dragas. El túnel está formado por un total de 20 elementos prefabricados de hormigón, que fueron colocados con grúas. El túnel se cubrió con rocas para que la quilla de ningún barco lo pudiese perforar accidentalmente. La vuelta del túnel está a 7,7m bajo el fondo marino.
- Isla artificial de 4055m de longitud hecha con el material dragado. Su trazado está estudiado para interferir lo menos posible con las corrientes marinas. Tiene 1,3km cuadrados de superficie. Recibe el nombre de Peberholm.
- Puente. La solución cuenta con dos niveles:
  - Nivel superior para tráfico viario (dos carriles por sentido de circulación).
  - Nivel inferior para tráfico ferroviario en doble vía. La infraestructura ferroviaria está diseñada para velocidades máximas de 250km/h.

  El puente está formado por 51 pilas en total. El tablero fue prefabricado en Cádiz y colocado con grúas flotantes. Dicho puente, a su vez está formado por:
    - Viaducto oeste de 3014m.
    - Zona central de 1092m, con una luz de 490m. Altura de las pilas en H de 204m, hormigonadas in situ. Altura de 57m sobre el nivel del mar.
    - Viaducto este de 3739m.

Figura 42. Puente del Øresund. Al fondo se aprecia la isla artificial de Peberholm y la costa danesa. Fuente: viajeteca.com

A continuación se muestra un esquema en alzado y planta del enlace:

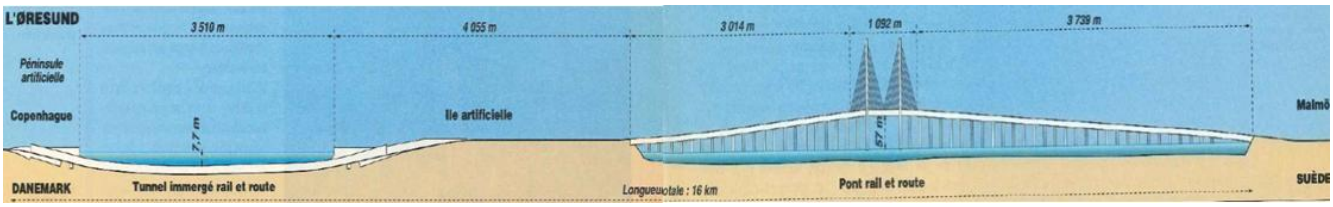

Figura 43. Esquema en alzado del enlace fijo del Øresund. Fuente: La Vie du Rail, Junio 2000.

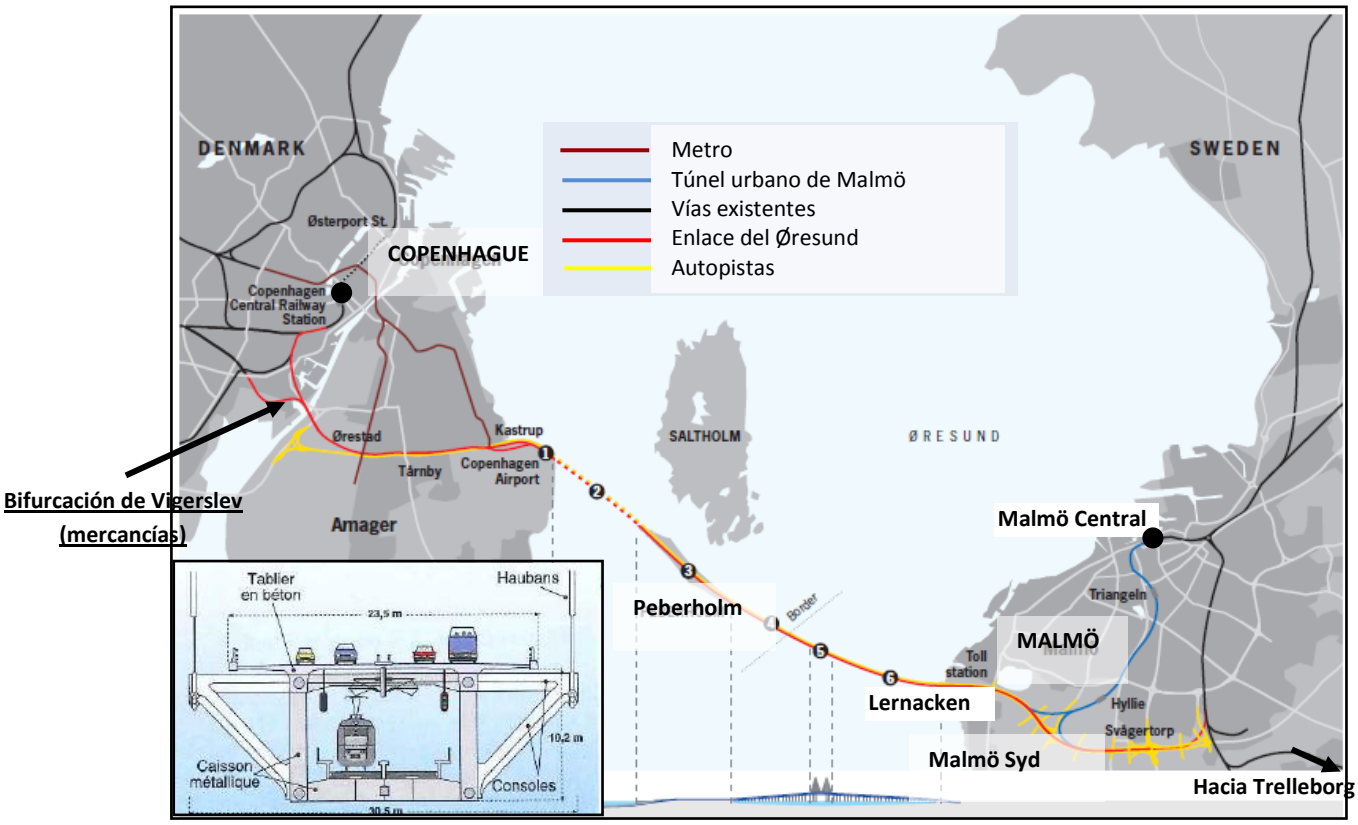

Figura 44. Mapa en planta del enlace del Øresund. En la parte inferior izquierda se aprecia una sección transversal del tablero del puente. Fuente: Rail Passion, Octubre de 2000.

La longitud total de la unión entre las estaciones centrales de Copenhague y Malmö es de 46 km. El peaje para carretera se encuentra en Lernacken, en la parte sueca.

El entrevía mínima es de 4550mm y el radio mínimo de curva 5000m

Para completar el proyecto:

- Se pasó a doble vía el tramo entre Malmö Syd y Malmö Central.
- Se realizó la bifurcación de Vigerslev para que las mercancías provenientes del sur no tengan que pasar por Copenhague,
- Se construyó una vía adicional en la estación central de Copenhague.
- Se mejoró la conexión entre Malmö y Trelleborg (Suecia) (tramo de 6km). Desde Trelleborg salen y llegan numerosos trenes ferry hacia el norte de Alemania.

Coste de la obra

El coste total del proyecto ascendió a 4000 millones de euros, en precios del año 2000. Se prevé una recuperación de la inversión en 30 años.

Ahorro de tiempo

Gracias a este enlace fijo, el tiempo que se tarda desde Copenhague hasta Malmö es de 35 minutos, mientras que en ferry el tiempo de viaje era de al menos una hora (dependiendo del tiempo de espera en el puerto)

Fronteras

El estrecho del Øresund no sólo supone una frontera a nivel físico y político, ya que el aislamiento que históricamente han sufrido las zonas bañadas por dicho estrecho ha provocado que las diferencias entre ambas áreas tengan un alcance mayor. A continuación se detallan dichas diferencias:

Electrificación

- Dinamarca: desde 1986, 25 KV y 50 Hz.
- Suecia: desde 1930, 15 KV y 16 2/3 Hz.

El cambio de alimentación eléctrica se efectúa en el puesto de control de Lernacken.

Señalización

- Dinamarca: señalización Siemens ZUB 123 (balizas laterales).
- Suecia: señalización ATC 2 balizas entre los raíles.

El cambio de sistema de señalización se realiza en la isla artificial de Peberholm.

A partir de 1990 existen trenes capaces de circular con ambos sistemas.

Sentido de circulación

- Dinamarca: derecha.
- Suecia: izquierda.

El cambio de sentido de circulación se efectúa en Malmö Syd (primera estación del lado sueco después del enlace)

Frontera internacional

Ésta está situada en el puente, sobre la pila 17 del viaducto oeste.

Reglamentación

- Retrovisores: en Dinamarca no son obligatorios, en Suecia sí. (en el enlace no son obligatorios)
- Gálibos: en Suecia los gálibos son mayores que en Dinamarca
- Máxima velocidad permitida: en Dinamarca es de 180km/h, mientras que en Suecia es de 200km/h. En el túnel los trenes pueden circular a 180 km/h, en la isla y en el puente a 200 km/h.

Discusión del emplazamiento: Copenhague-Malmö/Helsingør-Helsingborg

Cuando se observa detenidamente la geografía del estrecho, como se muestra en la Figura 41, llama realmente la atención que se haya construido el enlace fijo al sur del estrecho, entre Copenhague y Malmö, donde la distancia a salvar es de 16km, y no entre Helsingør y Helsingborg, donde la distancia no supera los 4km. De este modo, en la tabla siguiente se resumen las ventajas y los inconvenientes de cada solución.

FACTOR	COPENHAGUE-MALMÖ (solución final)	HELSINGØR-HELSINGBORG (solución descartada)
LONGITUD ESTRECHO	16km	4km
COSTE INFRAESTRUCTURA	Mayor	Menor
CONCENTRACIÓN DE POBLACIÓN	1,5M habitantes	200 mil habitantes
PROXIMIDAD AL AEROPUERTO DE KASTRUP	Menos de 1km	50km
PROFUNDIDAD MÁXIMA DEL ESTRECHO	12m	50m
PENDIENTES MÁXIMAS	Menores (mayor longitud)	Mayores (menor longitud)
AFECTACIÓN AL TRÁFICO MARÍTIMO INTERNACIONAL	Menor (mayor anchura)	Mayor (cuello de botella)
CORRIENTES MARINAS	Menos problemáticas	Más problemáticas

Tabla 28. Discusión del emplazamiento del enlace fijo del Øresund. Fuente: elaboración propia.

Se puede observar como las ventajas de la solución adoptada superan en gran medida a las de la solución descartada. No obstante, estos resultados están sujetos a la recuperación de la inversión inicial, en forma de beneficios económicos y sociales. De este modo, se optó por una solución más cara pero con mayores beneficios potenciales.

No obstante, la profundidad de ambos tramos del estrecho también jugó un factor clave en el proceso de decisión. Los 50 metros de profundidad entre Helsingør y Helsingborg obligan al uso de tuneladora en caso de una solución en túnel, y a unas pilas mucho más altas en caso de solución en puente, hecho que encarece la construcción.

5.3. Sistemas de señalización

El sistema de señalización de Suecia y Dinamarca se pretende mejorar para alcanzar un nivel ERTMS, que permitirá un aumento considerable de la velocidad comercial en las líneas existentes. Este programa se efectuará por fases y no se prevé que esté acabado hasta el año 2021 en Dinamarca y el año 2030 en Suecia.

La Figura 45 y la Figura 46 muestran el plan de actualización del nuevo sistema de señalización en Dinamarca y Suecia, respectivamente.

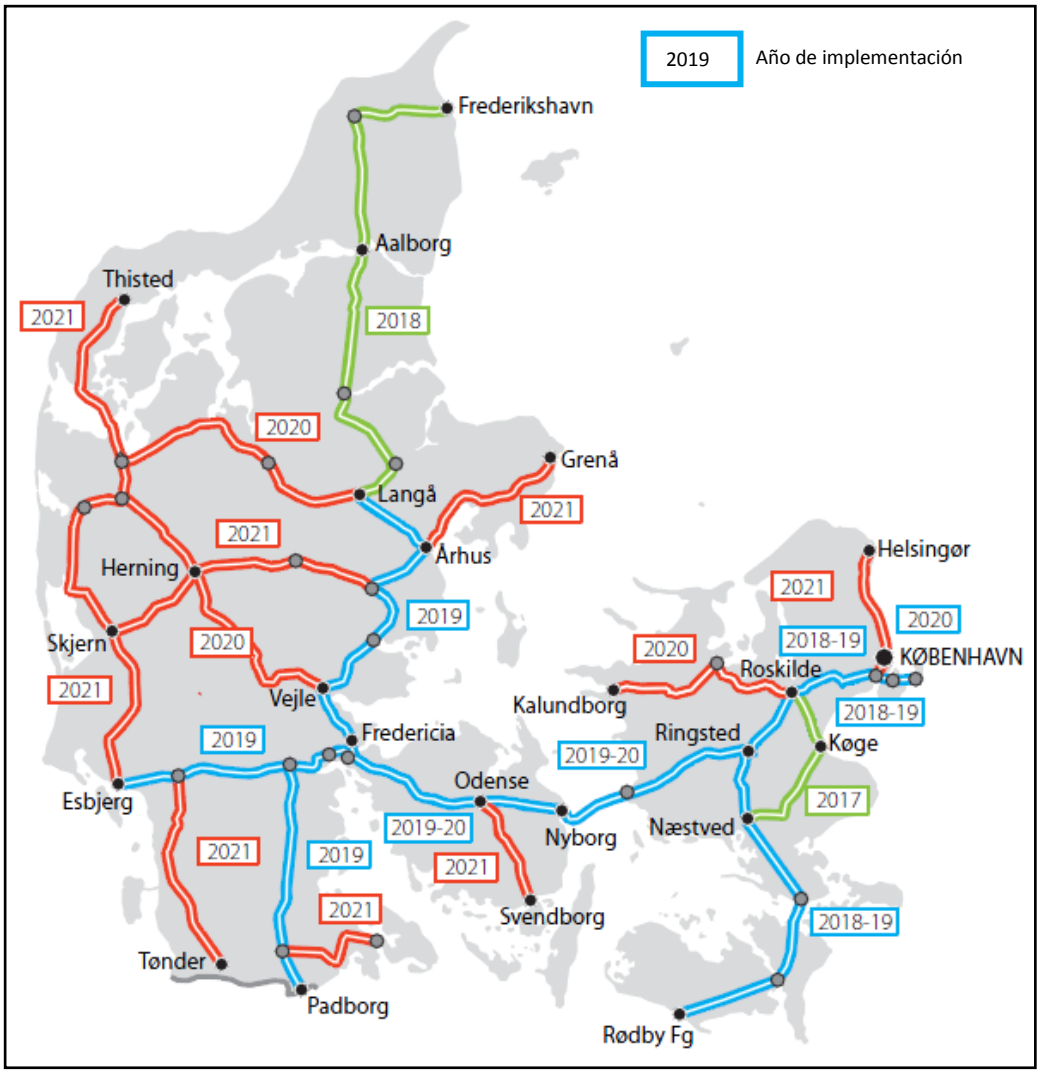

Figura 45. Plan de implementación del sistema de señalización ERTMS en Dinamarca. Fuente: The Newsleter of ERTMS, mayo de 2010.

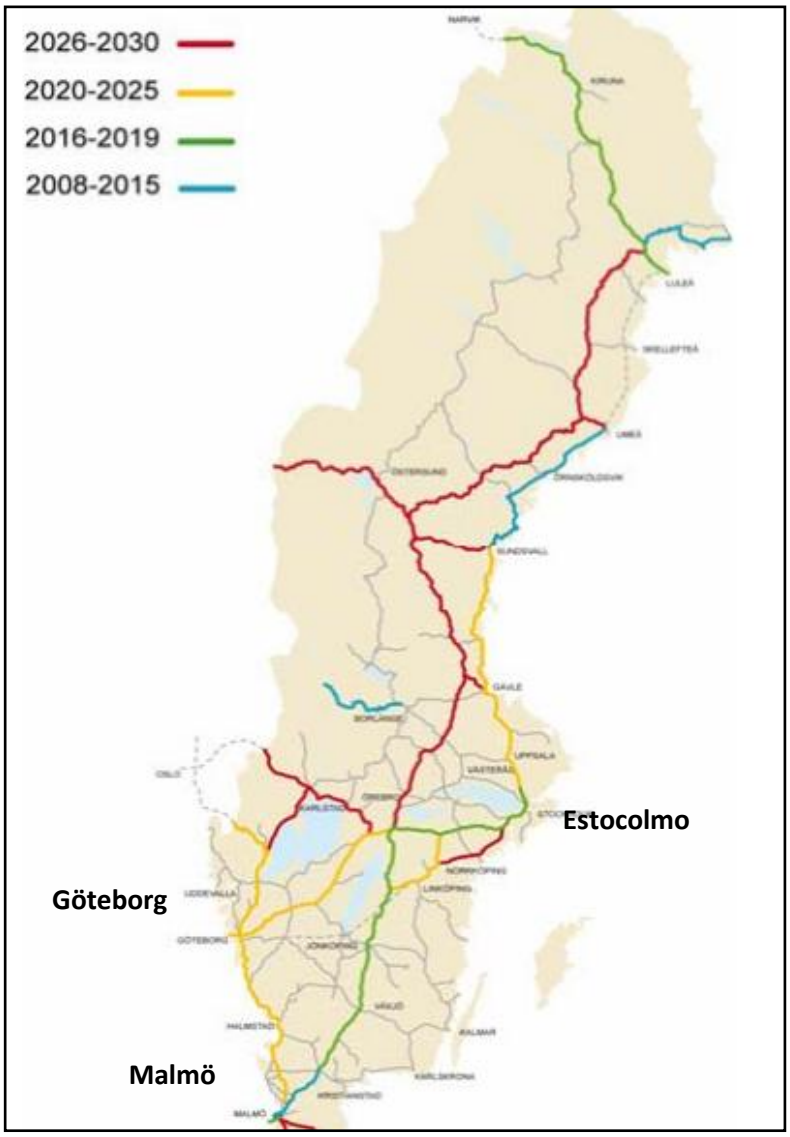

Figura 46. Mapa del plan de desarrollo del sistema ERTMS en Suecia. Fuente: Swedish ERTMS Implementation Plan.

Con el desarrollo de este nuevo sistema de señalización, la distancia mínima de circulación entre trenes se verá reducida, con lo que la capacidad de las líneas aumentará sustancialmente.

5.4. Tiempos de viaje elevados

En el apartado anterior se ha realizado un análisis de los tiempos de trayecto entre las principales ciudades en los distintos modos de transporte. A continuación, con el objetivo de analizar la posición relativa de los tiempos de viaje del modo ferroviario, se procede a comparar dichos modos de transporte. De este modo, se han estudiado los tiempos de viaje mínimos para cada ruta y se ha comparado el tiempo de trayecto en tren con dichos tiempos mínimos.

Tiempos de viaje mínimos

La Tabla 29 muestra los tiempos de viaje mínimos para cada una de las rutas estudiadas. Para ello, para cada ruta se ha escogido el modo de transporte que ofrece una duración de trayecto menor.

Origen/Destino	Hamburgo	Copenhague	Århus	Odense	Aalborg	Estocolmo	Göteborg	Malmö	Oslo	Bergen	Trondheim	Stavanger	Kristiansand
Hamburgo		**2:57**	**3:03**	**2:49**	**4:09**	**3:40**	4:45	**3:05**	**3:40**	5:35	5:56	5:30	5:05
Copenhague	**2:57**		**2:49**	**1:15**	**2:45**	**3:12**	**2:57**	**0:22**	**3:12**	**3:27**	**3:38**	**3:12**	**3:07**
Århus	**3:03**	**2:49**		**1:17**	**1:04**	**3:55**	**3:20**	**3:10**	**3:40**	6:00	7:06	5:30	**5:09**
Odense	**2:49**	**1:15**	**1:17**		**2:22**	**4:34**	**4:19**	**1:52**	**4:34**	**4:49**	**5:00**	**4:34**	**4:29**
Aalborg	**4:09**	**2:45**	**1:04**	**2:22**		5:13	**4:09**	**2:53**	**3:08**	4:48	5:19	**3:03**	**4:05**
Estocolmo	**3:40**	**3:12**	**3:55**	**4:34**	5:13		**3:11**	**3:40**	**3:05**	**3:35**	**3:36**	**3:45**	4:45
Göteborg	4:45	**2:57**	**3:20**	**4:19**	**4:09**	**3:11**		**2:49**	**3:23**	5:20	5:16	5:05	6:55
Malmö	**3:05**	**0:22**	**3:10**	**1:52**	**2:53**	**3:40**	**2:49**		**3:20**	**3:35**	**3:36**	**3:30**	**3:30**
Oslo	**3:40**	**3:12**	**3:40**	**4:34**	**3:08**	**3:05**	**3:23**	**3:20**		**3:10**	**3:06**	**3:00**	**2:55**
Bergen	5:35	**3:27**	6:00	**4:49**	4:48	**3:35**	5:20	**3:35**	**3:10**		**3:21**	**2:55**	4:25
Trondheim	5:56	**3:38**	7:06	**5:00**	5:19	**3:36**	5:16	**3:36**	**3:06**	**3:21**		**3:26**	**4:31**
Stavanger	5:30	**3:12**	5:30	**4:34**	3:03	**3:45**	5:05	**3:30**	**3:00**	**2:55**	**3:26**		**2:57**
Kristiansand	5:05	**3:07**	**5:09**	**4:29**	**4:05**	4:45	6:55	**3:30**	**2:55**	4:25	**4:31**	**2:57**	

Tabla 29. Tiempos de viaje mínimos. Fuente: elaboración propia a partir de la Tabla 18, Tabla 19, Tabla 21y Tabla 23.

En verde se marcan las rutas cuyo tiempo mínimo corresponde al ofrecido por el modo ferroviario. Paralelamente, las celdas rojas corresponden al viario, las púrpuras al aéreo (las celdas sin negrita informan de una ruta no directa) y las azules al modo combinado viario-marítimo. Se constata que la mayoría de tiempos mínimos los ofrece el modo aéreo, seguido de lejos por el modo viario. El modo ferroviario ocupa una posición meramente testimonial.

Comparativa tiempos de viaje en tren con tiempos mínimos. Mercado Potencial para el modo ferroviario

A continuación, en la Tabla 30 se presentan los resultados del ratio *tiempo en tren / tiempo mínimo*, expresados en porcentaje:

Origen/Destino	Hamburgo	Copenhague	Århus	Odense	Aalborg	Estocolmo	Göteborg	Malmö	Oslo	Bergen	Trondheim	Stavanger	Kristiansand
Hamburgo		162%	147%	150%	153%	278%	185%	183%	393%	420%	395%	436%	395%
Copenhague	162%		101%	100%	157%	152%	126%	155%	259%	503%	416%	560%	430%
Århus	147%	101%		121%	127%	210%	204%	115%	310%	341%	302%	382%	331%
Odense	150%	100%	121%		128%	143%	119%	106%	212%	390%	374%	423%	335%
Aalborg	153%	157%	127%	128%		185%	198%	172%	409%	456%	410%	725%	453%
Estocolmo	278%	152%	210%	143%	185%		100%	122%	192%	380%	272%	397%	241%
Göteborg	185%	126%	204%	119%	198%	100%		111%	113%	227%	244%	240%	128%
Malmö	183%	155%	115%	106%	172%	122%	111%		231%	467%	402%	495%	366%
Oslo	393%	259%	310%	212%	409%	192%	113%	231%		214%	215%	266%	155%
Bergen	420%	503%	341%	390%	456%	380%	227%	467%	214%		441%	529%	271%
Trondheim	395%	416%	302%	374%	410%	272%	244%	402%	215%	441%		437%	256%
Stavanger	436%	560%	382%	423%	725%	397%	240%	495%	266%	529%	437%		100%
Kristiansand	395%	430%	331%	335%	453%	241%	128%	366%	155%	271%	256%	100%	

Tabla 30. Comparación entre los tiempos de viaje en tren y los tiempos de viaje mínimos. Fuente: elaboración propia a partir de la Tabla 18 y la Tabla 29.

Se constata en la Tabla 30 que los tiempos de trayecto que ofrece el modo ferroviario son mayoritariamente superiores a los otros modos. De esta manera, las únicas conexiones en las que el tren ofrece el trayecto más rápido son Copenhague-Odense, Estocolmo-Göteborg y Stavanger-Kristiansand.

No obstante, existen otras rutas en las que el tren ofrece tiempos de trayecto ligeramente superiores, que se podrían convertir en tiempos mínimos con pequeñas mejoras del sistema ferroviario. Estas rutas confieren el **mercado potencial de primer alcance** para el ferrocarril, el que convertiría al tren en un modo de transporte competitivo en cuanto a tiempo de trayecto se refiere. Dichas rutas son:

- La línea Aalborg-Århus-Odense-Copenhague-Malmö.
- La línea Malmö-Estocolmo.
- La conexión Malmö-Göteborg-Oslo.

Por otro lado, se distinguen las rutas pertenecientes **al mercado potencial de segundo alcance** para el ferrocarril, que para ser competitivo en tiempos de trayecto necesita mayores inversiones para mejorar las líneas. Dichas rutas son:

- La línea Hamburgo-Copenhague-Malmö, que utiliza el tren-ferry del enlace del Fehmarn. Más adelante se hablará sobre dicho enlace y los planes que existen para su futuro inmediato.
- La línea Hamburgo-Odense-Århus-Aalborg.

Por último, **el resto de rutas requerirían una fuerte inversión**, dado que los tiempos actuales en ferrocarril distan mucho de los mínimos ofrecidos por los otros modos de transporte. Dichas líneas son:

- Oslo-Estocolmo
- Oslo-Trondheim
- Oslo-Bergen
- Oslo-Kristiansand
- Bergen-Stavanger (actualmente inexistente)
- Bergen-Trondheim (actualmente inexistente)

Conclusiones

La comparativa de tiempos de viaje entre el modo ferroviario y los modos que ofrecen los tiempos de viaje mínimos conduce a las siguientes conclusiones:

- Existe un mercado potencial de primer alcance para el ferrocarril formado por las líneas Aalborg-Århus–Odense-Copenhague-Malmö, Malmö-Estocolmo y Malmö-Göteborg-Oslo.
- Hay un mercado potencial de segundo orden, que requiere una inversión mayor, formado por las líneas Hamburgo-Copenhague-Malmö y Hamburgo-Odense-Århus-Aalborg.
- Existen líneas que requieren una gran inversión para ofrecer unos tiempos de viaje competitivos. Dichas líneas son las que unen Oslo con Estocolmo, Trondheim, Bergen y Kristiansand, y las línea Bergen-Stavanger y Bergen-Trondheim (actualmente todavía inexistentes)

La Figura 47 muestra el mapa con las diferentes líneas mencionadas.

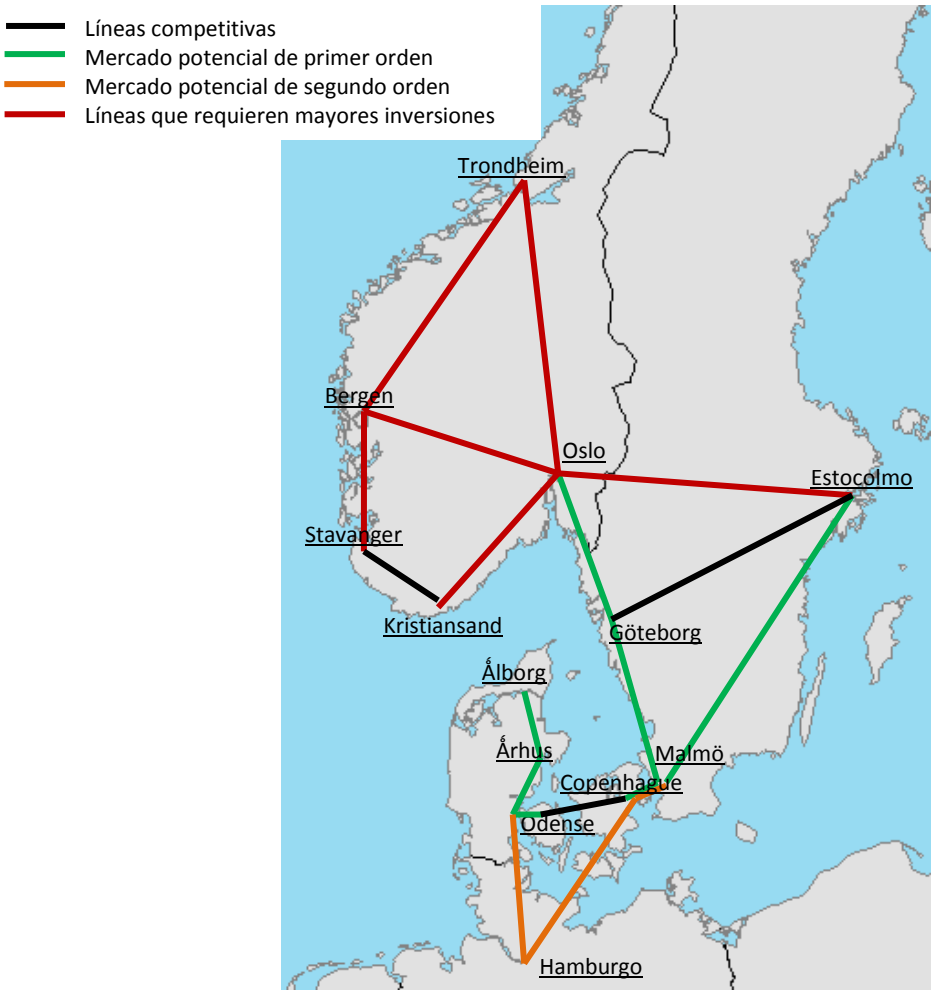

Figura 47. Mapa del mercado potencial para el ferrocarril. Fuente: elaboración propia.

6. PROYECTOS ACTUALES DE MEJORA

Con el objetivo de solventar las debilidades comentadas, a continuación se plantean los proyectos planeados por los gobiernos danés, sueco, noruego y alemán para la próxima década.

6.1. Línea de alta velocidad Copenhague-Ringsted

Descripción y motivación

Debido a los graves problemas de capacidad que sufre actualmente la red ferroviaria danesa, y a las previsiones de incremento de tráfico, en el año 2009 se decidió construir una nueva línea de alta velocidad de 60 kilómetros de longitud entre Copenhague y Ringsted. Esta línea está destinada para el tráfico mixto de trenes de pasajeros de alta velocidad y mercancías, y está diseñada para 250 km/h y 25 toneladas por eje.

Figura 48. Isla de Zelanda. Se pueden apreciar las poblaciones de Copenhague y Ringsted. Fuente: Google Maps.

Este proyecto forma parte del corredor B de mercancías europeo (Estocolmo-Nápoles), en el que Dinamarca está incluida por su situación geográfica estratégica.

Figura 49. Corredor ferroviario B de mercancías europeo. Fuente: The Newsleter of ERTMS, mayo de 2010.

El éxito y la utilidad de esta línea dependen de la construcción y funcionamiento del enlace fijo en el Fehmarn

Alternativas existentes. Capacidad de la conexión

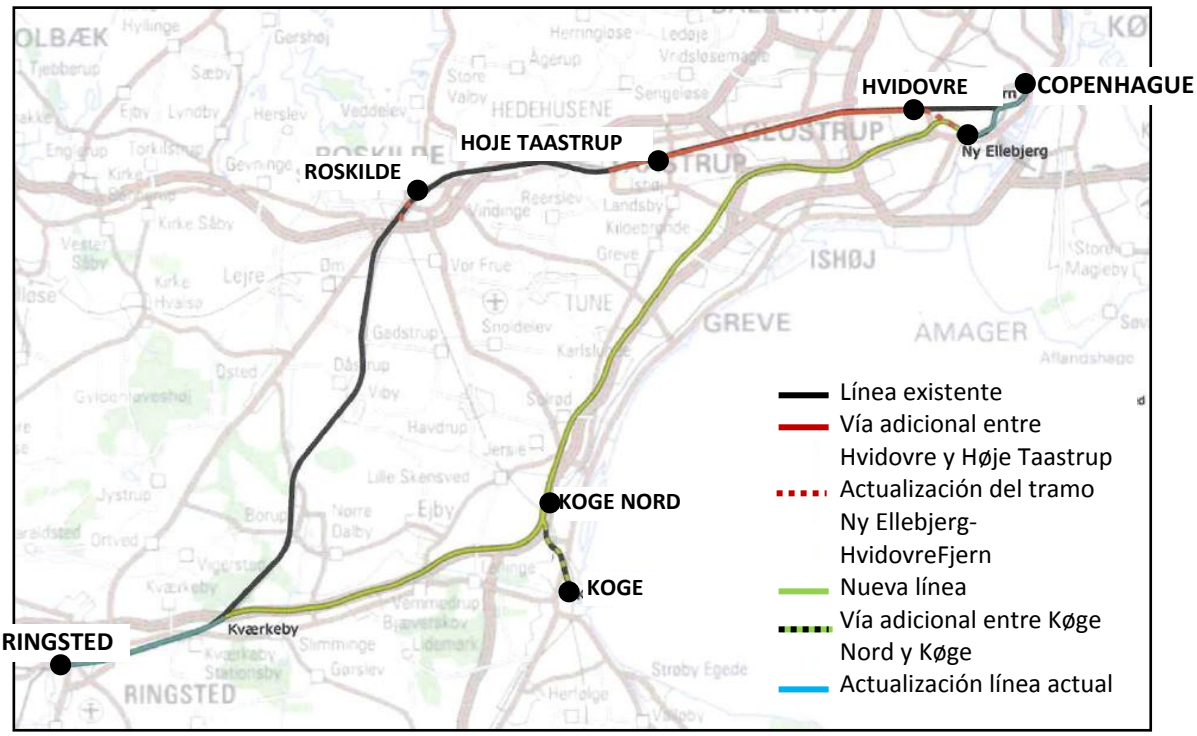

Figura 50. Esquema de las dos opciones planteadas: al norte figura la línea actual; al sur, la nueva línea proyectada. Fuente: *Le Rail nº 171,* Noviembre 2010.

Como se aprecia en la Figura 50, antes de optar por la construcción de una nueva línea, se sopesó la posibilidad de ampliar la línea existente con una vía adicional entre Hvidovre y HøjeTaastrup, uno de los tramos más conflictivos en cuanto a capacidad de la línea. A continuación se muestran argumentos clave del debate para escoger la mejor solución:

FACTOR	NUEVA LÍNEA	VÍA ADICIONAL
Coste de la inversión	1400 M €	400 M €
Mejora de la capacidad	Mayor	Menor
Impacto ambiental	Mayor	Menor
Expropiaciones	Mayores	Menores

Tabla 31. Características principales de ambas alternativas. Fuente: *Le Rail nº 171,* Noviembre 2010.

El factor clave de decisión fue el grado de mejora de la capacidad de la línea, como muestra la Figura 51. En negro figuran los tráficos actuales. En rojo, los tráficos admitidos con una quinta vía en el tramo Hvidovre-Høje Taastrup. En azul se muestran los tráficos conseguidos con la nueva línea Copenhague-Ringsted

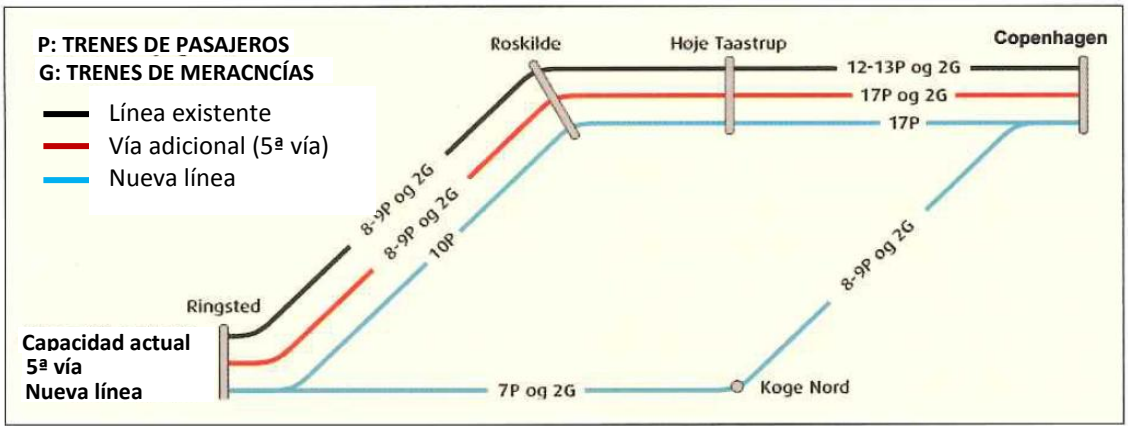

Figura 51. Trenes por hora que admiten cada uno de los tramos de las líneas. Fuente: *Le Rail nº 171,* Noviembre 2010.

Como se puede observar en la Tabla 32, las mejoras de capacidad de sendas alternativas son:

Trenes/Hora		COPENHAGUE-ROSKILDE	ROSKILDE-RINGSTED	COPENHAGUE-KOGE NORD	KOGE NORD-RINGSTED
ACTUALIDAD	PASAJEROS	12-13	8-9	0	0
	MERCANCÍAS	2	2	0	0
NUEVA LÍNEA	PASAJEROS	17	10	8-9	7
	MERCANCÍAS	0	0	2	2
VÍA ADICIONAL	PASAJEROS	17	8-9	0	0
	MERCANCÍAS	2	2	0	0

Tabla 32. Tráficos admitidos por cada tramo de línea en función de la alternativa escogida. Fuente: *Le Rail nº 171,* Noviembre 2010.

La clara ventaja que posee la nueva línea es que permite aliviar el tráfico por la línea existente, además de ofrecer un camino alternativo. Adicionalmente, permite derivar los trenes de mercancías por la nueva línea, de modo que el tráfico en la línea existente es más homogéneo. Finalmente, esta nueva línea permite una circulación de trenes de pasajeros a una velocidad de 250km/h, con lo que cabría la posibilidad de incluir esta línea en una red de alta velocidad que conectase Dinamarca y Suecia con el continente.

En 2009 se optó por construir la línea nueva. Se espera que los trabajos se inicien en 2013, y que la línea entre en servicio el 2018.

Ahorro de tiempo

El ahorro de tiempo conseguido mediante la construcción de esta línea se resume en la Tabla 33.

RUTA	AHORRO TEMPORAL
Copenhague-Odense	00:06
Copenhague-Hamburgo	00:10

Tabla 33. Ahorros de tiempo con la construcción de la nueva línea Copnehague-Ringsted. Fuente: Banverket.

6.2. Enlace del Fehmarn

Hoy en día, el único enlace fijo que queda por construir para unir definitivamente Escandinavia con Europa es el que discurre por el estrecho del Fehmarn.

Figura 52. Mapa de las conexiones existentes entre la isla de Zelanda y los territorios circundantes. Fuente: FemernSundBælt.

Historia

En el año 2000, cuando los gobiernos danés y alemán se plantearon la construcción de este enlace fijo, surgieron las siguientes alternativas:

- Puente atirantado.
- Puente suspendido.
- Túnel excavado con tuneladoras.
- Túnel excavado mediante dragado de fondo y colocación de elementos prefabricados.

En Noviembre de 2010 se optó por el túnel excavado mediante dragado de fondo y colocación de elementos prefabricados.

El inicio de los trabajos está previsto para 2015, y su apertura para el año 2021.

Descripción del enlace

El proyecto contempla la construcción de un túnel de 19 km para tráfico viario y ferroviario. El túnel está formado por cuatro tubos. Dos para tráfico viario, con dos carriles por sentido, y dos más para el tráfico ferroviario.

La construcción se ejecutará mediante dragado del fondo y la posterior colocación con grúa de los 89 elementos del túnel, hormigonados en planta.

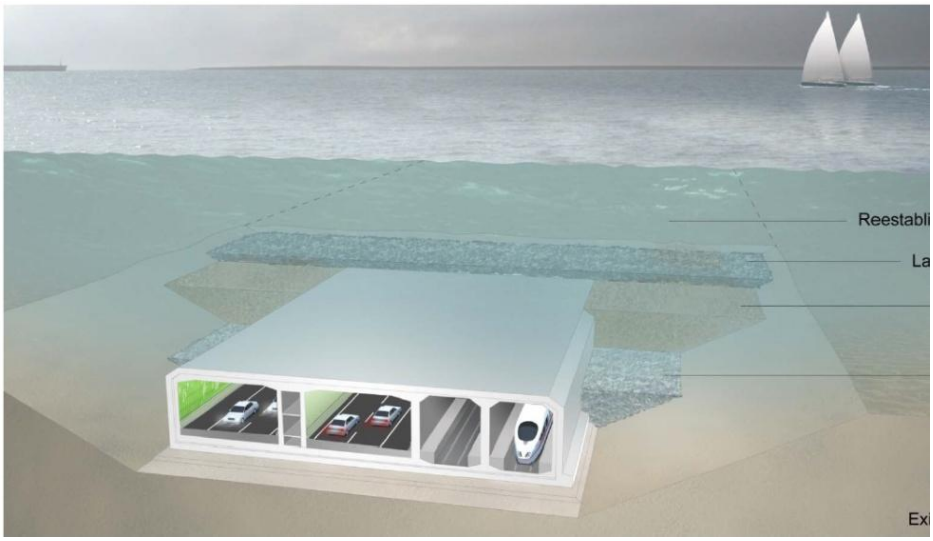

Figura 53. Esquema de la sección transversal del túnel propuesta. Fuente: FemernSundBælt.

Este proyecto depende en gran medida de la actualización y mejora de las líneas que conectan con el enlace en territorio danés y alemán. De este modo como ya se ha comentado, aparecen nuevos cuellos de botella potenciales que se deben mejorar:

- Puente Fehmarnsund (Alemania). Este puente presenta vía única.

Figura 54. Mapa de la zona sur del estrecho de Fehmarn. Fuente: Google Maps.

- Puente Storstrøm, que conecta la isla de Falster con Zelanda (Dinamarca). Este puente también es de vía única.

Figura 55. Mapa de la zona norte del estrecho de Fehmarn. Fuente: Google Maps.

Adicionalmente, como se muestra en la Figura 27, hay diversos tramos en vía única o sin electrificar:

- Línea Lübeck-Puttgarden (Alemania). Esta línea se debe desdoblar y electrificar.
- Línea Ringsted-Rødby (Dinamarca). Esta línea también se debe electrificar. Además, hay que desdoblar el tramo entre Vordingbord y Rødby.

Con la actualización de estas líneas se garantiza un aumento muy importante de la capacidad del enlace por el Fehmarn.

Ahorro de tiempo

Actualmente, el tiempo de trayecto entre Copenhague y Hamburgo es de 4 h 46 min. Con la construcción de este enlace fijo, el ahorro de tiempo será de 1h 16 min.

Coste de la obra

El coste de la construcción está estimado en 5500 M €. El gobierno danés presta este dinero a la empresa *Femern A/S,* que prevé recuperar la inversión en 33 años mediante el cobro de un peaje.

Tráfico

Como ya sucedió con la inauguración del enlace fijo del Øresund, las previsiones de tráfico a través del enlace fijo del Fehmarn muestran un gran incremento de viajeros a partir del año de su apertura. Esto puede sobrecargar las líneas de la isla de Zelanda, así como el enlace del Øresund.

De este modo, el tráfico ferroviario previsto por A/S Femern, la compañía encargada de llevar a cabo el proyecto, es de 3800 pasajeros diarios en el año de apertura, mientras que actualmente el tráfico de pasajeros no supera los 1000 diarios. Para el 2025, las previsiones son de 40 trenes de pasajeros y 78 trenes de mercancías diarios.

6.3. Conexión Hamburgo-Puttgarden

6.3.1. Alternativa 1. Mejora de la línea

Como actuación complementaria a la construcción del enlace del Fehamrn, a finales de 2008, se terminó con éxito la electrificación del tramo de 85 km entre Hamburgo y Lübeck, que permite velocidades de circulación máximas de 160 km/h.

Actualmente se plantea la mejora de la línea entre Lübeck y Puttgarden, para preparar la línea ante el incremento de tráfico que se producirá con la apertura del nuevo enlace fijo del Fehmarn. Para ello, se plantea desdoblar y electrificar la vía para admitir velocidades máximas de 160 km/h, excepto en el puente del Fehmarnsund, que se mantendrá en vía única. El coste de esta mejora ronda los 1000 millones de euros, y el ahorro de tiempo estimado es de aproximadamente 20 minutos. El gobierno alemán de momento no plantea la construcción de una línea de alta velocidad Hamburgo-Puttgarden.

6.3.2. Alternativa 2. Construcción de una nueva línea de alta velocidad

No obstante, si se plantease una línea de alta velocidad entre Hamburgo y Puttgarden, y suponiendo un coste de 15 millones de euros por kilómetro, su coste sería de 2300 millones de euros, y el ahorro de tiempo ascendería hasta 1 hora.

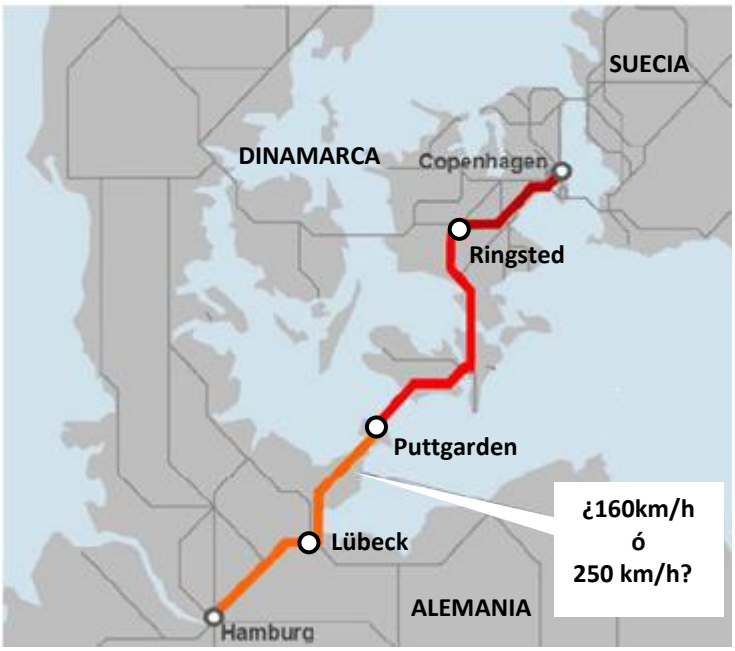

Figura 56. Mapa de la propuesta alemana de actualización de la línea Hamburgo-Lübeck-Puttgarden. Fuente: elaboración propia a partir de Debatoplæg til banestrategi for en konkurrencedygtig Øresundsregion.

6.4. Conexiones Copenhague-Odense-Århus-Aalborg

El gobierno danés tiene por objetivo reducir los tiempos de viaje entre sus ciudades principales. Para ello, dispone de varias alternativas.

6.4.1. Alternativa 1. Conexiones de una hora entre las principales ciudades

Esta solución contempla la mejora de las líneas actuales para conseguir tiempos de viaje de una hora entre ciudades consecutivas. La Figura 57 muestra un esquema de la propuesta.

Figura 57. Alternativa 1. Fuente: String, *Status for High-Speed Networks in Northern Europe.*

De este modo, el tiempo de viaje en las rutas Copenhague-Odense, Odense-Århus y Århus-Aalborg es de 1 hora.

Ahorros temporales

La Tabla 34 muestra los ahorros en tiempos de viaje:

RUTA	AHORRO TEMPORAL
Copenhague-Odense	00:15[2]
Odense-Århus	00:33
Århus-Aalborg	00:21

Tabla 34. Ahorros de tiempos de trayecto en la alternativa 1. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de String, *Status for High-Speed Networks in NorthernEurope.*

Coste de la infraestructura

La inversión para lograr dichos ahorros temporales se sitúa entre los 2000 y 3000 millones de euros.

[2] La nueva línea Copenhague-Ringsted supone un ahorro temporal de 6 minutos entre Copenhague y Odense. Por lo tanto, esta nueva línea colabora con 9 minutos más de ahorro a la ganancia de 15 minutos entre Copenhague y Odense.

6.4.2. Alternativa 2. Conexión rápida Odense-Århus

Esta solución contempla la construcción de un nuevo enlace fijo en el Lillebælt, para reducir los tiempos de viaje en la ruta Odense-Århus. La Tabla 35 muestra un esquema de la actuación.

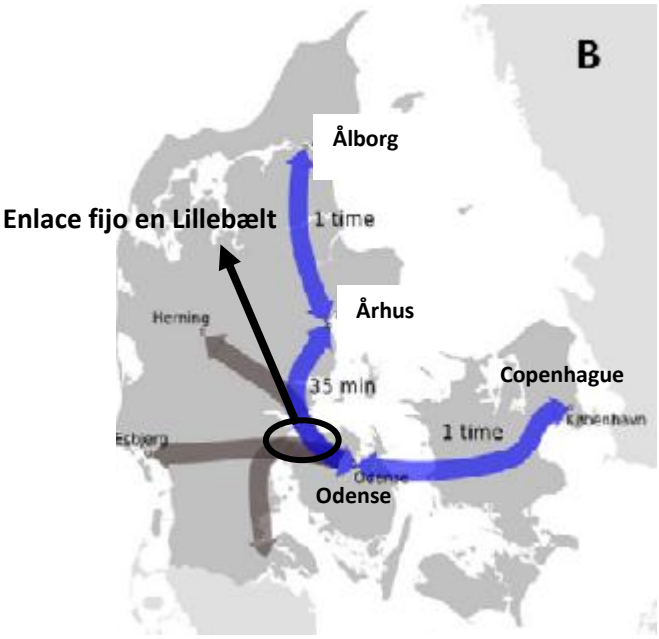

Tabla 35. Alternativa 2. Fuente: String, *Status for High-Speed Networks in Northern Europe.*

Ahorros temporales

La Tabla 34 muestra los ahorros en tiempos de viaje:

RUTA	AHORRO TEMPORAL
Copenhague-Odense	00:15
Odense-Århus	00:58
Århus-Aalborg	00:21

Tabla 36. Ahorros de tiempos de trayecto en la alternativa 2. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de String, *Status for High-Speed Networks in NorthernEurope.*

En esta solución, el ahorro de tiempo en la ruta Odense-Århus es de casi una hora.

Coste de la infraestructura

La inversión para lograr dichos ahorros temporales se sitúa entre los 6000 y 7000 millones de euros.

6.4.3. Alternativa 3. Construcción de un nuevo mega-enlace fijo

Esta solución considera la construcción de un nuevo enlace fijo de 50 km para acercar las poblaciones de Copenhague y Århus, las dos ciudades más pobladas del país. La Figura 58 muestra un esquema de la actuación.

Figura 58. Alternativa3. Fuente: String,*Status for High-Speed Networks in Northern Europe.*

Se observa que el nuevo enlace fijo permitiría un tiempo de viaje entre Copenhague y Århus de una hora.

Ahorros temporales

La Tabla 34 muestra los ahorros en tiempos de viaje:

RUTA	AHORRO TEMPORAL
Copenhague-Odense	00:15
Odense-Århus	00:00
Århus-Aalborg	00:21
Copenhague- Århus	01:50

Tabla 37. Ahorros de tiempos de trayecto en la alternativa 3. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de String, *Status for High-Speed Networks in NorthernEurope.*

En esta solución, el ahorro de tiempo en la ruta Odense-Århus es de casi dos horas.

Coste de la infraestructura

Debido a la construcción de esta nueva infraestructura, la inversión para lograr dichos ahorros temporales asciende a entre 15000 y 18000 millones de euros.

6.5. Enlace fijo entre Helsingør y Helsingborg (Frontera Dinamarca-Suecia)

Figura 59. Emplazamiento del enlace Helsingør-Helsingborg. Fuente: elaboración propia.

Motivación

A día de hoy, la única vía para cruzar en ferrocarril el estrecho del Øresund es a través del enlace fijo existente. No obstante, el descomunal aumento del tráfico en el enlace plantea la necesidad de construir otro nuevo. En la Figura 60 se puede observar dicha evolución, medida en millones de viajes anuales:

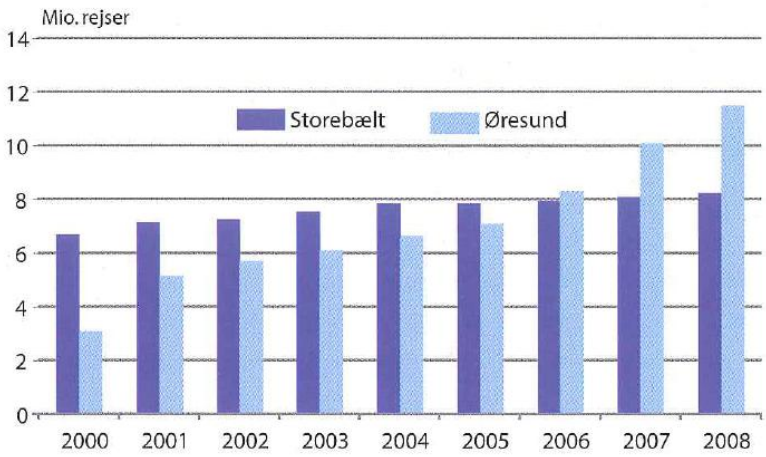

Figura 60. Evolución de los millones de viajeros que cruzan anualmente los enlaces de Øresund y Storebælt. Fuente: Debatoplæg til banestrategi for en konkurrencedygtig Øresundsregion.

Se aprecia que desde al año 2000, año de apertura del enlace, el incremento de viajes anuales ha sido muy elevado, llegando a superar al tráfico a través del Storebælt a partir de 2006.

Como ya se ha mencionado en el apartado *Discusión del emplazamiento*: Copenhague-Malmö/Helsingør-Helsingborg, este segundo emplazamiento constituye la mejor opción para desdoblar las comunicaciones terrestres entre Dinamarca y Suecia..

Descripción y coste del enlace

Debido a la gran profundidad del estrecho en esta zona, y a la proximidad de ambas ciudades (4km), la solución en puente queda descartada para el tráfico ferroviario, ya que las pendientes serían demasiado elevadas. Por lo tanto, se plantea la construcción de un túnel para ferrocarril. Se plantean dos opciones:

- Túnel para el tráfico mixto de pasajeros y mercancías, con un coste de 1500 millones de euros. Presenta el inconveniente de que la capacidad se ve restringida debido a la heterogeneidad de tráficos.
- Construcción de dos túneles; uno doble para pasajeros y otro para carga, con un coste total de 1800 millones de euros. Aun requiriendo una inversión mayor, aportaría una gran capacidad adicional a la conexión entre ambos países. Debido al gran peso de los trenes de mercancías, éstos son más sensibles a las pendientes, con lo que la solución planteada consta de un túnel doble para tráfico de pasajeros que une ambos centros urbanos, y un segundo túnel para tráfico de mercancías, algo más largo, que no tiene necesidad de pasar por los centros de las poblaciones. Esto permitiría la construcción de zonas de actividad logística en las afueras de ambos núcleos de población

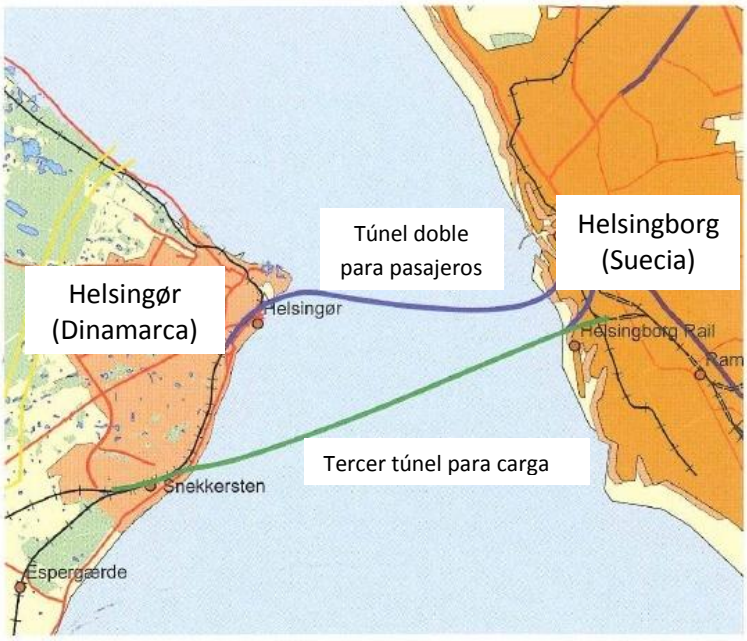

Figura 61. Mapa de la propuesta. Se aprecia un túnel doble para pasajeros que une ambos centros urbanos, y un tercer túnel para mercancías situado al sur. Fuente: Debatoplæg til banestrategi for en konkurrencedygtig Øresundsregion.

Si este enlace se llevase a cabo, se precisaría una reforma de la línea costera danesa, la que une Helsingør con Copenhague, ya que como se aprecia en la Figura 30 actualmente también tiene problemas de capacidad, y supondría una alternativa para la ruta Copenhague-Göteborg.

Ahorro de tiempo

Se estima que el ahorro de tiempo será de aproximadamente 30 minutos.

Incrementos de tráfico

Según un estudio analizado por Vectura (2009), el tráfico por el enlace en el año 2030 supondría un incremento diario de 13000 viajeros. El tráfico de dicho enlace sería básicamente de nueva creación, y el enlace del Øresund perdería tan sólo 1000 trayectos diarios.

6.6. Corredor Oeste (Isla de Zelanda, Dinamarca)

Si el enlace fijo entre Helsingør y Helsingborg fuese construido, la conexión Copenhague-Helsingør podría ser reforzada con una nueva línea que rodease la capital por el oeste, ya que la línea actual, que discurre por la costa, no admite más tráfico. Se estudian tres trazados distintos:

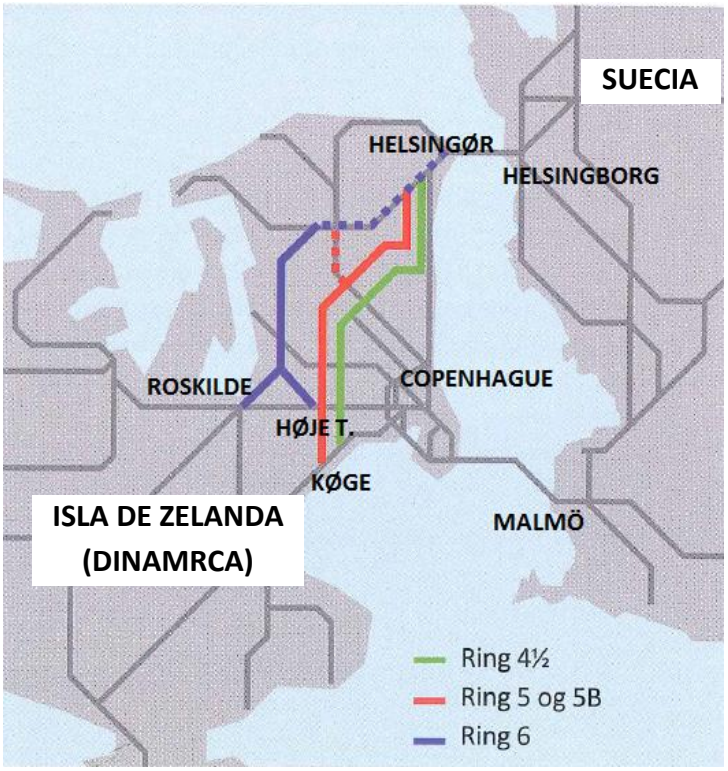

Figura 62. Alternativas de trazado. Fuente: Debatoplæg til banestrategi for en konkurrencedygtig Øresundsregion.

- Anillo 4 ½: Parte de Køge Nord, rodea la capital danesa y sube por la costa siguiendo la autopista que une Copenhague con Helsingør. Es la alineación más corta y provoca un gran desarrollo regional, pero requiere un gran número de expropiaciones.
- Anillo 5: Parte de Køje Nord, rodea la capital danesa de forma más periférica que el anillo 4 ½ y sube por la costa siguiendo la autopista que une Copenhague con Helsingør. El inconveniente es que no está cerca de estaciones existentes, con lo que las posibilidades de transferencia son reducidas, y el desarrollo regional es menor.
- Anillo 6: Parte de Høje Taastrup y Roskilde, efectúa un trazado más periférico que los dos anteriores y llega a Helsingør. Opción más barata, pero con menos potencial de desarrollo urbano.

El coste de dichas alternativas ronda los 1000 millones de euros, y la ganancia de tiempo estimada es de 35 minutos.

6.7. Línea de la costa (Isla de Zelanda, Dinamarca)

A día de hoy, esta línea presenta problemas de capacidad. Para poder asumir el tráfico que circule por el enlace fijo entre Helsingør y Helsingborg se plantean dos posibles soluciones, esquematizadas en la Figura 63:

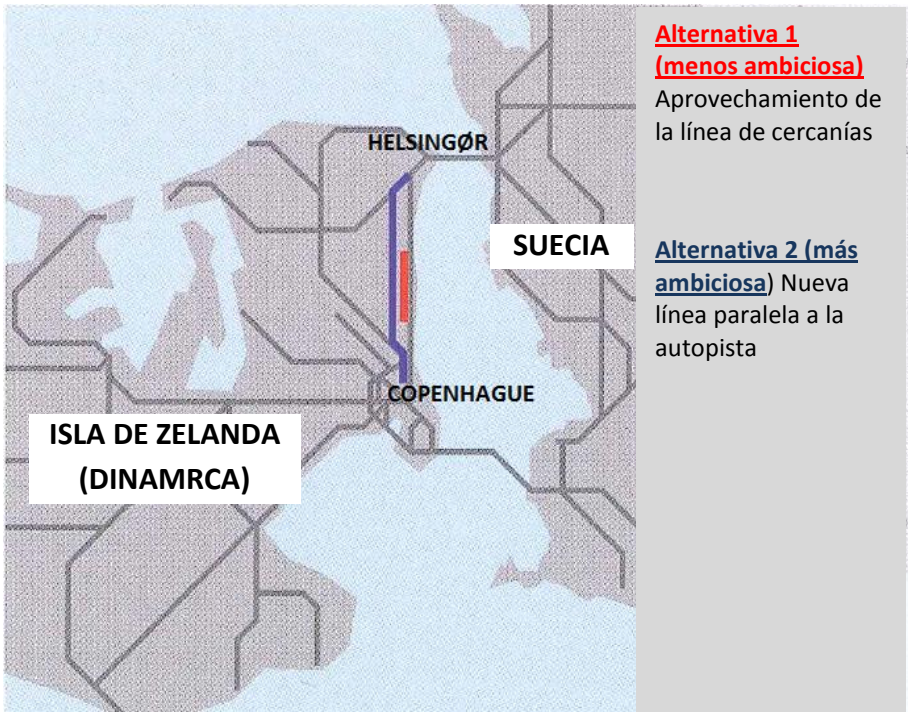

Figura 63. Alternativas de trazado para la línea de la costa este de Zelanda. Fuente: Elaboración propia a partir de figuras de Debatoplæg til banestrategi for en konkurrencedygtig Øresundsregion.

6.7.1. Alternativa 1. Nueva línea con aprovechamiento de la actual

Esta solución aprovecha la infraestructura utilizada por los trenes de cercanías, que discurre paralela a la línea convencional durante parte del recorrido, para reducir la longitud total de nueva infraestructura.

6.7.2. Alternativa 2. Nueva línea siguiendo la autopista Copenhague-Helsingør

Esta opción contempla la construcción completa de una nueva línea entre Copenhague y Helsingør.

Actualmente el tiempo de viaje del trayecto Copenhague-Helsingør es de 45 minutos. Los nuevos tiempos de viaje se muestran en la Tabla 38:

ALTERNATIVA	TIEMPO DE VIAJE	AHORRO TEMPORAL	COSTE (M€)
Alternativa 1	00:32	00:13	600
Alternativa 2	00:23	00:22	1100

Tabla 38. Ahorros temporales entre Copenhague y Helsingør. Fuente: Debatoplæg til banestrategi for en konkurrencedygtig Øresundsregion.

6.8. Sur de Zelanda (Dinamarca)

Con la futura apertura del enlace del Fehmarn, las líneas del sur de Zelanda deben estar preparadas para asumir los incrementos de tráfico.

De este modo, se plantean las siguientes alternativas:

6.8.1. Alternativa 1. Mejora de la línea existente (I)

Esta solución contempla una mejora del tramo Køge-Næstved con bypass en Køge y Næstved. Su coste ronda los 600 millones de euros, y el ahorro de tiempo es de 25 minutos.

6.8.2. Alternativa 2. Mejora de la línea existente (II)

Esta opción consiste en mejorar el tramo Køge-Næstved con bypass en Køge, Næstved y Nykøbing. Esto supone un coste de 1400 millones de euros, y un ahorro de tiempo de 50 minutos.

6.8.3. Alternativa 3. Construcción de una nueva línea (III)

Esta alternativa consiste en construir una Nueva línea de alta velocidad entre Køge y Nykøbing , con bypass en Køge y Nykøbing. Esta opción cuesta unos 2300 millones de euros y la ganancia de tiempo es de 1 hora y 10 minutos.

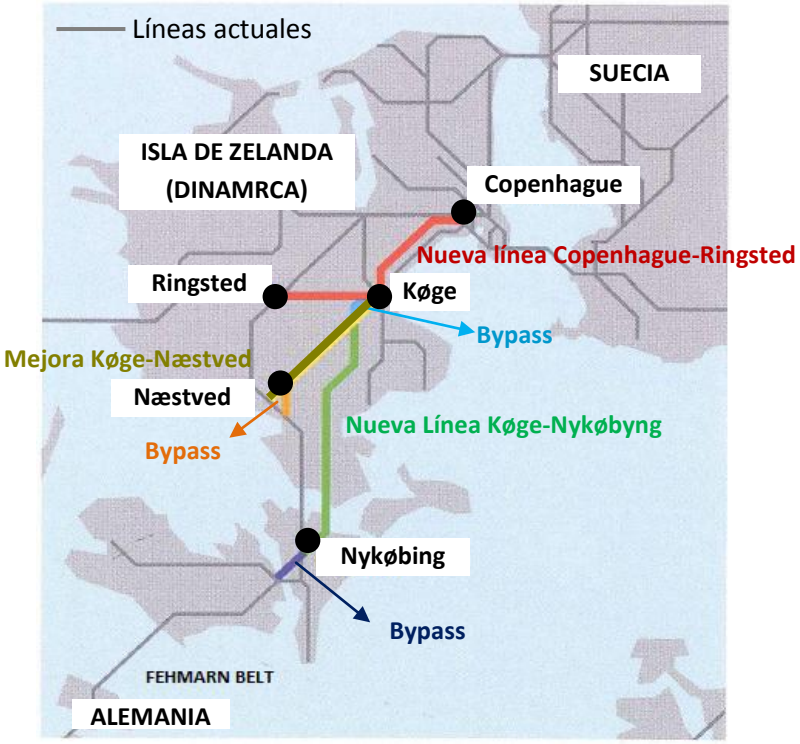

Figura 64. Mapa de posibles actuaciones en el sur de Zelanda. Fuente: Debatoplæg til banestrategi for en konkurrencedygtig Øresundsregion.

La Tabla 39 compara los costes y ahorros temporales conseguidos combinando dichas mejoras.

ALTERNATIVA	AHORRO TEMPORAL (H:MM)	COSTE (M€)
1	0:25	600
2	0:50	1400
3	1:10	2300

Tabla 39. Ahorros en tiempos de viaje entre Copenhague y Hamburgo en función de la infraestructura construida.

6.9. Citytunneln de Malmö (túnel urbano de Malmö)

Como parte complementaria a la construcción del enlace fijo del Øresund (página 64), a finales de 2010 se inauguró el Citytunneln de Malmö. El motivo de su construcción no es ahorrar tiempo de viaje, sino aliviar los problemas de capacidad. Antes de la existencia del túnel urbano, la estación central de Malmö era terminal, y con la llegada de los trenes a través del enlace fijo del Øresund, esta estación estaba condenada a ser un cuello de botella de la red

Con un coste de 1100 millones de euros, esta obra consiste en un túnel urbano por debajo de la ciudad, que enlaza la línea proveniente del Øresund con la estación central de Malmö.

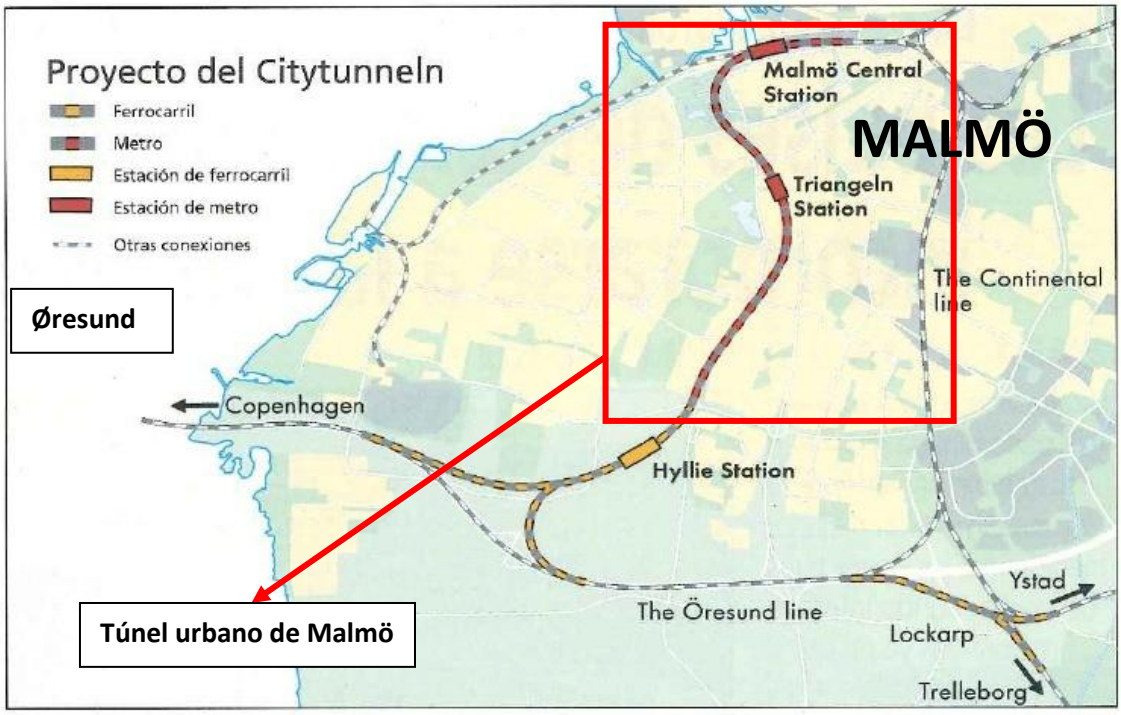

Figura 65. Esquema del proyecto de túnel urbano en Malmö. Fuente: *Vía Libre*, Marzo 2001.

La obra consiste en 18 km nuevos de vía férrea, de los cuales 12 km son en doble vía y 6 lo son en túnel de vía única. Se construyeron dos nuevas estaciones: Triangeln y Hyllie. La obra fue pagada por el gobierno sueco (50%), por la región de Escania (25%) y por la ciudad de Malmö (25%).

Dado que en Suecia se circula por la izquierda (sentido contrario de Dinamarca), al norte Malmö Central se tuvo que construir un puente para cambiar el sentido de circulación.

6.10 Túnel de Hallandsås (Suecia)

Actualmente, el 80% de la vía que conecta Malmö y Göteborg es en doble vía. No obstante, esta línea atraviesa la denominada cordillera de Hallandsås, próxima a la costa sueca. En este tramo en vía única, las pendientes son elevadas, y la velocidad se ve negativamente afectada, especialmente por lo que respecta al transporte de mercancías, con lo que supone un cuello de botella para la red.

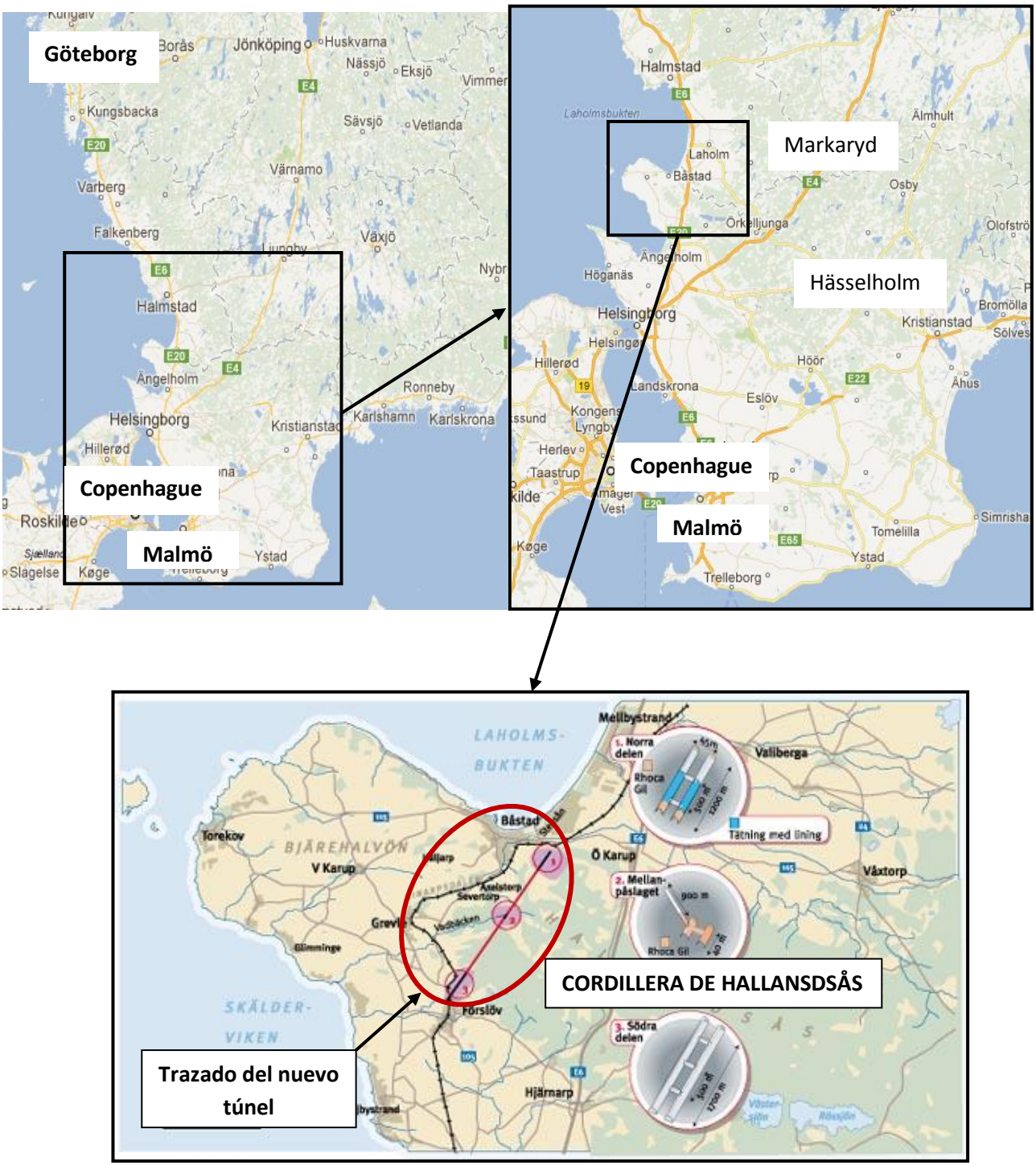

Figura 66. Emplazamiento y esquema del túnel de Hallandsås. En negro se aprecia el trazado actual de la línea; en rojo, el del nuevo túnel bajo la cordillera. Fuente: eriksrailnews.com

Cuando se analizó cómo solucionar el problema, surgieron las siguientes alternativas:

- Redefinir localmente el trazado para rebajar las pendientes.
- Rodear el macizo por Markaryd-Hässelholm.
- Construir un túnel de 8,6 km (dos tubos paralelos, uno para cada vía). Esta fue la opción escogida.

El túnel se empezó a construir en 1992. Sin embargo, el material de la cordillera está compuesto por roca arcillosa y grava porosa, motivo que provocó que surgieran problemas hidrológicos en el macizo y se ralentizara la construcción. Las tuneladoras provocaron enormes filtraciones de agua a su paso, de modo que las fuentes y torrentes de la cordillera se secaron en gran medida. Adicionalmente, el material sellante usado cara cerrar las fisuras provocó problemas de contaminación de pozos y acuíferos, que se transmitió a trabajadores, vegetación y ganado. En 2007, sólo un tercio del túnel estaba completado.

Hoy en día las previsiones de finalización de la obra son para 2015, y su coste total previsto, de 1250 millones de euros. El nuevo tramo permitirá una velocidad máxima de 200 km/h.

Ahorro en tiempos de viaje

El ahorro de tiempo de trayecto para los trenes será de 5 minutos. No obstante, el principal objetivo de esta obra es desdoblar el tramo en vía única para así eliminar este cuello de botella.

6.11 Mejora de la línea Malmö-Göteborg-Oslo

Figura 67. Actualizaciones de tramos de vía en la ruta Malmö-Göteborg-Oslo. Fuente: elaboración propia a partir de datos de String, *Status for High-Speed Networks in Northern Europe.*

6.11.1. Tramo Malmö-Göteborg

6.11.1.1. Alternativa 1. Mejora de la línea actual

Desde hace 20 años se está llevando a cabo la actualización y mejora de la línea Malmö-Göteborg, desdoblando tramos en vía única y soterrando las vías a su paso por poblaciones importantes. De hecho, el Citytunneln de Malmö y el túnel de Hallandsås son parte de estas mejoras.

Otras mejoras que se están desarrollando en el tramo Malmö-Göteborg son:

- Desdoblamiento del tramo Helsingborg-Ängelholm.
- Túnel suburbano en doble vía en Varberg.
- Túnel suburbano en doble vía en Göteborg (6km)

6.11.1.2. Alternativa 2. Construcción de una nueva línea de alta velocidad.

No obstante, los ahorros de tiempo que se consiguen con estas mejoras no están a la altura de una conexión de alta velocidad. Suponiendo unos costes de construcción proporcionales a los de las líneas de alta velocidad propuestas en Suecia, explicadas en el siguiente apartado, el coste de construir una nueva línea de altas prestaciones entre Malmö y Göteborg rondaría los 3300 millones de euros. Adicionalmente, el ahorro de tiempo entre Göteborg y Malmö sería de aproximadamente 1 hora.

6.11.2. Tramo Göteborg-Oslo

En primer lugar, el tramo de 75 km entre Göteborg y Trollhättan incluido en la ruta Göteborg-Oslo se está desdoblando y preparando para 250 km/h.

Por último, está prevista una mejora de la línea entre Trollhättan y Oslo. Dicha mejora contempla la construcción de varios kilómetros de nuevas líneas. Existen dos alternativas de trazado:

6.11.2.1. Alternativa 1. Trazado paralelo a la línea actual

Esta solución plantea un trazado que sigue la línea actual, estableciendo la conexión Trollhättan-Halden-Sarpsborg-Moss-Ski-Oslo. De este modo, la longitud de la conexión Oslo-Trollhättan sería de 327 km, de los cuales 184 serían en línea de nueva construcción, y con un 25% de trazado en túnel. La velocidad máxima de circulación sería de 250 km/h, lo que supondría un ahorro de tiempo de 1h 31 minutos respecto a la situación actual. Su coste estimado es de 8800 millones de euros.

6.11.2.2. Alternativa 2. Atajo Ski-Sarpsborg

Esta opción se diferencia de la anterior en el trazado de la línea entre Ski y Sarpsborg. De este modo, plantea una nueva conexión que acorte distancias entre estas dos poblaciones. Consecuentemente, la distancia de la conexión se acorta hasta los 297 km, con 195 de nueva construcción y con un 30% del trazado en túnel. La velocidad máxima de circulación sería de 250-330 km/h, con lo que se lograría una ganancia de tiempo de 2 horas 9 minutos. El coste es de 9200 millones de euros.

La Tabla 40 recoge las principales características de sendas opciones.

ALTERNATIVA	TRAZADO	LONGITUD DE LA CONEXIÓN (KM)	LONGITUD DE NUEVA LÍNEA (KM)	VELOCIDAD MÁXIMA (KM/H)	PORCENTAJE EN TÚNEL	AHORRO TEMPORAL OSLO-GÖTEBORG (H:MM)	COSTE (M €)
1	Paralelo a la línea actual	327	184	250	25%	1:31	8800
2	Atajo de 30 km Ski-Sarpsborg y bypass en Halden	297	195	250-330	30%	2:09	9200

Tabla 40. Características de las alternativas de conexión Oslo-Trollhättan. Fuente: elaboración propia a partir de datos de String, *Status for High-Speed Networks in Northern Europe.*

6.12 Conexiones Estocolmo-Göteborg y Estocolmo-Malmö

Los graves problemas de capacidad que hoy en día azoran el sistema ferroviario sueco plantean dos soluciones:

- Alternativa 1. Mejorar las líneas actuales, aumentando la eficacia de la gestión del tráfico y aprovechando las características técnicas de los trenes X2000, que ya han demostrado su capacidad para aumentar la velocidad comercial de las líneas en las que son operados.
- Alternativa 2. Construir nuevas líneas de alta velocidad.

La siguiente tabla muestra las principales diferencias entre ambas soluciones

TIPO DE LÍNEA Y TREN	LÍNEAS ACTUALES MEJORADAS- X2000	NUEVAS LÍNEAS DE ALTA VELOCIDAD-TGV
VELOCIDAD MÁXIMA	200-250 km/h	250-350 km/h
VELOCIDAD COMERCIAL	120-180 km/h	200-250 km/h
EXISTENCIA DE PASOS A NIVEL	SÍ	NO

Tabla 41. Diferencias principales entre ambas alternativas. Fuente: *Observatoire des politiques et des stratégies de transport en Europe*, Junio 2010.

La tabla anterior muestra como la solución en alta velocidad supone un aumento de la velocidad comercial de entre 50 y 100km/h, y no presenta pasos a nivel.

6.12.1. Alternativa 1. Mejora de las principales líneas actuales

Como ya se ha comentado en el apartado de sistemas de señalización, hoy en día ya está en proyecto la actualización del sistema de señalización, que va a pasar de ACT a ERTMS. Esto va a permitir la circulación a velocidades superiores a 250km/h en algunos tramos, ya que vía y catenaria permiten la circulación a tal velocidad, pero el sistema ACT solamente permite una circulación a 200 km/h. No obstante, se plantean otras actuaciones, incluidas en la propuesta GrönaTåget (El tren verde).

GrönaTåget es una colección de propuestas, ideas y soluciones técnicas, que nacieron en 2005, y cuyo objetivo es el de aumentar la velocidad comercial de los trenes suecos sin depender de la construcción de nueva infraestructura para alta velocidad.

De este modo, se propone el uso de trenes con bogíes flexibles y caja inclinable, similar al X2000 o derivados, que permiten una velocidad mayor que los trenes actuales en las líneas convencionales, y una velocidad superior a 300km/h en líneas de alta velocidad. Así, según el tipo de vía, la velocidad máxima puede ser de 250, 280 o 320 km/h.

No obstante, es necesario adaptar las líneas convencionales para conseguir velocidades superiores a los 200 km/h. De este modo, es preciso:

- Eliminar los pasos a nivel.
- Cambiar el sistema de catenaria en algunos tramos.
- El paso del sistema ACT a ERTMS (ya planeado en la actualidad).

Otras ideas incluidas en este recopilatorio son:

Mayor aprovechamiento del espacio disponible en los coches de pasajeros.

En los trenes, el espacio disponible por viajero es significativamente mayor al del avión. Esto provoca una mayor comodidad para el viajero, pero supone un precio por asiento más elevado.

Una posible solución sería el uso de trenes con 5 filas de asientos en lugar de las 4 que poseen actualmente. Esto provocaría un mayor aprovechamiento del espacio disponible en el convoy, y una consecuente reducción del precio del billete

Figura 68. Tren con cuatro filas de asientos. Fuente: dianestravels.com

Figura 69. Tren con cinco filas de asientos. Fuente: blog.taiwan-guide.org

Eficiencia energética

A pesar del aumento de velocidad comercial respecto a los trenes X2000, el consumo energético del Gröna Tåget por asiento-kilómetro es del orden del 25-30% inferior.

Reducción de la contaminación acústica

Por medio del uso de faldones en los bogíes, el ruido inherente a la circulación de los trenes es reducido.

Figura 70. Faldones de bogíes. Fuente: gronataget.se

Longitud óptima de los trenes.

Una solución para los problemas de capacidad de las líneas existentes es la de reducir la longitud de los convoyes en las horas que no circulan llenos, de este modo se tienen más coches disponibles y

se puede aumentar la frecuencia de paso. El GrönaTåget transporta 300 pasajeros en una longitud total de 108m (57m inferior al del X2000, que ofrece 309 asientos).

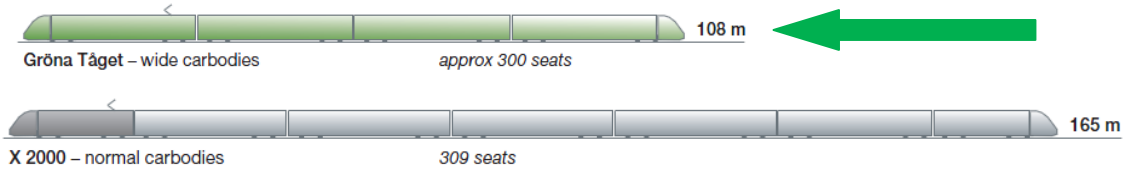

Figura 71. Reducción de la longitud de los trenes. Fuente: gronataget.se.

Aplicar principios de gestión utilizados por las compañías aéreas de bajo coste.

El tráfico aéreo ha conseguido consolidarse en el mercado gracias a la aparición de las compañías *lowcost*. Éstas se caracterizan por:

- Volar a aeropuertos secundarios. Esto implica:
  - Tasas aeroportuarias menores.
  - Aeropuertos menos concurridos, con lo que el riesgo de retrasos es menor.
- Exprimir al máximo la flota disponible, con el objetivo de disminuir el tiempo de amortización de la flota.
- Venta de billetes on-line.
- *Yield management*: venta de asientos vacíos a precios muy bajos.

Parece entonces una buena idea la de fijarse en algunas de las estrategias seguidas por estas aerolíneas para conseguir una mayor cuota de mercado para el ferrocarril.

No obstante, debido a la continuidad de la infraestructura ferroviaria a lo largo del territorio, sus costes fijos (mantenimiento, etc.) son mucho más elevados que los del tráfico aéreo.

Sin embargo, nuevas acciones se pueden tomar para integrar las otras tres características de estas aerolíneas al ferrocarril.

Uno de los factores clave para entender el precio de los billetes son los costes unitarios.

Costes unitarios

En el tráfico aéreo, los costes unitarios (coste por asiento y kilómetro) dependen de:

- Distancia de trayecto: a medida que aumenta la distancia de trayecto, los costes unitarios disminuyen de forma drástica. Esto se debe a que las tasas pagadas a las terminales aeroportuarias son costes fijos, y a mayor distancia recorrida mejor se aprovechan las tasas pagadas a los aeropuertos.
- Tamaño de la aeronave: a mayor tamaño, menores costes unitarios, aunque la frecuencia operativa no puede ser tan elevada.
- Factor de ocupación (porcentaje de asientos llenos): es obvio que a mayor factor de ocupación, menores son los costes unitarios.

En el caso del ferrocarril, los costes unitarios dependen de los mismos factores. No obstante, éstos no disminuyen tanto con la distancia de trayecto. Esto se debe a que el precio que pagan los operadores depende del uso de la infraestructura, no de los destinos a los que abastezca. Adicionalmente, el ferrocarril no se ve tan penalizado si realiza una parada intermedia en el

trayecto. De este modo, aumentando un poco el tiempo de viaje, con una parada adicional se consigue cubrir una mayor demanda de transporte.

En resumen, la alternativa a la construcción de nuevas líneas de alta velocidad pasa por efectuar ligeras modificaciones de trazado de las líneas actuales y aplicar principios de gestión y racionalización de recursos, algunos de ellos similares a los del mercado aéreo, con el objetivo de reducir tiempos de viaje sin realizar elevadas inversiones. No obstante, las previsiones positivas de incremento de tráfico, sumadas a los problemas de capacidad de las principales líneas suecas amenazan con colapsar el sistema a medio plazo.

6.12.2. Alternativa 2. Construcción de nuevas líneas

Para solventar dichos problemas de capacidad, se contempla la construcción de dos nuevas conexiones, mostradas en la Figura 72:

- Götalandsbanan, que une Estocolmo con Gotemburgo.
- Europabanan, que conecta Malmö con Jönkoping.

Ambas líneas estarían diseñadas para 320km/h.

Trazado y coste de las infraestructuras

Götalandsbanan.

Esta línea une las dos principales ciudades del país pasando por Norrköping, Linköping, Jönkoping y Borås. Tendría un coste aproximado de 8500 millones de euros.

Europabanan

Esta línea que une Jonköping con Malmö, sigue el trazado de la actual autopista E4. Su coste es de 3800 millones de euros.

La línea Götalandsbanan atraviesa zonas con grandes poblaciones, que se beneficiarían del paso de la nueva infraestructura. No obstante, Europabanan no pasa por grandes poblaciones, sino que su importancia yace en la conexión Estocolmo-Malmö y en la posible continuidad hacia el continente europeo. La importancia de esta línea depende en gran medida de la construcción de líneas de alta velocidad por parte de los gobiernos danés y alemán

Ahorro de tiempo

Con estas líneas, el trayecto Estocolmo-Göteborg, que actualmente se realiza en 3h 11min, pasaría a realizarse en aproximadamente 2:00h, y el trayecto entre la capital y Malmö, de 4h 29 min en la actualidad, pasaría a durar 2h 45 min.

LÍNEA	AHORRO TEMPORAL
ESTOCOLMO-GÖTEBORG	01:11
ESTOCOLMO-MALMÖ	01:46

Tabla 42. Ahorros temporales con las líneas de alta velocidad suecas. Fuente: Railway Gazette.

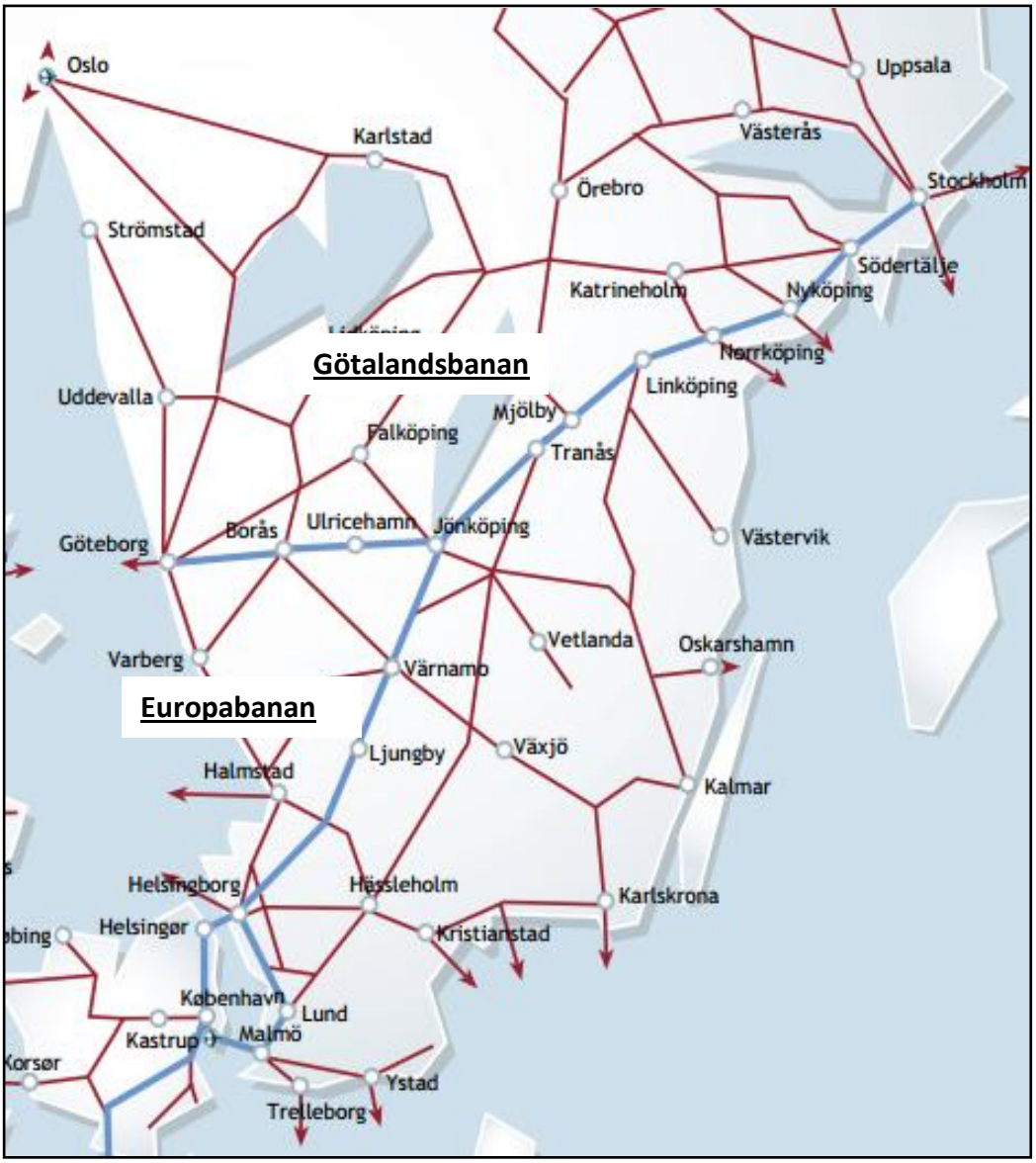

Figura 72. Nuevas líneas de alta velocidad propuestas en Suecia. Fuente: Europakorridoren.

.

6.13 Propuestas propias de proyectos

6.13.1. Alta velocidad en Noruega

Actualmente no existen proyectos para la construcción de líneas de alta velocidad en Noruega. No obstante, existen diversos estudios que realizan sus propias propuestas. A continuación se describen las principales propuestas de alta velocidad en Noruega:

1. Oslo-Trondheim.
2. Oslo-Bergen.
3. Oslo-Stavanger.
4. Oslo-Kristiansand.
5. Oslo-Estocolmo.
6. Bergen-Trondheim.
7. Bergen-Stavanger.
8. Stavanger-Kristiansand.

La Figura 73 resume las propuestas mencionadas:

Figura 73. Propuestas de alta velocidad en Noruega. Fuente: elaboración propia.

La Tabla 43 muestra las longitudes de las líneas, el coste de su construcción y los ahorros temporales que se podrían lograr.

LÍNEA	LONGITUD APROXIMADA (KM)	TIEMPO MÍNIMO DE TRAYECTO (H:MM)	AHORRO TEMPORAL (H:MM)	COSTE (M €)
1.OSLO-TRONDHEIM	500	2:45	3:55	15000
2.OSLO-BERGEN	400	2:15	4:32	12000
3.OSLO-STAVANGER	400	2:15	5:43	12000
4.OSLO-KRISTIANSAND	300	2:00	2:32	9000
5.OSLO-ESTOCOLMO	500	2:45	3:10	12000
6.BERGEN-TRONDHEIM	500	3:00	11:46	15000
7.BERGEN-STAVANGER	200	1:30	13:55	6000
8.STAVANGER-KRISTIANSAND	200	1:00	1:57	6000

Tabla 43. Características principales de las propuestas de alta velocidad en Noruega. Fuente: elaboración propia a partir de Jernbaneverket, *Feasibility Study Concerning High-Speed Railway Lines in Norway*.

Como se puede apreciar, los ahorros en tiempo de trayecto con estas nuevas líneas serían muy significativos, especialmente en las rutas donde no existe conexión ferroviaria directa, como Bergen-Trondheim y Bergen-Stavanger.

Para el cálculo de costes de inversión se ha considerado un coste de 30 millones de euros el kilómetro, debido a las complicadas condiciones geográficas de Noruega, donde abundan las montañas y fiordos, que obligan a construir túneles y puentes para superarlos.

6.13.2 Nueva línea Hamburgo-Jutlandia (Dinamarca)

Una nueva línea de alta velocidad entre Hamburgo y la península de Jutlandia supondría ganancias de tiempo entre la misma de Hamburgo y las ciudades de Odense, Århus y Aalborg.

La Figura 74 muestra el mapa del tramo propuesto:

Figura 74. Mapa de mejora de la línea Hamburgo-Jutlandia. Fuente: elaboración propia.

De este modo, y suponiendo un coste de 15 millones de euros el kilómetro, la inversión a realizar sería de unos 3800 millones de euros, y el ahorro de tiempo estimado es de 2h 30min.

7 IDONEIDAD DE DICHOS PROYECTOS RESPECTO A LAS DEBILIDADES

El análisis llevado a cabo en los apartados anteriores demuestra que la situación actual del ferrocarril requiere inversiones para mejorar su posición en el mercado de transporte de pasajeros.

Ante dicha perspectiva, se plantean dos posibles soluciones. La primera alternativa contempla combinar mejoras en el trazado de las líneas ferroviarias actuales con la puesta en servicio de trenes de caja basculante, ya operativos en algunas de las líneas (como es el caso de los X2000 en Suecia). Esta opción requiere una menor inversión, pero el ahorro de tiempo es menos significativo. La segunda alternativa se basa en la construcción de nuevas líneas de alta velocidad, con una inversión y unos ahorros temporales sensiblemente superiores. A continuación se analizan ambas alternativas.

7.1. Alternativa 1. Modificación del trazado de las líneas actuales

Una posible mejora de la presente situación del sistema ferroviario escandinavo consiste en combinar pequeñas modificaciones del trazado de las líneas con el uso de trenes de caja basculante, que permiten mayores velocidades de circulación en las curvas. Esto permitiría ahorros de los tiempos de viaje de entre el 13% y el 18% sin la necesidad de realizar grandes inversiones. Dado el contexto socioeconómico actual, esta opción podría resultar a priori la más adecuada.

No obstante, la experiencia demuestra lo contrario. Este es el caso de los ahorros temporales conseguidos en los años 80 en la ruta París-Lyon mediante la entrada en funcionamiento de los primeros servicios ferroviarios de alta velocidad. De este modo, antes de alcanzar el actual tiempo de trayecto de 2 horas, el tiempo de viaje fue descendiendo progresivamente desde las 3h 45 min.

AÑO	TRÁFICO AÉREO (PASAJEROS)	TIEMPO DE VIAJE EN FERROCARRIL (H:MM)	OBSERVACIONES
1981	940.000	3:45	Desde Septiembre el tiempo en tren fue de 2:40
1982	807.000	2:40	-
1983	754.000	2:40	Desde Septiembre el tiempo en tren fue de 2:00
1984	525.000	2:00	-

Tabla 44. Reducción de la demanda de tráfico aéreo ante la disminución del tiempo de viaje en ferrocarril de la ruta París-Lyon. Fuente: A. López Pita (1991).

La Tabla 44 muestra la evolución de la demanda de pasajeros del modo aéreo ante las sucesivas reducciones en los tiempos de viaje del modo ferroviario. Se observa que con un tiempo de viaje en tren de 2h 40 min, lo que significa una reducción del tiempo de viaje del 29% y una velocidad comercial de más de 150 km/h, el modo aéreo solamente perdió el 15% de su demanda de viajeros. En consecuencia, mediante el uso de trenes de caja basculante, que hubiesen ofrecido tiempos de trayecto entre las 3h 5 min y las 3h 15 min, el efecto sobre la demanda del modo aéreo hubiese sido incluso menos relevante. No fue hasta alcanzar el actual tiempo de trayecto de 2h entre París y Lyon, lo que supone una reducción del 47% del tiempo de viaje inicial, cuando la demanda del modo aéreo descendió sensiblemente.

Adicionalmente, muchos de los problemas de capacidad de las líneas danesas y suecas no serían solucionados con estas medidas.

Consecuentemente, se descarta la opción económica –pero no eficiente– de combinar mejoras en el trazado de las líneas con el uso de trenes de caja basculante.

7.2. Alternativa 2. Construcción de nuevas líneas de alta velocidad

Una vez comprobada la no eficiencia de la primera solución, la opción restante pasa por construir nuevas líneas de alta velocidad. No obstante, la fuerte inversión requerida en dichos proyectos obliga a comprobar de antemano su idoneidad. Para ello se procede a efectuar una comparativa entre la situación actual del sistema ferroviario de los países del norte de Europa con las conexiones europeas de alta velocidad.

La Figura 75 muestra el mapa de implantación de la alta velocidad ferroviaria en Europa.

Figura 75. Mapa de la red de alta velocidad Europea. Fuente: Wikipedia Commons 2011.

Se observa que los países que disponen de alta velocidad son Francia, España, Alemania, Italia, Bélgica y Holanda. En países como Reino unido, Portugal, Suecia, Finlandia, Grecia o Austria existen tramos de líneas convencionales habilitados para velocidades entre los 200 y los 230 km/h, pero dichas líneas no son consideradas de alta velocidad.

A continuación, la Figura 76 muestra las ciudades europeas conectadas mediante alta velocidad, así como las poblaciones de sus áreas metropolitanas. También se incluyen en el mapa las ciudades más importantes de Escandinavia, que actualmente disponen solamente de líneas convencionales.

Se constata en la Figura 76 que las zonas más densamente pobladas de Europa occidental disponen de conexiones ferroviarias en alta velocidad, mientras que los países del norte de Europa carecen de ellas. Hay que destacar que las aglomeraciones urbanas de Noruega son sensiblemente menos pobladas que las del resto de países. No obstante, el resto de ciudades escandinavas acumulan poblaciones del mismo orden de magnitud que la media de las ciudades europeas.

Por otro lado, la Figura 77 presenta la distancia entre dichas ciudades. Se observa que la separación entre las principales ciudades escandinavas es del mismo orden de magnitud que la de las rutas

europeas. De este modo Estocolmo-Malmö, que es la ruta con mayor kilometraje (613km), tiene una distancia comparable a las conexiones Múnich-Hannover (633km), Barcelona-Madrid (621km), París-Colonia (576km) o París-Ámsterdam (574km).

En la Figura 78 se observan los tiempos de viaje entre las principales ciudades europeas que poseen conexiones de alta velocidad, así como los de las ciudades escandinavas, analizados en los apartados anteriores. Se constata que los tiempos de viaje entre las ciudades del norte de Europa son notoriamente mayores a los de las rutas continentales.

El Gráfico 3 resume la situación comentada en los párrafos anteriores. Para ello, recoge los tiempos y distancias de las rutas europeas y escandinavas. Se aprecia que para las mismas separaciones espaciales entre ciudades, los tiempos de viaje son muy inferiores en Europa. Esto indica que el sistema ferroviario de los países nórdicos es susceptible de ser mejorado para llegar a los estándares de alta velocidad.

La experiencia ha demostrado la eficiencia de las rutas europeas. En consecuencia, se recomienda la construcción de líneas de alta velocidad para solventar los problemas actuales del sistema ferroviario escandinavo.

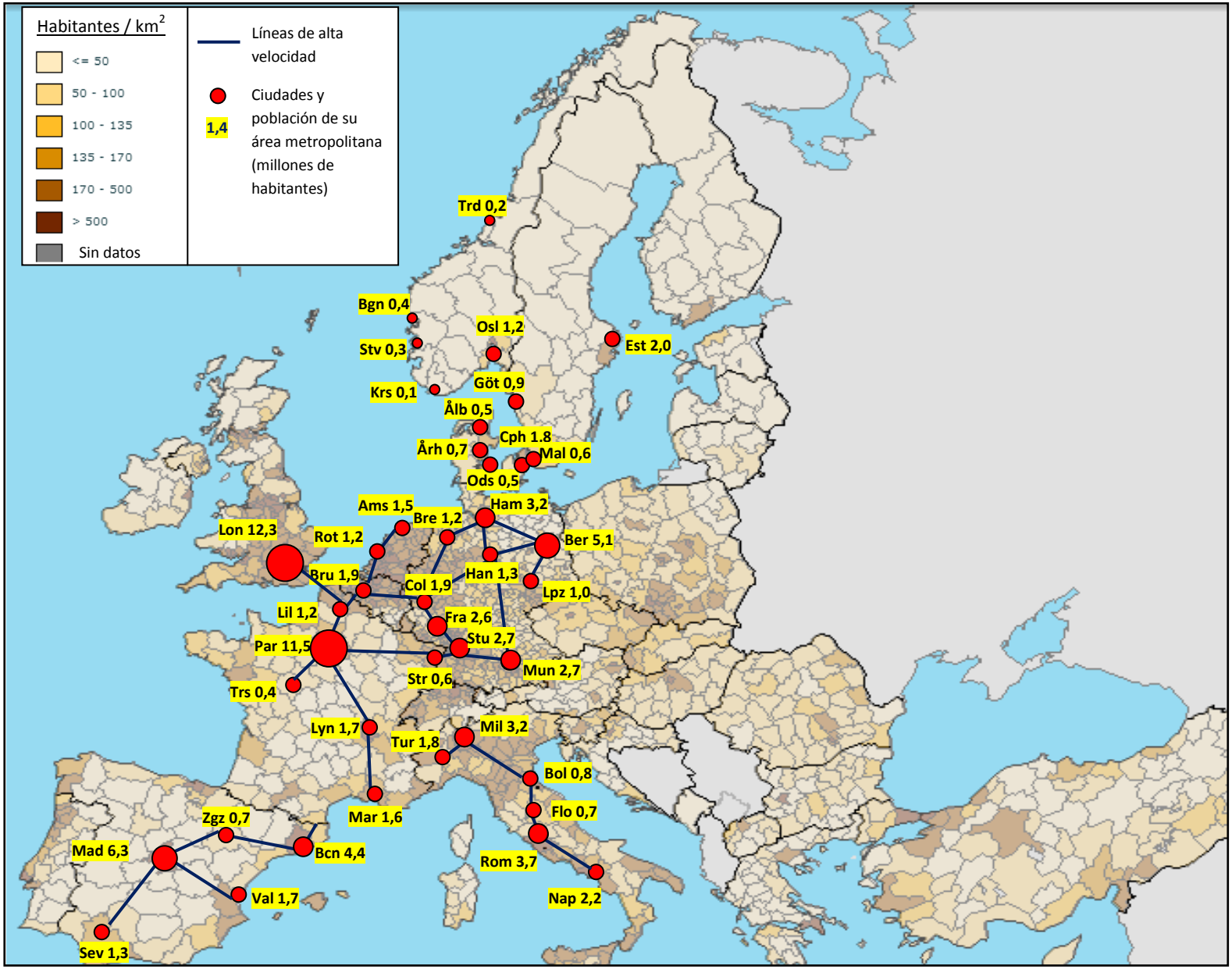

Figura 76. Mapa de densidades de población y principales áreas metropolitanas europeas conectadas mediante alta velocidad. Fuente: elaboración propia a partir de Eurostat.

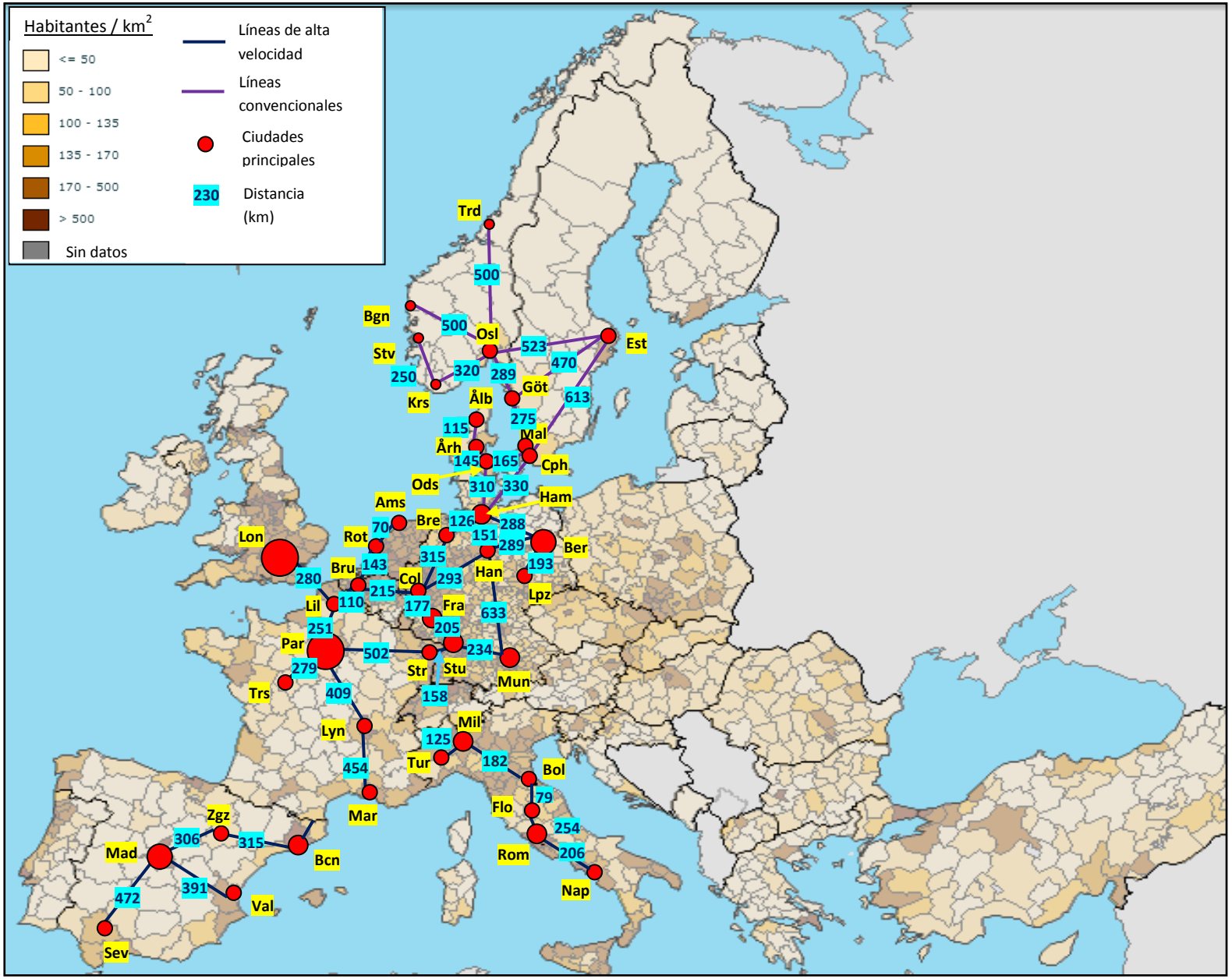

Figura 77. Distancias entre las principales ciudades europeas conectadas por alta velocidad. Fuente: elaboración propia.

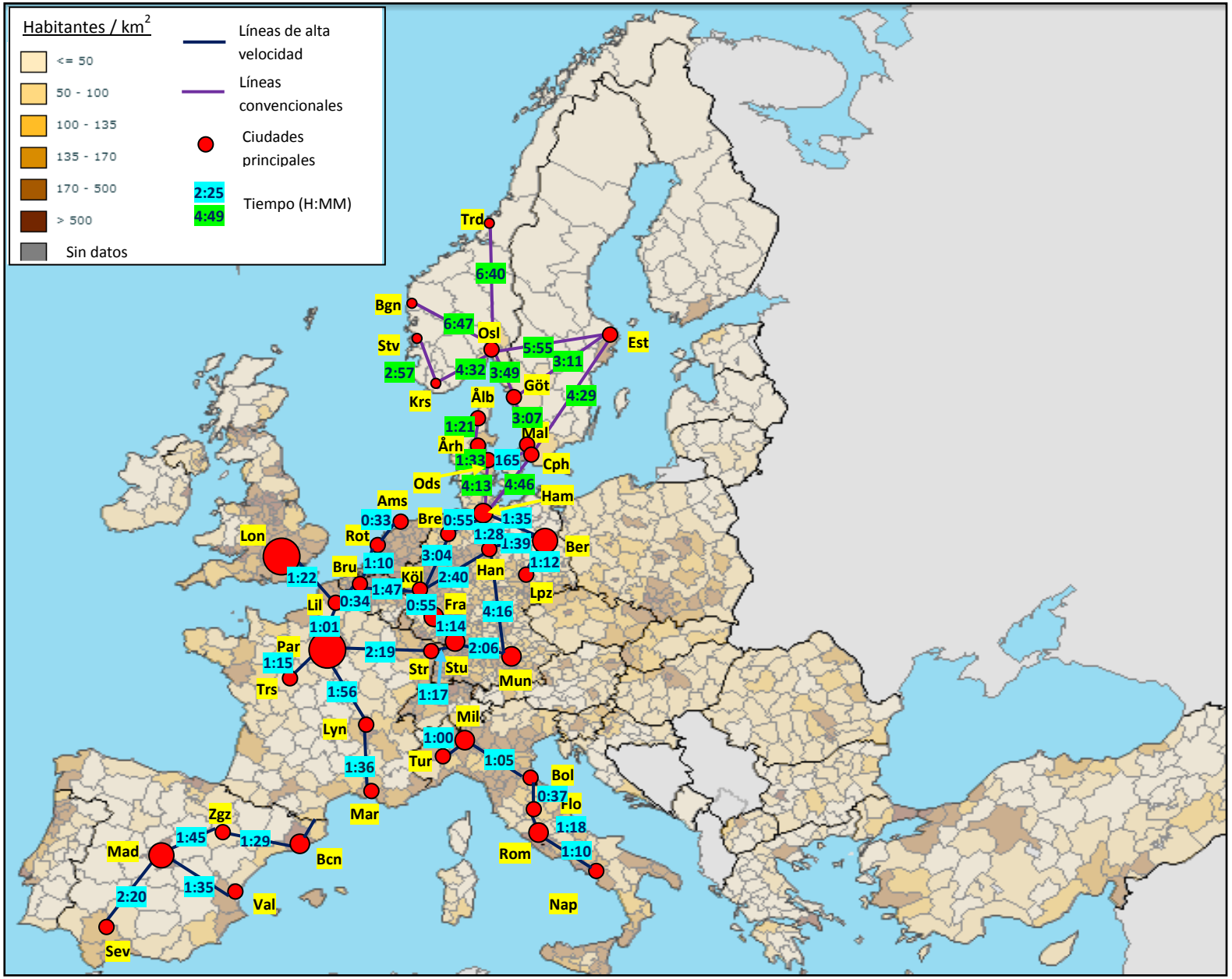

Figura 78. Tiempos de viaje entre las principales ciudades europeas conectadas mediante alta velocidad. Fuente: elaboración propia a partir de los horarios de los operadores ferroviarios.

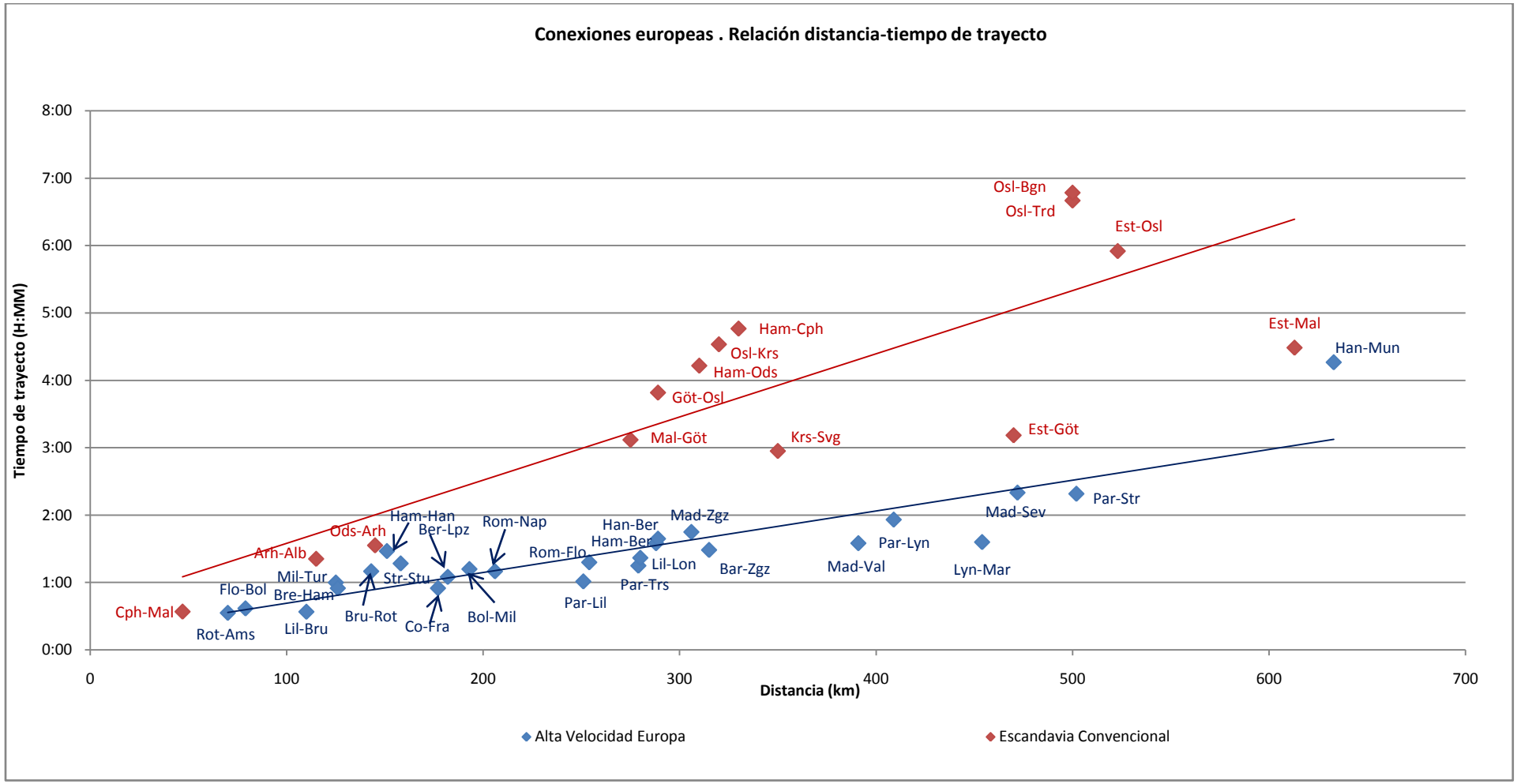

Gráfico 3. Relación distancia-tiempo de trayecto de las principales conexiones europeas (alta velocidad) y escandinavas (líneas convencionales). Fuente: elaboración propia.

8. PRIORIDADES DE ACTUACIÓN

La construcción de nuevas líneas de alta velocidad obliga a realizar grandes inversiones. No obstante, debido a la situación económica actual, los proyectos de mejora se deben enmarcar en un contexto de racionalidad económica. Para ello, el procedimiento natural sería realizar un análisis coste beneficio de los proyectos de alta velocidad planteados. No obstante, dicha tarea se escapa del objeto y contenido de esta tesina. En consecuencia, a continuación se establece un orden de prioridad de las actuaciones analizadas. Del mismo modo, se plantearán nuevas actuaciones que pueden resultar de interés para lograr la unión de las poblaciones escandinavas mediante alta velocidad.

8.1. Criterio de priorización

Para decidir qué actuaciones gozan de mayor importancia, se analizará para cada una de ellas el siguiente ratio:

$$Rendimiento\ de\ la\ inversión = \frac{Ahorro\ de\ tiempo\ ponderado}{Coste}$$

De este modo, cuanto mayor será el ahorro de tiempo y menor la inversión realizada, mayor será el rendimiento de la inversión, que persigue maximizar el beneficio minimizando el coste. El ahorro temporal está ponderado mediante las poblaciones que gozan de dicha ganancia de tiempo. Las poblaciones de cada área metropolitana vienen expresadas en la Tabla 45. Consecuentemente, el ratio queda como sigue:

$$Rendimiento\ de\ la\ inversión = \frac{\sum_i Ahorro\ ruta_i \cdot \left(Población_{origen} + Población_{destino}\right)_i}{Coste_{inversi\ ón}}$$

Ciudad	Población Área Metropolitana
Hamburgo	3.209.759
Copenhague	1.822.569
Århus	653.472
Odense	475.082
Aalborg	495.669
Estocolmo	1.981.263
Göteborg	914.923
Malmö	589.062
Oslo	1.162.255
Bergen	363.616
Trondheim	244.302
Stavanger	288.176
Kristiansand	143.560

Tabla 45. Población del área metropolitana de las ciudades del estudio. Fuente: Eurostat

El criterio seleccionado presenta las siguientes limitaciones:

- No considera poblaciones que no pertenezcan a las estudiadas en los apartados anteriores. Por lo tanto, no considera los ahorros temporales en las rutas que no hayan sido analizadas en el presente estudio, como las que unen Escandinavia con otras ciudades europeas que no sean Hamburgo.
- No tiene en cuenta las aglomeraciones urbanas situadas fuera de las rutas estudiadas, solamente las áreas metropolitanas concentradas alrededor de las ciudades analizadas.
- Se mantiene la estructura actual de enlaces ferroviarios, que probablemente sería modificada con la entrada en funcionamiento de nuevos servicios por las nuevas líneas.

No obstante, el presente criterio cumple el objetivo de evaluar de un modo homogéneo cuáles son las iniciativas más rentables.

A continuación se procede a calcular el rendimiento de la inversión de los proyectos de alta velocidad planteados en el apartado PROYECTOS ACTUALES DE MEJORA. La Tabla 46 resume dichos proyectos.

Alternativa	Conexión	Coste (M de €)	Tipo de proyecto
1	Copenhague-Ringsted	1400	Nueva línea
2	Enlace del Fehmarn	5500	Nueva línea
3.1	Hamburgo-Puttgarden	1000	Mejora de línea existente
3.2	Hamburgo-Puttgarden	2300	Nueva línea
4.1	Copenhague-Odense-Århus-Aalborg 1	2500	Mejora de línea existente
4.2	Copenhague-Odense-Århus-Aalborg 2	6500	Mejora de línea existente
4.3	Copenhague-Odense-Århus-Aalborg 3	16500	Mejora de línea existente
5.1	Enlace Helsingør-Helsingborg 1	1500	Nueva línea
5.2	Enlace Helsingør-Helsingborg 2	1800	Nueva línea
6	Zelanda oeste	1600	Nueva línea
7.1	Zelanda costa 1	600	Nueva línea
7.2	Zelanda costa 2	1100	Nueva línea
8.1	Zelanda sur 1	600	Mejora de línea existente
8.2	Zelanda sur 2	1400	Mejora de línea existente
8.3	Zelanda sur 3	2300	Nueva línea
10	Túnel Hallandsås	2000	Nueva línea
11.1.1	Malmö-Göteborg	N/D	Mejora de línea existente
11.1.2	Malmö-Göteborg	3300	Nueva línea
11.2.1	Göteborg-Oslo 1	8800	Nueva línea
11.2.2	Göteborg-Oslo 2	9200	Nueva línea
12.1	Mejora líneas Suecia	N/D	Mejora de línea existente
12.2	Líneas Alta Velocidad Suecia	12000	Nueva línea
13.1.1	Oslo-Trondheim	15000	Nueva línea
13.1.2	Oslo-Bergen	12000	Nueva línea
13.1.3	Oslo-Stavanger	12000	Nueva línea

13.1.4	Oslo-Kristiansand	9000	Nueva línea
13.1.5	Oslo-Estocolmo	12000	Nueva línea
13.1.6	Bergen-Trondheim	15000	Nueva línea
13.1.7	Bergen-Stavanger	6000	Nueva línea
13.1.8	Stavanger-Kristiansand	6000	Nueva línea
13.2	Hamburgo-Jutlandia	3800	Nueva línea

Tabla 46. Resumen de los proyectos analizados. Fuente: elaboración propia.

Como ya se ha comentado, dada la no eficiencia de la simple mejora de las líneas actuales, solamente se tendrán en cuenta los proyectos de construcción de nuevas líneas, excepto en el caso de la mejora del eje ferroviario Copenhague-Odense-Århus-Aalborg, debido a la magnitud de sus ahorros temporales. El túnel urbano de Malmö tampoco se ha tenido en cuenta en este análisis, ya que es un proyecto ya construido y que no aporta ahorro temporal, sino una solución a los problemas de capacidad anteriores a su apertura.

8.2. Priorización de los proyectos

A continuación se procede a analizar el valor del ratio calculado para cada una de las alternativas constructivas del apartado 6. La Tabla 47 recoge los ratios hallados en las alternativas analizadas.

Alternativa	Conexión	Ratio
5.1	Enlace Helsingør-Helsingborg 1	0,85
7.1	Zelanda costa 1	0,84
11.1.2	Göteborg-Malmö	0,79
8.3	Zelanda sur 3	0,77
7.2	Zelanda costa 2	0,77
5.2	Enlace Helsingør-Helsingborg 2	0,71
6	Zelanda oeste	0,63
11.2.2	Göteborg-Oslo 2	0,50
4.1	Copenhague-Odense-Århus-Aalborg 1	0,49
3.2.	Hamburgo-Puttgarden	0,41
11.2.1	Göteborg-Oslo 1	0,37
2	Enlace del Fehmarn	0,35
13.2	Hamburgo-Jutlandia	0,28
4.2	Copenhague-Odense-Århus-Aalborg 2	0,26
13.1.2	Oslo-Bergen	0,26
13.1.3	Oslo-Stavanger	0,24
1	Copenhague-Ringsted	0,20
13.1.1	Oslo-Trondheim	0,17
13.1.4	Oslo-Kristiansand	0,16
4.3	Copenhague-Odense-Århus-Aalborg 3	0,14
12.2	Líneas Alta Velocidad Suecia	0,13
13.1.5	Oslo-Estocolmo	0,13
10	Túnel Hallandsås	0,11
13.1.7	Bergen-Stavanger	0,09
13.1.6	Bergen-Trondheim	0,02
13.1.8	Stavanger-Kristiansand	0,01

Tabla 47. Ratios de priorización de las alternativas constructivas analizadas. Fuente: elaboración propia.

Se constata que las alternativas más rentables son aquéllas que suponen el mayor ahorro de tiempo de viaje entre las mayores poblaciones y a menor coste. Adicionalmente, la utilidad de los proyectos siguientes depende de la construcción de los enlaces del Fehmarn y de Helsingør-Helsingborg.

- Zelanda sur.
- Zelanda costa-Zelanda oeste.
- Hamburgo-Puttgarden.

En consecuencia, aunque el enlace del **Fehmarn** no tenga el mayor ratio de priorización (0,35), dado su importancia al aportar sentido a estos proyectos con mayores ratios, dicho enlace fijo es

considerado como prioritario. En el caso del enlace **Helsingør-Helsingborg**, además de dar sentido a estos proyectos, tiene el mayor ratio de priorización (0,85).

Por otra parte, hay que destacar la importancia de proyectos con ratios no muy elevados, pero que contribuyen enormemente a la mejora de la capacidad del sistema ferroviario (ver Figura 30 y Figura 32). Este es el caso de las conexiones:

- **Copenhague-Ringsted** (ratio de 0,20)
- **Líneas de Alta Velocidad en Suecia** (ratio de 0,13)
- **Túnel de Hallandsås** (ratio de 0,11)

El bajo ratio de las líneas de alta velocidad en Suecia se justifica dado que los tiempos actuales de viaje son bastante competitivos (3 h 11 min Estocolmo-Göteborg, 4 h 29 min Estocolmo Malmö), y por lo tanto las ganancias de tiempo no pueden ser muy elevadas.

Por lo tanto, la prioridad de construcción de dichas alternativas queda también justificada.

Posteriormente, se procede a la elección de los proyectos restantes con mayores ratios de priorización, concretamente aquellos que superen el valor de 0,40. La elección de este umbral es arbitraria, y en todo caso depende de la disponibilidad económica. Dichos proyectos son:

- **Zelanda costa 1** (ratio de 0,84)
- **Göteborg-Malmö** (ratio de 0,79)
- **Zelanda sur 3** (ratio de 0,77)
- **Göteborg-Oslo 2** (ratio de 0,50)
- **Copenhague-Odense-Århus-Aalborg 1** (ratio de 0,49)
- **Hamburgo-Puttgarden** (ratio de 0,41)

Se observa que las líneas de alta velocidad en Noruega poseen ratios muy bajos, debido al alto coste de construcción de las líneas, y a la poca población que se concentra en las poblaciones principales del país. No obstante, las conexiones Oslo-Bergen (ratio de 0,26) y Oslo-Stavanger (ratio de 0,24) tienen los mayores ratios del país noruego. Adicionalmente, dada la situación geográfica de dichas ciudades se podría optar por construir una línea en forma de Y griega que partiese de Oslo hacia el oeste, tuviese la mayor parte de tramo en común y se bifurcara en última instancia para conectar con Bergen y Stavanger. Esto permitiría lograr prácticamente el mismo ahorro de tiempo de viaje reduciendo sensiblemente el coste de construcción de ambas líneas. Además, la conexión Bergen-Stavanger también se vería beneficiada, ya que actualmente no existe ninguna línea ferroviaria que conecte ambas ciudades. La Figura 79 muestra un esquema de la propuesta en Noruega.

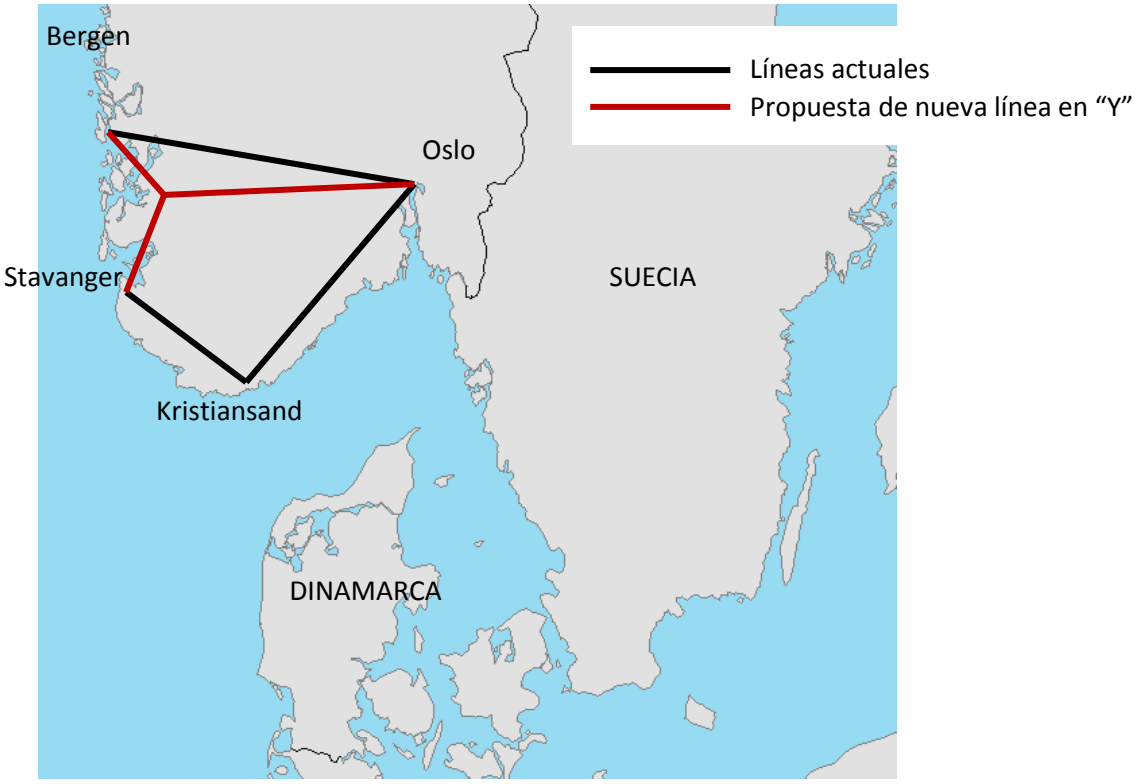

Figura 79. Propuesta de nueva línea de Alta Velocidad en Noruega. Fuente: elaboración propia.

Recalculando el ratio de priorización para esta nueva actuación combinada en Noruega, el resultado viene reflejado en la Tabla 48.

Alternativa	Conexión	Coste (M €)	Ratio
Y Noruega	**Y griega Oslo-Bergen-Stavanger**	**18000**	**0.38**

Tabla 48. Ratio de priorización de la Y noruega. Fuente: elaboración propia.

Como se puede apreciar, el ratio de esta solución que combina los beneficios de las conexiones Oslo-Bergen, Oslo-Stavanger y Bergen-Stavanger es de 0,38, mucho más competitivo que los anteriores ratios de 0,26, 0,24 y 0,09 de las conexiones aisladas Oslo-Bergen, Oslo-Stavanger y Bergen-Stavanger, respectivamente. Dado que esta es la única oportunidad de realizar una inversión ferroviaria en Noruega, se considerará que el ratio de 0,38 cumple el criterio de priorización.

En resumen, los proyectos seleccionados como prioritarios, ya sea por dotar de sentido a los demás, por solucionar problemas de capacidad o por ahorrar el máximo tiempo de viaje al mayor número potencial de viajeros están resumidos en la Tabla 49:

Alternativa	Conexión	Coste (M €)	Ratio	Motivo
5.1	**Enlace Helsingør-Helsingborg 1**	**1500**	**0,85**	**Dar sentido a otros proyectos y ahorro de tiempo**
7.1	**Zelanda costa 1**	**600**	**0,84**	**Ahorro tiempo**
11.1.2	**Göteborg-Malmö**	**3300**	**0,79**	**Ahorro tiempo**
8.3	**Zelanda sur 3**	**2300**	**0,77**	**Ahorro tiempo**
11.2	**Göteborg-Oslo 2**	**9200**	**0,50**	**Ahorro tiempo**

4.1	Copenhague-Odense-Århus-Aalborg 1	2500	0,49	Ahorro tiempo
3.2	Hamburgo-Puttgarden	2300	0,41	Ahorro tiempo
Y NOR	Y griega Oslo-Bergen-Stavanger	18000	0,38	Ahorro tiempo
2	Enlace del Fehmarn	5500	0,35	Dar sentido a otros proyectos
1	Copenhague-Ringsted	1400	0,20	Capacidad
12.2	Líneas Alta Velocidad Suecia	12000	0,13	Capacidad
10	Túnel Hallandsås	2000	0,11	Capacidad

Tabla 49. Proyectos prioritarios. Fuente: elaboración propia.

La Figura 80 muestra un esquema de las actuaciones escogidas

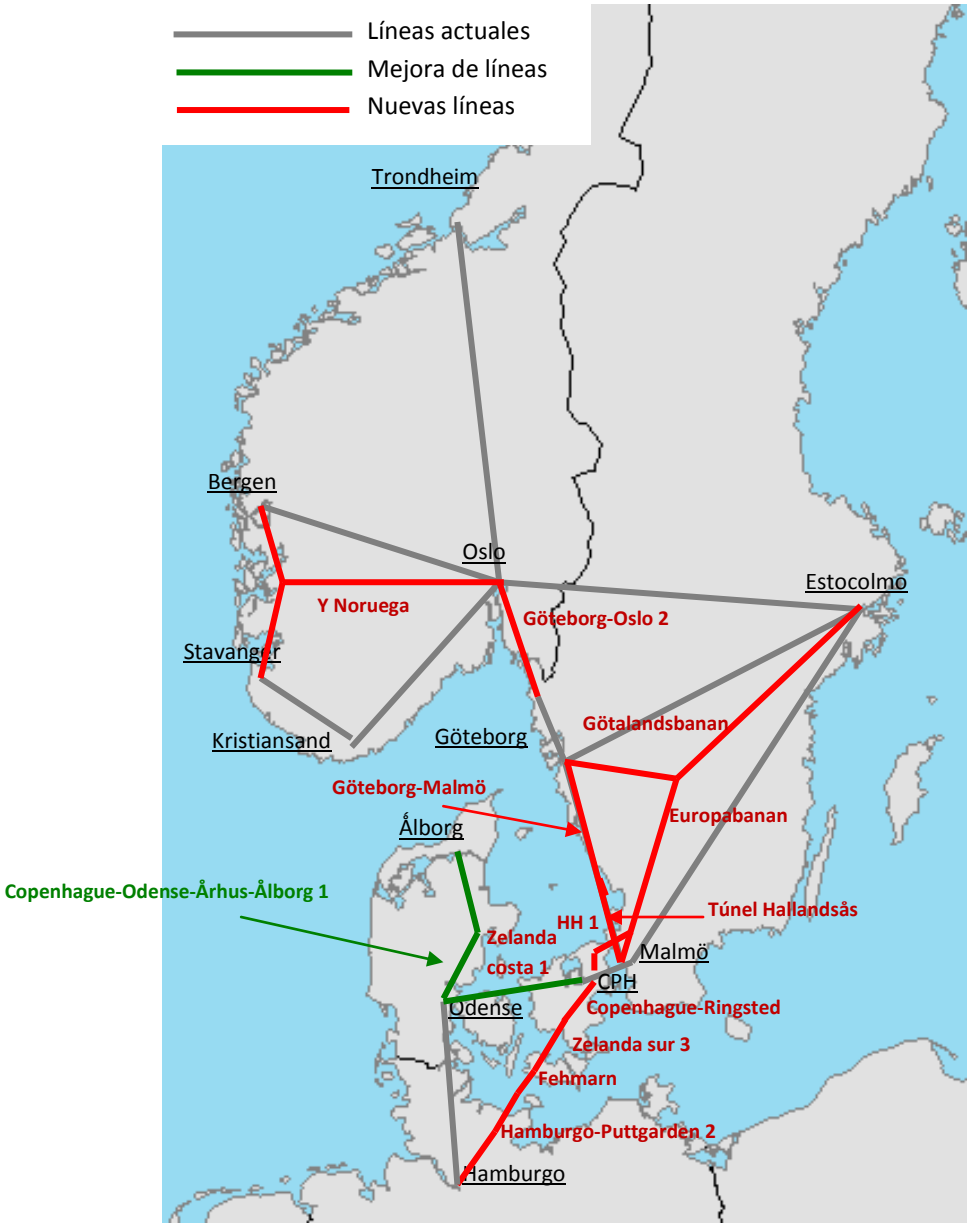

Figura 80. Mapa que recoge las propuestas prioritarias. Fuente: elaboración propia.

Por lo tanto, nuevos tiempos de viaje en modo ferroviario entre las principales ciudades del norte de Europa viene reflejado en la Tabla 50.

Origen/Destino	Hamburgo	Copenhague	Århus	Odense	Aalborg	Estocolmo	Göteborg	Malmö	Oslo	Bergen	Trondheim	Stavanger	Kristiansand
Hamburgo		1:33	4:12	3:56	5:44	5:13	3:43	2:25	7:11	11:43	16:12	11:04	12:53
Copenhague	1:33		2:02	1:00	3:10	3:05	1:52	0:34	4:17	8:49	11:06	8:12	9:25
Århus	4:12	2:02		1:00	1:00	5:39	4:09	2:51	6:34	11:06	16:39	10:29	12:16
Odense	3:56	1:00	1:00		2:08	4:32	3:02	1:44	5:27	9:59	14:28	9:22	10:46
Aalborg	5:44	3:10	1:00	2:08		6:44	5:14	3:49	7:39	12:11	16:40	11:14	13:21
Estocolmo	5:13	3:05	5:39	4:32	6:44		2:00	2:43	5:55	9:04	9:48	9:11	11:28
Göteborg	3:43	1:52	4:09	3:02	5:14	2:00		2:02	1:40	5:24	10:41	4:20	6:41
Malmö	2:25	0:34	2:51	1:44	3:49	2:43	2:02		4:27	8:59	11:14	8:22	9:35
Oslo	7:11	4:17	6:34	5:27	7:39	5:55	1:40	4:27		2:15	6:40	2:15	4:32
Bergen	11:43	8:49	11:06	9:59	12:11	9:04	5:24	8:59	2:15		10:14	1:30	4:29
Trondheim	16:12	11:06	16:39	14:28	16:40	9:48	10:41	11:14	6:40	10:14		9:17	11:34
Stavanger	11:04	8:12	10:29	9:22	11:14	9:11	4:20	8:22	2:15	1:30	9:17		2:57
Kristiansand	12:53	9:25	12:16	10:46	13:21	11:28	6:41	9:35	4:32	4:29	11:34	2:57	

Tabla 50. Nuevos tiempos de viaje en modo ferroviario entre las principales ciudades del norte de Europa. Fuente: elaboración propia.

Se aprecia que los tiempos de viaje han disminuido sensiblemente respecto a los actuales, reflejados en la Tabla 18. A continuación, la Tabla 51 muestra dichas reducciones de tiempo:

Origen/Destino	Hamburgo	Copenhague	Århus	Odense	Aalborg	Estocolmo	Göteborg	Malmö	Oslo	Bergen	Trondheim	Stavanger	Kristiansand
Hamburgo		-67%	-6%	-7%	-10%	-49%	-58%	-57%	-50%	-50%	-31%	-54%	-36%
Copenhague	-67%		-28%	-20%	-27%	-36%	-50%	0%	-48%	-49%	-26%	-54%	-30%
Århus	-6%	-28%		-35%	-26%	-31%	-39%	-22%	-42%	-46%	-22%	-50%	-28%
Odense	-7%	-20%	-35%		-30%	-31%	-41%	-13%	-44%	-47%	-23%	-52%	-28%
Aalborg	-10%	-27%	-26%	-30%		-30%	-36%	-23%	-40%	-44%	-24%	-49%	-28%
Estocolmo	-49%	-36%	-31%	-31%	-30%		-37%	-39%	0%	-33%	0%	-38%	0%
Göteborg	-58%	-50%	-39%	-41%	-36%	-37%		-35%	-56%	-55%	-17%	-64%	-24%
Malmö	-57%	0%	-22%	-13%	-23%	-39%	-35%		-42%	-46%	-22%	-52%	-25%
Oslo	-50%	-48%	-42%	-44%	-40%	0%	-56%	-42%		-67%	0%	-72%	0%
Bergen	-50%	-49%	-46%	-47%	-44%	-33%	-55%	-46%	-67%		-31%	-90%	-63%
Trondheim	-31%	-26%	-22%	-23%	-24%	0%	-17%	-22%	0%	-31%		-38%	0%
Stavanger	-54%	-54%	-50%	-52%	-49%	-38%	-64%	-52%	-72%	-90%	-38%		0%
Kristiansand	-36%	-30%	-28%	-28%	-28%	0%	-24%	-25%	0%	-63%	0%	0%	

Tabla 51. Ahorros temporales mediante la construcción de las líneas de alta velocidad seleccionadas en el presente estudio. Fuente: elaboración propia.

Se constata que las ganancias de tiempo son en promedio del 35%, un porcentaje que no cumple completamente con el objetivo de ahorro temporal perseguido por la alta velocidad, que es cercano al 50%. No obstante, el número de rutas en las que la ganancia es superior al 40% es 31 sobre un total de 78, lo que representa el 40% de las rutas de Escandinavia. Esto permite unir el continente Europeo con las principales ciudades escandinavas con tiempos realmente competitivos con los demás modos de transporte. Si a medio plazo se diesen condiciones económicas más favorables, se podría rebajar el umbral de rentabilidad mínimo aceptable para materializar los proyectos planteados, y el ahorro temporal promedio sería aún mayor.

De este modo, los nuevos tiempos de viaje mínimos en cualquier modo de transporte son los mostrados en la Tabla 52.

Origen/Destino	Hamburgo	Copenhague	Århus	Odense	Aalborg	Estocolmo	Göteborg	Malmö	Oslo	Bergen	Trondheim	Stavanger	Kristiansand
Hamburgo		**1:33**	**3:03**	**2:49**	**4:09**	**3:40**	3:43	**2:25**	**3:40**	5:35	5:56	5:30	5:05
Copenhague	1:33		**2:02**	**1:00**	**2:45**	**3:05**	**1:52**	**0:22**	**3:12**	**3:27**	**3:38**	**3:12**	**3:07**
Århus	**3:03**	**2:02**		**1:00**	**1:00**	**3:55**	**3:20**	**2:51**	**3:40**	6:00	7:06	5:30	**5:09**
Odense	**2:49**	**1:00**	**1:00**		**2:08**	**4:32**	**3:02**	**1:44**	**4:34**	**4:49**	**5:00**	**4:34**	**4:29**
Aalborg	**4:09**	**2:45**	**1:00**	**2:08**		5:13	**4:09**	**2:53**	**3:08**	4:48	5:19	**3:03**	**4:05**
Estocolmo	**3:40**	**3:05**	**3:55**	**4:32**	5:13		**2:00**	**2:43**	**3:05**	**3:35**	**3:36**	**3:45**	4:45
Göteborg	3:43	**1:52**	**3:20**	**3:02**	**4:09**	**2:00**		**2:02**	**1:40**	5:20	5:16	**4:20**	**6:41**
Malmö	**2:25**	**0:22**	**2:51**	**1:44**	**2:53**	**2:43**	**2:02**		**3:20**	**3:35**	**3:36**	**3:30**	**3:30**
Oslo	**3:40**	**3:12**	**3:40**	**4:34**	**3:08**	**3:05**	**1:40**	**3:20**		**2:15**	**3:06**	**2:15**	**2:55**
Bergen	5:35	**3:27**	6:00	**4:49**	4:48	**3:35**	5:20	**3:35**	**2:15**		**3:21**	**1:30**	4:25
Trondheim	5:56	**3:38**	7:06	**5:00**	5:19	**3:36**	5:16	**3:36**	**3:06**	**3:21**		**3:26**	**4:31**
Stavanger	5:30	**3:12**	5:30	**4:34**	**3:03**	**3:45**	**4:20**	**3:30**	**2:15**	**1:30**	**3:26**		**2:57**
Kristiansand	5:05	**3:07**	**5:09**	**4:29**	**4:05**	4:45	**6:41**	**3:30**	**2:55**	4:25	**4:31**	2:57	

Tabla 52. Nuevos tiempos de viaje mínimos para las rutas analizadas. Fuente: elaboración propia.

Nuevamente, en verde se marcan las rutas cuyo tiempo mínimo corresponde al ofrecido por el modo ferroviario. Paralelamente, las celdas rojas corresponden al viario, las púrpuras al aéreo (las celdas sin negrita informan de una ruta no directa) y las azules al modo combinado viario-marítimo.

Se observa que comparado con los resultados mostrados en la Tabla 29, el modo ferroviario ha aumentado de forma considerable las rutas en las que ofrece el menor tiempo de trayecto (de 3 a 24 rutas).

Si se vuelve a calcular el ratio *tiempo en tren / tiempo mínimo,* los nuevos resultados aparecen en la Tabla 53.

Origen/Destino	Hamburgo	Copenhague	Århus	Odense	Aalborg	Estocolmo	Göteborg	Malmö	Oslo	Bergen	Trondheim	Stavanger	Kristiansand
Hamburgo		100%	138%	140%	138%	142%	100%	100%	196%	210%	273%	201%	253%
Copenhague	100%		100%	100%	115%	100%	100%	155%	134%	256%	306%	256%	302%
Århus	138%	100%		100%	100%	144%	125%	100%	179%	185%	235%	191%	238%
Odense	140%	100%	100%		100%	100%	100%	100%	119%	207%	289%	205%	240%
Aalborg	138%	115%	100%	100%		129%	126%	132%	244%	254%	313%	368%	327%
Estocolmo	142%	100%	144%	100%	129%		100%	100%	192%	253%	272%	245%	241%
Göteborg	100%	100%	125%	100%	126%	100%		100%	100%	101%	203%	100%	100%
Malmö	100%	155%	100%	100%	132%	100%	100%		134%	251%	312%	239%	274%
Oslo	196%	134%	179%	119%	244%	192%	100%	134%		100%	215%	100%	155%
Bergen	210%	256%	185%	207%	254%	253%	101%	251%	100%		305%	100%	102%
Trondheim	273%	306%	235%	289%	313%	272%	203%	312%	215%	305%		270%	256%
Stavanger	201%	256%	191%	205%	368%	245%	100%	239%	100%	100%	270%		100%
Kristiansand	253%	302%	238%	240%	327%	241%	100%	274%	155%	102%	256%	100%	

Tabla 53. Nuevos ratios tiempo en tren / tiempo mínimo en el nuevo panorama ferroviario. Fuente: elaboración propia.

La Tabla 53 reafirma la nueva posición del modo ferroviario en el sistema de transportes escandinavo, ya que muestra los mínimos tiempos de viaje en un número mucho mayor de rutas de lo que lo hace en la actualidad, como se muestra en la Tabla 30. Así, en este escenario el tiempo mínimo de viaje es ofrecido por el ferrocarril en 24 ocasiones, mientras que en la actualidad solamente es en 3.

A continuación, la Figura 81 y la Figura 82 muestran el nuevo mapa de isócronas en modo ferroviario, desde Copenhague y Oslo, respectivamente. Se aprecia el cambio sustancial en los tiempos de viaje desde Copenhague y Oslo respecto a los mapas de isócronas actuales, reflejados en la Figura 23 y la Figura 24.

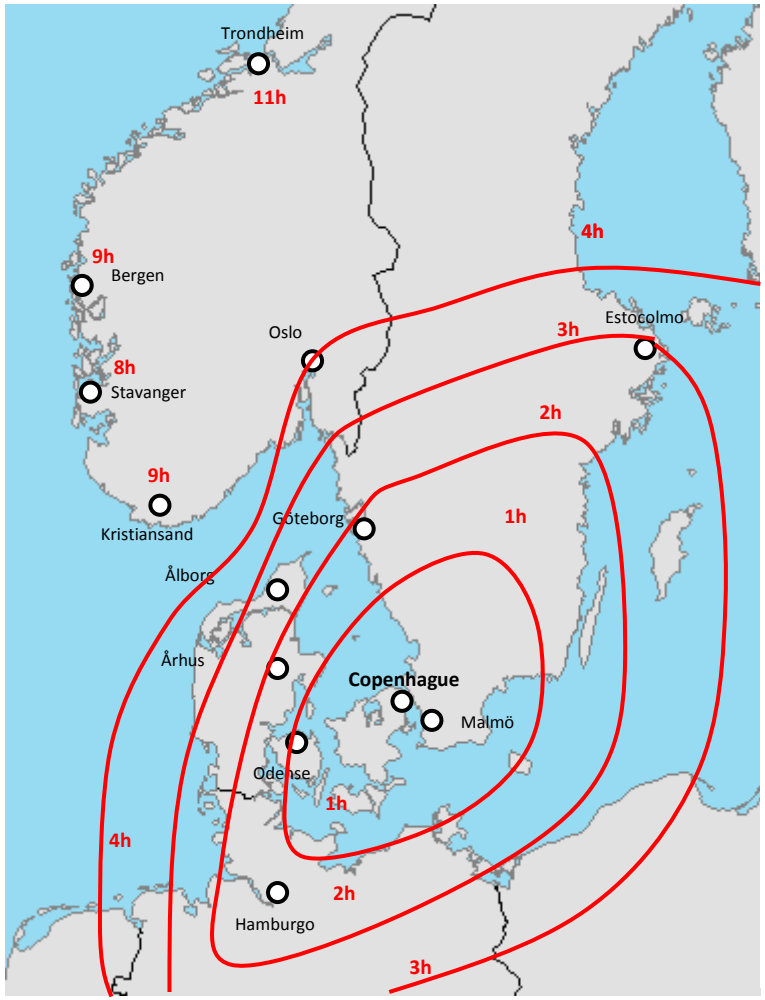

Figura 81. Nuevo mapa de isócronas desde Copenhague. Fuente: el. propia.

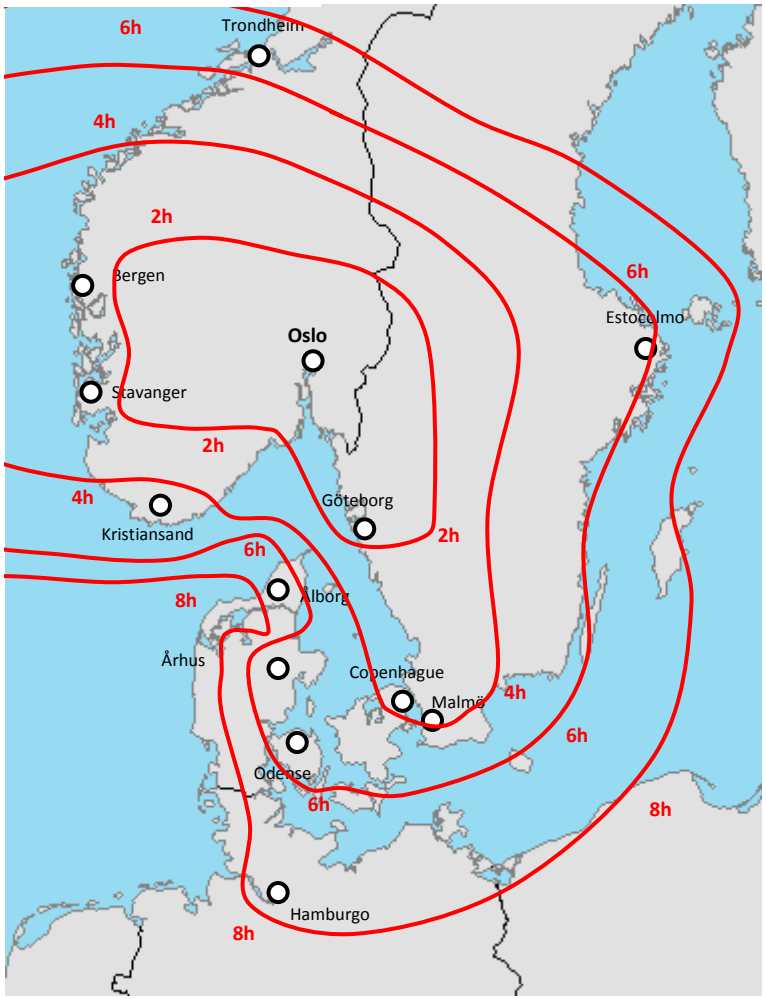

Figura 82. Nuevo mapa de isócronas desde Oslo. Fuente: elaboración propia.

De este modo, el nuevo gráfico que recoge las distancias y los tiempos de viaje de las rutas europeas y escandinavas es el Gráfico 4.

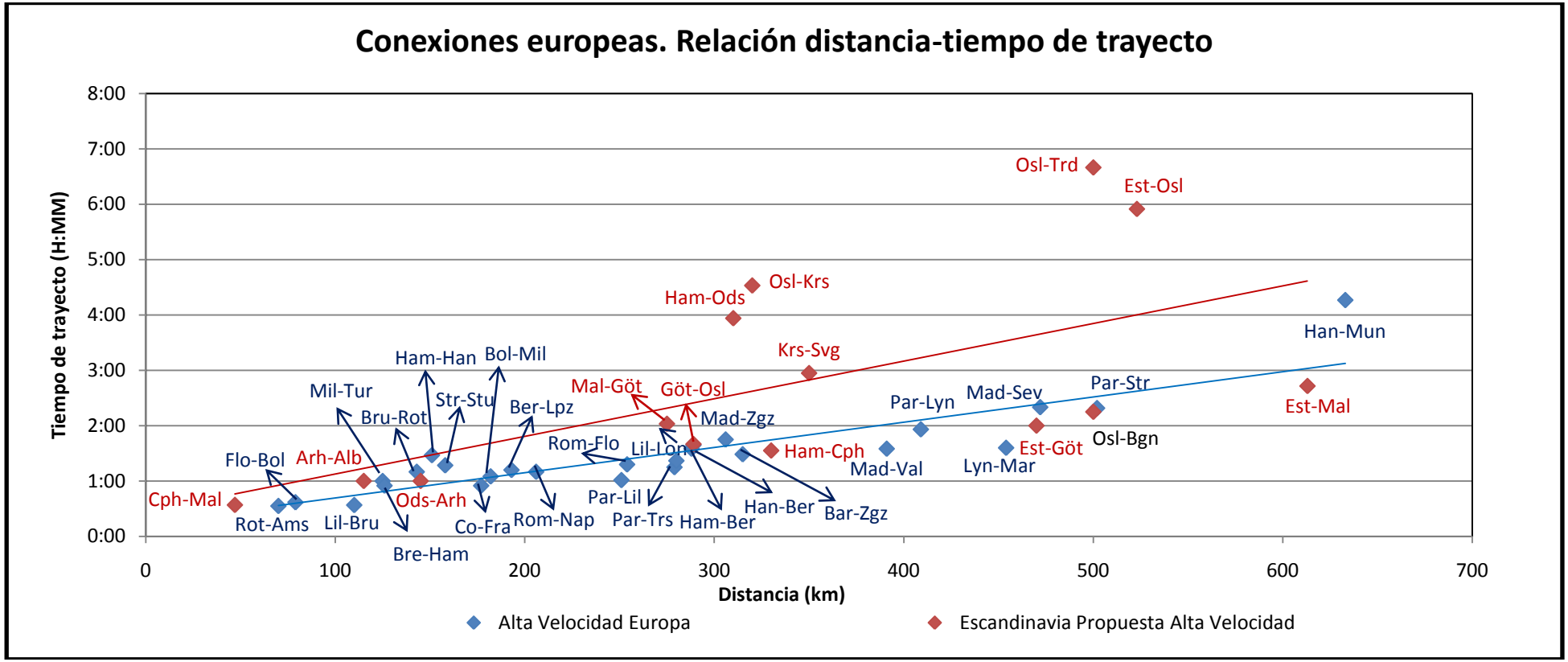

Gráfico 4. Nuevas relaciones distancia-tiempo de trayecto de las principales conexiones europeas (alta velocidad) y escandinavas (propuesta de nuevas líneas). Fuente: elaboración propia.

Se observa que el nuevo gráfico actual ha evolucionado respecto al gráfico anterior (Gráfico 3), reduciendo tiempos de viaje y acercando el nivel de conexión de las poblaciones escandinavas al europeo. Hay que destacar que todavía existen conexiones cuyos estándares aún distan de los de la alta velocidad, como es el caso de Estocolmo-Oslo, Oslo-Kristiansand, Oslo-Trondheim o Hamburgo-Odense. Dichas rutas no se han mejorado dadas las restricciones presupuestarias de la época presente.

La Figura 83 muestra el nuevo mapa Europeo de alta velocidad ferroviaria, con los tiempos de viaje entre las principales poblaciones.

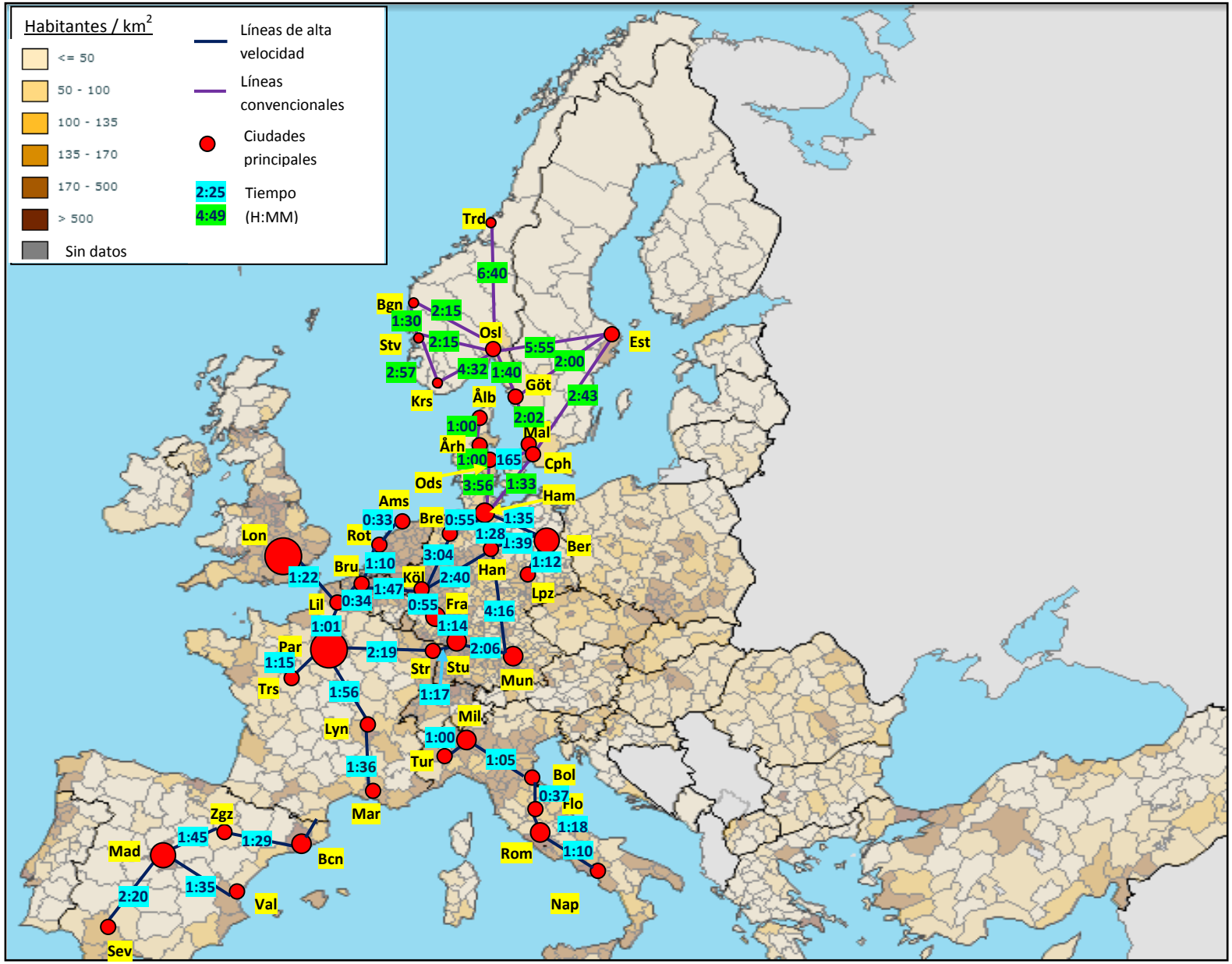

Figura 83. Nuevo mapa europeo de alta velocidad, y tiempos de trayecto de las principales rutas. Fuente: elaboración propia.

9. AFECTACIÓN A LA DISTRIBUCIÓN MODAL

Gracias a las ganancias en tiempos de trayecto logradas, la cuota modal del ferrocarril frente al avión se ve beneficiada. Utilizando la relación entre la dicha cuota modal y los tiempos de viaje reflejada en la Figura 26, se obtienen las nuevas cuotas modales, mostradas en la Tabla 54.

Origen/Destino	Hamburgo	Copenhague	Århus	Odense	Ålborg	Estocolmo	Göteborg	Mälmo	Oslo	Bergen	Trondheim	Stavanger	Kristiansand
Hamburgo		100%	40%	46%	14%	22%	51%	87%	2%	0%	0%	0%	0%
Copenhague	100%		99%	100%	65%	67%	100%	100%	38%	0%	0%	0%	0%
Århus	40%	99%		100%	100%	15%	41%	74%	6%	0%	0%	0%	0%
Odense	46%	100%	100%		96%	33%	69%	100%	18%	0%	0%	0%	0%
Ålborg	14%	65%	100%	96%		4%	21%	49%	0%	0%	0%	0%	0%
Estocolmo	22%	67%	15%	33%	4%		100%	78%	12%	0%	0%	0%	0%
Göteborg	51%	100%	41%	69%	21%	100%		99%	100%	19%	0%	37%	5%
Mälmo	87%	100%	74%	100%	49%	78%	99%		35%	0%	0%	0%	0%
Oslo	2%	38%	6%	18%	0%	12%	100%	35%		92%	5%	92%	33%
Bergen	0%	0%	0%	0%	0%	0%	19%	0%	92%		0%	100%	34%
Trondheim	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	5%	0%		0%	0%
Stavanger	0%	0%	0%	0%	0%	0%	37%	0%	92%	100%	0%		71%
Kristiansand	0%	0%	0%	0%	0%	0%	5%	0%	33%	34%	0%	71%	

Tabla 54. Nueva cuota modal del ferrocarril frente al avión. Fuente: elaboración propia.

Si se vuelve a calcular la cuota modal media del ferrocarril frente al avión, ésta es del 33%, casi el doble que antes de aplicar las medidas. Se observa además que con las propuestas de mejora realizadas, las rutas con una cuota modal mayor al 60% son:

- Copenhague-Odense (100%)
- Copenhague-Malmö (100%)
- Århus-Odense (100%)
- Århus-Aalborg (100%)
- Odense-Malmö (100%)
- Copenhague-Göteborg (100%)
- Göteborg-Estocolmo (100%)
- Oslo-Göteborg (100%)
- Bergen-Stavanger (100%)
- Copenhague-Hamburgo (100%)
- Copenhague-Århus (99%)
- Malmö-Göteborg (99%)
- Odense-Aalborg (96%)
- Oslo-Bergen (92%)
- Oslo-Bergen (92%)
- Malmö-Hamburgo (87%)
- Malmö-Estocolmo (78%)
- Malmö-Århus (74%)
- Göteborg-Odense (69%)
- Copenhague-Estocolmo (67%)
- Copenhague-Aalborg (65%)
- Estocolo-Göteborg (64%)

En lo que respecta a la nueva cuota modal del ferrocarril respecto a la carretera, utilizando la relación ya usada en el Gráfico 2, se obtienen las cuotas modales reflejadas en la Tabla 55.

Origen/Destino	Hamburgo	Copenhague	Århus	Odense	Ålborg	Estocolmo	Göteborg	Mälmo	Oslo	Bergen	Trondheim	Stavanger	Kristiansand
Hamburgo		51%	19%	18%	18%	47%	45%	44%	38%	41%	31%	42%	32%
Copenhague	41%		36%	37%	33%	48%	42%	16%	39%	41%	34%	43%	32%
Århus	19%	36%		34%	29%	42%	37%	30%	37%	40%	28%	41%	31%
Odense	18%	37%	34%		30%	44%	39%	29%	38%	41%	30%	42%	32%
Ålborg	18%	33%	29%	30%		40%	36%	30%	36%	39%	30%	41%	31%
Estocolmo	43%	48%	42%	44%	40%		48%	49%	30%	40%	29%	40%	26%
Göteborg	39%	42%	37%	39%	36%	48%		36%	45%	47%	28%	51%	32%
Mälmo	35%	16%	30%	29%	30%	49%	36%		36%	40%	33%	42%	30%
Oslo	35%	39%	37%	38%	36%	30%	45%	36%		57%	31%	57%	27%
Bergen	38%	41%	40%	41%	39%	40%	47%	40%	57%		32%	53%	44%
Trondheim	29%	34%	28%	30%	30%	29%	28%	33%	31%	32%		41%	28%
Stavanger	40%	43%	41%	42%	41%	40%	51%	42%	57%	53%	41%		35%
Kristiansand	30%	32%	31%	32%	31%	26%	32%	30%	27%	44%	28%	35%	

Tabla 55. Nuevas cuotas modales del ferrocarril frente a la carretera. Fuente: elaboración propia.

Se constata que la nueva cuota modal promedio es del 37%, que supone un aumento del 49% respecto a la anterior cuota, que era del 25%.

En consecuencia, gracias a las mejoras realizadas en el sistema ferroviario, las cuotas modales del ferrocarril respecto al avión y a la carretera han aumentado considerablemente, otorgando al modo ferroviario un mejor puesto dentro del mercado de transportes del norte de Europa.

10. CONCLUSIONES

El presente estudio permite llegar a las siguientes conclusiones:

1. La complicada geografía de los países escandinavos, formados principalmente por islas y penínsulas, combinada con la escasa densidad de población de algunas zonas, han sido la principal causa de la ausencia del desarrollo de la alta velocidad ferroviaria.
2. A pesar de los esfuerzos de algunos gobiernos para salvar las dificultades geográficas mediante la construcción de enlaces fijos, la actual situación ferroviaria actual está marcada por grandes deficiencias infraestructurales, agravadas por problemas de capacidad en algunas líneas, especialmente en territorio danés y sueco.
3. Con la excepción de algunas rutas puntuales, como las conexiones con Estocolmo, dicha coyuntura relega al ferrocarril a un segundo plano por detrás de los demás modos de transporte, que ofrecen tiempos de viaje más competitivos. En consecuencia, la cuota modal del ferrocarril es muy reducida.
4. Actualmente existen varios proyectos, tanto de mejora de líneas existentes como de construcción de nuevas conexiones ferroviarias, con el objetivo de dotar al ferrocarril del protagonismo deseado.
5. La experiencia internacional ha demostrado que la simple mejora de las líneas ferroviarias, con ahorros de tiempo por debajo del 30% del tiempo de viaje inicial, no provoca grandes cambios en la distribución modal del tráfico de viajeros. No obstante, la construcción de nuevas infraestructuras de alta velocidad, con reducciones temporales del orden del 50%, sí ocasionan un trasvase de viajeros de otros modos de transporte al ferrocarril. Paralelamente, la construcción de nuevas líneas permiten solventar los problemas de capacidad actuales.
6. La distribución espacial de las ciudades escandinavas es comparable a la de las poblaciones europeas conectadas mediante alta velocidad. Adicionalmente, la población de las principales ciudades escandinavas es del mismo orden de magnitud que la de la mayoría de aglomeraciones urbanas europeas que sí gozan de alta velocidad. Por lo tanto, la alta velocidad se erige como una solución viable a los actuales problemas del sistema ferroviario.
7. Teniendo presente el punto anterior, de todos los proyectos de mejora planteados, solamente se han tenido en cuenta los que cumplen con los estándares de alta velocidad.
8. Dada la complicada situación económica actual, y con el objetivo de lograr la máxima eficiencia de las inversiones, se han priorizado los proyectos de alta velocidad planteados teniendo en cuenta el beneficio socioeconómico basado en el ahorro temporal de las poblaciones afectadas.
9. En el escenario en el que los proyectos más rentables entran en servicio, los tiempos de viaje se ven notablemente reducidos. En consecuencia, el ferrocarril gana protagonismo entre los demás modos de transporte, ofreciendo tiempos de viaje competitivos que se traducen en un aumento significativo de su cuota modal.
10. Este nuevo paradigma ferroviario ofrecería a la población de los países del norte de Europa un modo de transporte eficiente y sostenible, y facilitaría la movilidad interna de estos países, amén de los flujos de pasajeros entre Europa y Escandinavia.

BIBLIOGRAFÍA

Publicaciones

10 Years. The Øresund Bridge and its region, Øresundsbro Konsortie, Junio 2010.

A Fixed Link BetweenHelsingborg and Helsingør –What´s in it for the Danes?, Vectura, Mayo de 2009.

Carstam, B. *Trains à grande vitesse pour les voyageurs en Suède*, Observatoire des politiques et des stratégies de transport en Europe, Paris, 2010.

Denmark's fastest railway. The New Line Copenhagen-Ringsted, ISBN 978-87-7126-171-4

Division of Traffic and Logistics, Department of Transport and Economics, Royal Institute of Technology, Estocolmo, Suecia, Mayo 2010.

Facts about Fehmarn-the fixed link and its region, Femern Sund Baelt, Agosto 2009.

Feasibility Study Concerning High-Speed Railway Lines in Norway.

Gröna Tåget , trains for tomorrow's travelers, Diciembre 2010.

High Speed Europe, European Commission, 2010.

Investigation of capacity in the Swedish railway system – suggested solutions for the years 2012-2021, Trafikverket, The Swedish Transport Administration ,Enero 2012.

Jansson, K.; Nelldal, B. *High Speed Trains in Sweden-a good idea*?, Lisboa, Portugal, Julio 2010.

Landex, A. *The Danish Railway Network*, DTU Transport, Department of Transport, 2012

Lindfeldt, A. *A study of the performance and utilization of the Swedish railway network.*

López Pita, A. *Tilting trains and line construction. Options alternatives and complements*, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid, 1999.

Nielsen, O. A., Landex, A. *Debatoplæg til banestrategi for en konkurrencedygtid Øresundsregion, 2009.*

Notat om Kapacitet i den kollektive trafik, Trafikstyrelsen, Danish Transport Autority, Copenhague.

Östlund, S. *Gröna Tåget Technologies*, Royal Institute of Technology, KTH.

Restrup-Sørensen, J. *Innovationens rammer for Femerns bygherre-organisation*, Femern Sund Baelt, Junio 211.

Søndergaard, M. *IT10. Rail, The Signalling Programme*, Banedanmark, Enero 2010.

Status for High-SpeedNetworks in Northern Europe , String.

Stenström, C. *Maintenance Performance Measurement of Railway Infrastructure with Focus on the Swedish Network*, Division of Operation, Maintenance and Acoustics Engineering

Swedish ERTMS Implementation Plan, Ministry of Enterprise, Energy and Communications, Septiembre 2007.

The Danish Transport System. Facts and Figures, Ministry of Transport, ISBN 978-87-91013-69-0.

The European Corridor- a sustainable development project for the future of Sweden, Europakorridoren.

The Signalling programme. A total renewal of the Danish signaling infrastructure, Banedanmark , Marzo 1020.

Västlänken, The West Link, Trafikverket, The Swedish Transport Administration.

Artículos de revista

1997 marks milestones for Øresund link , *Railway Gazette International* , Febrero 1997, p. 120-121.

Copenhague M, *Le Rail,* nº 83, Diciembre 2000, p. 30-32.

Dinamarca construye una red de enlaces ferroviarios sobre el mar, *Vía Libre*, 1994, p. 4-8.

Fixed Links Beat Nature's Obstacles, *International Railway Journal*, Julio 1993, p.15-16.

Fröidh, O. *Perspectives* for a future high-speed train in the Swedish domestic travel market, *Journal of Transport Geography 16 268-277*, Division of Transportation and Logistics, KTH, 2008, SE-100 44, p. 268-277.

Groves, P. A tale of two tunnels, *Today's Railways Europe | 46,* nº 171*,* Febrero 2008, p. 26-31.

Hochgeschwindigkeitsverkehr in Deutschland – 15 Jahre Erfolg, *ETR,* nº10*,* Octubre 2006, p. 704-712.
L'Øresund, le dernier chantier du siècle, *La Vie du Rail*, Junio 2000, p. 43-49.

L'Øresund, nouveau trait d'union scandinave*, La Vie du Rail*, Septiembre 1999, p. 34-42.

L'Øresund, trait d'union entre le Danemark et la Suède, *CDR,* nº 231*,* Diciembre 2000, p.13-14.

L'Øresund, une liaison d'exception, *Rail,* nº 42, Octubre 2000, p. 24-27.

La nouvelle scène ferroviaire suédoise, *Chemins de Fer,* nº499-2006/4, 2006, p. 23-35.

La première ligne à grande vitesse: le projet Ringsted, *Le Rail,* nº 171*,* Noviembre 2010, p. 12-17.

Le jour de l'Øresund, *Le Rail*, Julio-Agosto 2000, p. 40-41.

Le pont de l'Öresund est ouvert, *Chemins de Fer,* nº463-2000/4, 2000, p. 13-23.

Le pont-tunnel qui change les frontières de l'Europe, *La Vie du Rail*, nº 2589, Marzo 1997, p. 14-18.

Les reformes qui font école en Europe, *La Vie du Rail,* Abril 2010, p. 12-13.

Marini, R. Il nuovo collegamento fisso tra Svezia e Danimarca attraverso l' Øresund, *Ingegneria Ferroviaria,* Octubre 2002, p. 879-887.

Nelldal, B. *The experience of the SJ X2000 train on the market,* p. 22-32.

Network Rail commited to reducing the risk at level crossings, *European Railway Review, Level Crossing Safety Supplement,* nº 4, 2011.

Norway high speed study contracts awarded, *Today's Railways Europe | 79,* Octubre 2010, p. 13.

Nybø, L. Recongising the importance of high-speed rail in Norway, *European Railway Review,* issue 3*,* 2018, p. 18-22.

Projects forge ahead as rail investment doubles, *Railway Gazette International,* Octubre 2009, p.51-56.

Rail Technical Review, 2, 2005, p. 3-11.

Scandinavia joins Europe by Rail, *International Railway Journal*, Julio 1991, p. 40-42.

Sejl, J. Le Grand Belt, *Rail International,* Febrero 1994, p. 2-16.

Signal, the newsletter of ERTMS, nº 18, Banedanmark , Mayo 2010, p. 1-4.

SJ is ready for competition, *Railway Gazette International,* Octubre 2009, p. 47-49.

The Link to the Future, *RTI,* nº1, Marzo 1997, p. 30.

The Øresund fixed link: a job well done, *Railway Gazette International*, Julio 2010, p. 419-430.

Un tunnel sous Malmö, *Le Rail,* nº83, Noviembre-Diciembre 2000, p. 33-34.

Una nueva línea de 18 kilómetros conectará el enlace fijo del Oresund, *Vía Libre,* Marzo 2001, p. 20-22.

Vers une LGV européenne?, *Rail & Transports,* Mayo 2002, p. 53.

Páginas web

Banedanmark, disponible en <www.banedanmark.dk>.

Comisión Europea, Bases de datos estadísticos, disponible en <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/eurostat/home/>.

DBahn, rutas y horarios, disponible en < http://www.bahn.de/p/view/index.shtml>.

Europakorridoren, disponible en <http://europakorridoren.se/eng/pressinfokartor/oh-blad/>.

Femern, disponible en <http://www.femern.com/>.

Grona Tåget, disponible en <http://www.frost.com/sublib/display-market-insight-top.do?id=251617613>.

Ingeniøren, Kapacitetsbehov for tog: Her kommer flaskehalsene, disponible en <http://ing.dk/artikel/kapacitetsbehov-tog-her-kommer-flaskehalsene-157727>.

Ingeniøren, Svenskere advarer om massive kapacitetsproblemer for togdriften i Øresundsregionen, disponible en <http://ing.dk/artikel/svenskere-advarer-om-massive-kapacitetsproblemer-togdriften-i-oeresundsregionen-157690>.

International Transport Forum, disponible en <http://www.internationaltransportforum.org/jtrc/rail/index.html>.

International Union of Railways,disponible en <http://www.uic.org/>.

Jernbaneverket, disponible en <http://www.jernbaneverket.no>.

Joho Maps, disponible en <http://www.johomaps.com/eu/europehighspeed.html>.

Maps of Railway-Networks, disponible en <http://www.bueker.net/trainspotting/maps.php>.

NSB, rutas y horarios, disponible en < http://www.nsb.no/>.

Rail Dude, Mapa Ferroviario Europeo, disponible en <http://www.raildude.com/en/train-tickets-railmap-of-europe>.

Rail Europe, disponible en <http://www.raileurope.com.ar/>.

Railway Gazette International, Swedish high speed strategy, disponible en <http://www.railwaygazette.com/news/single-view/view/swedish-high-speed-strategy.html>.

Railway Technology, disponible en <http://www.railway-technology.com/projects/hallandss-tunnel-project/>.

Rejseplanen, planificador de rutas y horarios, disponible en < http://www.rejseplanen.dk/>.

RENFE, rutas y horarios, disponible en < http://www.renfe.com/>.

Résseau Ferré de France, disponible en <http://www.rff.fr/fr>.

Russian Railways, disponible en <http://www.eng.hsrail.ru/abouthsr/networksofhsr/europe/>.

SJ, rutas y horarios, disponible en < http://www.sj.se/>.

SNCF, rutas y horarios, disponible en < http://sncf.fr/>.

Storebælt, disponible en <http://www.storebaelt.dk/english/bridge>.

Trafik Verket, disponible en <http://www.trafikverket.se/>.

United Nations Economic Commission for Europe, disponible en <http://w3.unece.org/pxweb/>.