
Gestión del transporte multimodal

PID_00260583

Enrique Martín Alcalde

Tiempo mínimo de dedicación recomendado: 3 horas



**Enrique Martín Alcalde**

Enrique Martín es doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, y máster en *Shipping Business* por la UPC-BarcelonaTech. Completa su formación con un programa de Dirección por EADA y estancias internacionales en TUDelft (Países Bajos) y PNU (Corea del Sur).

Es director de la Oficina Técnica de Innovación de la Autoridad Portuaria de Algeciras, y consultor de logística en IDOM. Anteriormente trabajó en el Centro de Innovación del Transporte (CENIT), y la ingeniería TEC4.

Cuenta con más de 10 años de experiencia en proyectos de innovación, consultoría e investigación; es autor de distintas publicaciones sobre logística y transporte marítimo.

El encargo y la creación de este recurso de aprendizaje UOC han sido coordinados por el profesor: Eduard Josep Alvarez Palau (2019)

Primera edición: febrero 2019
© Enrique Martín Alcalde
Todos los derechos reservados
© de esta edición, FUOC, 2019
Av. Tibidabo, 39-43, 08035 Barcelona
Diseño: Manel Andreu
Realización editorial: Oberta UOC Publishing, SL

Ninguna parte de esta publicación, incluido el diseño general y la cubierta, puede ser copiada, reproducida, almacenada o transmitida de ninguna forma, ni por ningún medio, sea éste eléctrico, químico, mecánico, óptico, grabación, fotocopia, o cualquier otro, sin la previa autorización escrita de los titulares del copyright.

Índice

1. Introducción a la multimodalidad e intermodalidad.....	5
1.1. Conceptos generales	5
1.2. Plataformas logísticas multimodales e intermodales	8
1.2.1. Terminales portuarias	8
1.2.2. Terminales intermodales interiores	12
1.2.3. Terminales intermodales de carga aérea (aéreo-carretera)	13
1.3. La importancia del contenedor para la intermodalidad	14
1.4. Factores en la elección de un modo de transporte	16
1.4.1. Factores de decisión internos	16
1.4.2. Factores de decisión externos: el impacto social	18
2. Configuración de redes de transporte multimodal.....	21
2.1. El transporte terrestre en la cadena multimodal	21
2.2. Redes <i>Hub&Spoke</i>	23
2.3. El transporte marítimo de corta distancia como alternativa intermodal	24
2.3.1. Transporte marítimo de corta distancia (TMCD)	24
2.3.2. Autopistas del mar	26
2.4. Autopistas ferroviarias	29
2.4.1. <i>Ferroustage</i> o autopista ferroviaria	29
2.4.2. Tipologías de sistemas y vagones para las autopistas ferroviarias	31
3. La sincromodalidad: el paradigma futuro del transporte multimodal.....	33
3.1. La sincromodalidad	33
Bibliografía.....	37

1. Introducción a la multimodalidad e intermodalidad

Tal y como se expone en el módulo «Gestión del transporte internacional», durante las distintas fases que conforman el transporte internacional de mercancía es **habitual que se requiera más de un modo de transporte para transportar los bienes desde el generador de carga hasta el cliente final o consumidor**. Es decir, se requiere un **intercambio modal de la mercancía**. Por tanto, para que este intercambio modal se produzca de una manera eficiente, surge la necesidad de:

- Utilizar una unidad estándar de transporte y que sea compatible entre modos.
- Disponer de una serie de nodos o puntos preparados con equipamientos específicos para hacer el transbordo de mercancía (plataformas logísticas multimodales).
- Y por último, habilitar zonas de almacenamiento temporal en tierra para coordinar los diferentes ritmos de llegadas entre modos de transporte y las diferencias de capacidad de carga.

Por tanto, el **alcance de este módulo** es caracterizar el concepto de multimodalidad, así como sus variantes, analizar su operativa e identificar las futuras tendencias en el transporte internacional de mercancías. También se analizan los factores de decisión que determinan qué combinación de modos de transporte es óptima para el transporte de unos determinados bienes/productos entre dos puntos, es decir, la configuración de la cadena de transporte.

1.1. Conceptos generales

En este apartado, se caracterizan las **distintas modalidades de transporte combinado de mercancías** utilizadas a lo largo de la cadena logística y de transporte:

1) **Transporte multimodal**. El transporte multimodal consiste en el transporte de mercancías que requieren más de un modo de transporte (transporte terrestre –camión y ferrocarril– y transporte por agua –marítimo o vías interiores–), y para el cual solo se tramita un documento único, o contrato de transporte, para todos los modos de transporte implicados. Se aplica tanto a cargas unitarizadas como no unitarizadas, y no exige el uso de la misma unidad de transporte entre modos. Lo que sí resulta imprescindible es que no exista ruptura

de carga (puede ser una caja, un palé, un vehículo, etc.). Esto permite reducir los costes y el tiempo de la operación en su conjunto y, al utilizar un único documento de transporte, tiene preferencia de ingreso y paso en las aduanas.

2) Transporte intermodal. Es un tipo de transporte multimodal caracterizado por el hecho de que solo se utiliza una única unidad de transporte (contenedor, cajas móviles, UTI, etc.), con el objetivo de hacer más rápidamente las operaciones de transbordo entre modos, y sin tener que emplear la carga y descarga para cambiar de vehículo y unidad de carga. A diferencia del transporte multimodal, aquí se precisa un documento de transporte para cada medio utilizado.

Los lugares de transbordo de mercancías se denominan *plataformas logísticas multimodales/intermodales* o *terminales intermodales*. Las terminales portuarias, terminales ferropuertuarias, puertos secos o los centros de carga aérea son ejemplos de este tipo de terminales intermodales.

A partir de los conceptos anteriores, se deriva que los principales **factores diferenciadores entre modos de transporte son** la unidad intermodal de transporte utilizada y los documentos de transporte. Asimismo, cabe destacar que las modalidades anteriores corresponden a la gestión clásica del transporte, basado en la elección discreta de cada modo y de cada unidad de transporte para el traslado desde un punto A hacia un punto B (un único corredor).

Sin embargo, existen otras alternativas con una visión holística e integrada, como la gestión en cadena (transporte comodal) o la gestión en red del transporte (transporte sincromodal). Estas variantes pueden definirse como sigue:

1) Transporte comodal. Es un nuevo concepto de transporte, introducido por la Unión Europea en el año 2006, y que refiere al uso eficiente de dos o más modos de transporte por separado y en combinación a lo largo de la cadena de transporte, con el propósito final de alcanzar una utilización de recursos óptima y sostenible.

Bajo este concepto, entrarían soluciones de transporte combinado en el que se produce la superposición física de los medios de transporte y de contratos. Los casos más frecuentes son: *ferrou-tage* (camión sobre vagón ferroviario), *transrou-lage* (camión sobre buque) y el sistema UFR (un semirremolque en el interior de un vagón de ferrocarril).

A su vez, el transporte combinado puede ser acompañado (el conductor del camión también viaja) o no acompañado (el conductor no acompaña al transporte del camión). Ejemplos de casos de uso reales pueden encontrarse en el estudio llevado a cabo por la consultora AECOM (2011) para el Department of Transport en el Reino Unido, de donde se extrae uno, a modo divulgativo.

Ejemplo 1. Caso de éxito de la cadena de supermercados Sainsbury's para reducir las externalidades de su cadena logística en el centro de Londres, utilizando el transporte fluvial como alternativa a la carretera

En el 2007, la compañía Sainsbury's hizo una exitosa prueba para transportar una serie de productos desde sus almacenes de South Eastern hasta una de sus tiendas en el centro de Londres. La utilización de un medio de transporte tradicionalmente lento (fluvial) supuso, en realidad, una mejora en el tiempo de entrega con respecto a la carretera, contribuyendo con una reducción del 25 % de CO₂ (objetivo de la compañía para el 2012).

Un caso como el de Sainsbury's hubiera sido pasado por alto por la mayoría de los profesionales de la cadena de suministro, que descartan cualquier transporte por agua, en particular por vías navegables interiores, no solo por el hecho de ser más lento y poco fiable, sino también por tratarse de productos perecederos. Sin embargo, el cambio de paradigma en las prioridades en un ámbito empresarial está generando nuevas oportunidades para otros modos, y esto está impulsando el crecimiento del mercado ferroviario y fluvial en el Reino Unido, por ejemplo.

Finalmente, cabe indicar que en el apartado 2.4 del presente módulo se caracterizan con mayor detalle el *ferroustage* y el transporte de camiones combinado con el transporte marítimo (TMCD o SSS), así como soluciones tipo *Hub&Spoke*, que son utilizadas por las empresas como soluciones comodales para reducir costes de transporte y emisiones de gases de efecto invernadero.

2) Transporte sincromodal. Este concepto de transporte hace referencia a la combinación estructurada, flexible, eficiente (en tiempo y coste) y sincronizada de dos o más modos de transporte. Mediante la sincromodalidad, el cliente puede seleccionar en cada instante, y a partir de información en tiempo real y necesidades particulares, la mejor combinación posible. La principal ventaja es la flexibilidad para cambiar de modo de transporte en cualquier momento dado.

Debido al avance y la aparición de soluciones tecnológicas y sistemas de información avanzados, cualquier cambio o alteración se pueden procesar y responder con inmediatez. Esto permite analizar qué modalidad o combinación de modalidades conducen al escenario más eficiente y sostenible en el día a día, o incluso a corto plazo.

Este concepto se detalla al final del módulo (apartado 3), en el que se recoge la importancia de los factores de decisión combinados con un uso eficiente de técnicas de análisis de datos.

Como **conclusión**, se observa que todas las **modalidades de transporte** indicadas tienen en común el uso de más de un modo de transporte, mientras que la principal diferencia radica en cómo se lleva a cabo el proceso: el **transporte sincromodal** pone énfasis en la flexibilidad; el **transporte intermodal** se centra en utilizar una sola unidad de transporte. Y el **transporte comodal** se centra en la utilización óptima eficiente de cada modo y en conjunto a lo largo de una cadena logística. Por su parte, el **transporte multimodal** es el que engloba a todos los anteriores, y es el concepto más genérico.

1.2. Plataformas logísticas multimodales e intermodales

En el apartado introductorio se indicaba que, habitualmente, para la distribución de bienes de comercio internacional, se requiere una combinación de **redes multimodales y plataformas logísticas**. Estas pueden ser de un solo medio de transporte (distribución urbana o centros de carretera) o bien incorporar **nodos de intercambio modal** entre varios medios de transporte (terminales portuarias y puertos secos, con acceso por carretera y generalmente también ferroviario), en los que se concentran actividades y funciones técnicas y de valor añadido.

La **función principal de estas plataformas multimodales/intermodales** es nodal, incluyendo servicios relativos al transporte, aunque también desempeñan una función logística y de distribución muy importante en ubicaciones geoestratégicas, y ofrecen servicios de valor a la mercancía y no tanto al modo de transporte en sí.

Por último, dado que la intermodalidad puede darse entre los modos marítimo, aéreo, carretero y ferroviario, a continuación se introducen de manera breve las distintas **tipologías de plataformas intermodales o terminales**.

1.2.1. Terminales portuarias

De forma genérica, una **terminal portuaria** se concibe como un intercambiador modal (transporte terrestre y marítimo) que suele estar formado por un área de almacenamiento en tierra, para coordinar los ritmos de llegada de los dos modos de transporte; una zona de recepción y entrega en el lado terrestre (carga/descarga de camiones); y una zona de atraque, donde se llevan a cabo las funciones de carga/descarga de buques. El objetivo de este tipo de terminales es garantizar y proveer los medios necesarios para que el intercambio de mercancía entre modos se lleve a cabo en las mejores condiciones de eficiencia y seguridad.

A continuación, se citan las principales **tipologías de terminales portuarias**:

1) **Terminal portuaria de contenedores**. Terminal especializada en la manipulación y el trasbordo de contenedores entre el medio terrestre y marítimo. Este tipo de terminales están caracterizadas por un elevado grado de sistematización, en gran parte debido a la estandarización de la unidad de transporte (contenedor) y a la forma de manipulación (equipos y maquinaria). Además, cuentan con sistemas tecnológicos muy avanzados para el apoyo de las operaciones (*terminal operating system*, TOS), y que permiten garantizar productividades elevadas y así conseguir altas rentabilidades.

En términos generales, una terminal portuaria de contenedores se divide en cuatro zonas o subsistemas: recepción/entrega, almacenamiento, carga/descarga de buques y la zona de interconexión, donde se produce el transporte

horizontal de los contenedores entre las diferentes áreas de la terminal (figura 1 y figura 2). De manera adicional, las terminales de contenedores pueden disponer de una playa de vías férreas junto a una zona de almacenamiento, para llevar a cabo el intercambio modal con el ferrocarril.

Figura 1. Operaciones de carga/descarga de un buque portacontenedores en el puerto de Algeciras por una grúa de muelle dirigida por un estibador



Y por otra parte, en función del grado de automatización de los equipos y maquinaria utilizados, las terminales se clasifican en manuales (las grúas y equipos están manipulados por estibadores); semiautomáticas (las grúas de muelle están manipuladas por estibadores, mientras que las grúas y equipos de la zona de almacenamiento están automatizados y controlados remotamente); y automáticas (todas las grúas y equipos de la terminal están automatizados). Por ejemplo, se pueden encontrar terminales semiautomáticas en los puertos de Algeciras (terminal TTIA) y Barcelona (terminal BEST), y terminales totalmente automáticas en el puerto de Róterdam (Maasvlakte 2), en el puerto de Hamburgo (HHLA Container Terminal Altenwerder) o en el puerto de Shanghái (Yangshan Port). Esta última entró en funcionamiento en el 2018, y es considerada como la más grande del mundo.

Figura 2. Vista aérea de la zona de almacenamiento de una terminal de contenedores automática en el puerto de Shanghai (China)



Fuente: www.dailymail.co.uk.

2) Terminal portuaria de vehículos. Terminal especializada en la manipulación de vehículos nuevos como mercancía, y movidos por medios propios en buques Ro-Ro (*car-carriers*), habitualmente turismos y vehículos comerciales. Este tipo de terminales cuentan con tacones en la zona de carga/descarga de buques para posicionar las rampas de los buques *car-carrier* y, así, permitir la carga/descarga de los vehículos en la explanada de la terminal.

La zona de almacenamiento de vehículos suele ser una gran explanada (no se hace apilamiento), aunque algunas terminales cuentan con silos verticales (aparcamientos en altura) para aumentar su capacidad de almacenamiento (figura 3). Estas terminales también suelen tener instalaciones de prestación de servicios de valor añadido a los vehículos (instalación de accesorios, pintura, etc.).

Figura 3. Vista aérea de la terminal de vehículos del puerto de Vigo



Fuente: Autoridad Portuaria de Vigo.

3) Terminal portuaria Ro-Ro/Ro-Pax. Terminales dedicadas a la carga rodada, sea esta o no autopropulsada (vehículos de pasaje, vehículos nuevos, camiones, tráileres, plataformas, remolques, etc.). En estos tipos de terminales, atracan buques de categoría Ro-Ro/Ro-Pax y de tipo *ferry/fast-ferry*, aunque en estos últimos se suele combinar la carga rodada con el pasaje. Por ello, las terminales de carga rodada pueden estar habilitadas con una terminal para pasajeros (estación marítima) y zona de servicios para transportistas. De igual manera que en las terminales de vehículos, también se dispone de tacones y rampas. Asimismo, pueden contar con pasarelas para el embarque/desembarque de pasajeros.

4) Terminal portuaria de granel sólido. Terminales para sólidos que se transportan en bodega, sin una unidad de transporte intermodal. Estas terminales suelen disponer de instalaciones específicas tipo cintas transportadoras, cucharas de descarga, silos para almacenamiento y sistemas de tuberías para la succión del material. La carga habitualmente es de tipo mineral (carbón y coque, mineral de hierro, bauxita, fosfatos, cemento, etc.) o agroalimentario (cereales, piensos, soja, sal, etc.).

Las terminales de granel sólido tienen la peculiaridad de que miden su capacidad de manipulación en planchas, medida que representa las toneladas diarias que una terminal de graneles sólidos puede mover teniendo en cuenta los equipos que se van a emplear (por ejemplo, 30.000 toneladas diarias).

5) Terminal portuaria de granel líquido. Terminales especializadas en la recepción de productos a granel líquido en buques, en el almacenamiento en tanques y en la carga de productos a granel en buque o camiones cisterna. La descarga habitual de los buques se lleva a cabo mediante conexión directa a un sistema de tuberías de acero, cuyo diámetro oscila entre 150 y 900 mm, y soportado por unos brazos de carga que siguen el movimiento del buque debido a corrientes, fuerzas del viento u otros factores. En la zona de almacenamiento, se encuentran unas estructuras cilíndricas (tanques) que son utiliza-

das para almacenar líquidos o gases a presión ambiente (presión atmosférica) y una extensa red de tuberías, válvulas y bombas para el transporte interno del producto (figura 4).

La carga puede ser de petróleo y sus derivados, de productos químicos, de aceites vegetales, etc.

Figura 4. Vista aérea de una terminal portuaria de productos petrolíferos y pantalán para la carga/descarga de buques petroleros de CEPSA en el puerto de Algeciras



Fuente: Autoridad Portuaria Bahía de Algeciras.

6) Terminal portuaria de carga general. Terminal con puestos de atraque para usos generales, en los que se manifiesta una combinación de carga general suelta o fraccionada y ciertas cantidades de unidades de carga unitarizada (paletas, contenedores), e incluso de vehículos nuevos. Los buques de carga general suelen estar dotados de grúas propias para la descarga de la mercancía.

7) Terminal ferroportuaria. Terminal de carga ferroviaria para la transferencia modal ubicada en las instalaciones portuarias. Puede estar vinculada a una sola terminal o ser de uso general de todo el puerto. El tipo de carga más habitual que transfieren estas terminales son contenedores, vehículos nuevos y graneles sólidos.

1.2.2. Terminales intermodales interiores

Se distinguen estas **dos modalidades de terminales**:

1) Terminal intermodal ferroviaria. Se trata de una infraestructura ferroviaria de apoyo en un nodo ferroviario para la concentración de cargas y formación de trenes con relación a varios núcleos de población o centros industriales. Estas se componen de vías principales (recepción y expedición) e instalaciones de servicio a la mercancía, con grúas pórtico y móviles, zonas de almacenamiento, talleres de reparación, etc. El tipo de unidad de transporte más

común en este tipo de terminales es el contenedor, la caja móvil y el semirremolque (UTI). Pueden pertenecer a instalaciones privadas o a la red ferroviaria de interés general y de titularidad pública (por ejemplo, a ADIF en España).

2) Puerto seco. Es una terminal intermodal de mercancías situada en el interior de una región que conecta, a través de la carretera o de la red ferroviaria, con una o varias terminales portuarias, ya pertenezcan a uno o varios puertos. La particularidad de este tipo de terminal intermodal es que únicamente manipula tráficos portuarios (origen o destino) en una zona interior. El vehículo que permite esta triple intermodalidad (carretera, ferrocarril y marítimo) es el contenedor. Los servicios que suelen prestarse en este tipo de terminales son de almacenamiento, manipulación logística, distribución, aduanas, pesado de contenedores (VGM), etc.

1.2.3. Terminales intermodales de carga aérea (aéreo-carretera)

Es una **infraestructura de transporte aéreo** para el tráfico de mercancías, en la que se desarrollan todo tipo de operaciones relacionadas con la carga aérea: desde la recepción, el almacenamiento, la consolidación y el despacho aduanero hasta la preparación para el transporte y la emisión.

La terminal suele tener dos accesos y unos hangares en los que se desarrollan todas las operaciones, el acceso terrestre con los muelles de entrada de mercancías por transporte rodado y el acceso aéreo. El transporte aéreo resulta idóneo para tráficos de productos de elevado valor, muestras comerciales, piezas y componentes, documentos, mercancías urgentes y mercancías perecederas.

Figura 5. Proceso de carga de un contenedor aéreo en un avión de carga de la compañía Iberia



Fuente: Iberia - Grupo IAG.

1.3. La importancia del contenedor para la intermodalidad

Tal y como se introdujo en el módulo «Gestión del transporte internacional», **el contenedor es una unidad de transporte intermodal** con unas características determinadas de peso y dimensiones que lo hacen apto para ser transportado en cualquier modo de transporte y transferido en terminales intermodales bajo altos estándares de eficiencia, en tiempo y coste.

El **contenedor como unidad de transporte**, creado en el año 1956 por Malcolm McLean en Estados Unidos, e introducido de manera masiva en la década de los sesenta con la estandarización de su capacidad en 20/40 pies (TEU/FEU), ha conducido la estandarización de los medios de manipulación, terminales intermodales y de los buques con evidentes mejoras sobre la productividad y la seguridad de la mercancía, entre otras ventajas.

Esto ha generado como resultado **economías de escala** a lo largo de la estructura del comercio internacional, y ha creado un efecto revulsivo en la globalización: actualmente, los puntos de producción y de consumo están a miles de kilómetros, y esto ha sido posible gracias al contenedor y a la reducción de los costes de transporte (Levinson, 2006).

En consecuencia, el sector de la logística y el transporte ha tenido un fuerte crecimiento, debido fundamentalmente a que **el contenedor facilita el transporte puerta a puerta en vez del puerto a puerto**, y ha encontrado una rápida aceptación entre los generadores de carga y los transportistas y navieros. En este contexto, **el transporte marítimo y los puertos han sido los principales beneficiados**, y se han convertido en la espina dorsal de la globalización y componente fundamental de las redes de transporte transfronterizo que apoyan las cadenas de suministro y hacen posible el comercio internacional (UNCTAD, 2018).

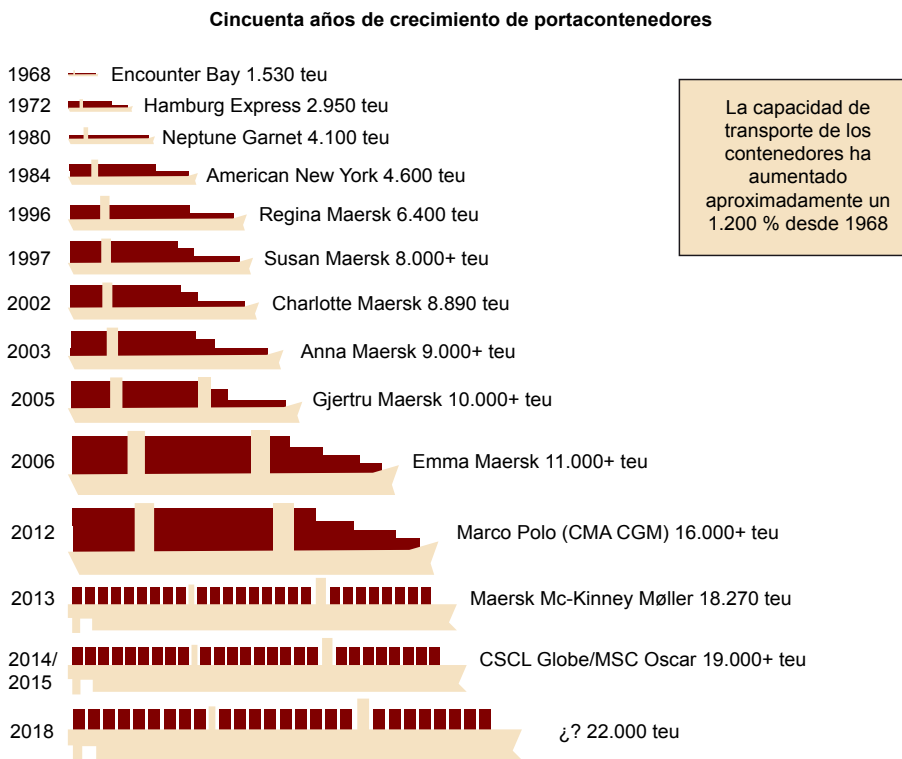
Analizando **estadísticas de comercio marítimo internacional (UNCTAD, 2018)**, se puede observar que se ha pasado de 4.000 a más de 10.000 millones de toneladas cargadas por **vía marítima** en los últimos 35 años; en lo que respecta al **uso del contenedor**, se ha pasado de 102 millones de toneladas, en el año 1980, a 1.720 millones de toneladas (140 millones de TEUS) en el 2017.

Actualmente, el **índice de contenerización** se sitúa cerca del 20 % del total de las mercancías transportadas por modo marítimo, lo cual implica que 1 de cada 5 toneladas de mercancías que se transportan por mar lo hacen vía contenedor (principalmente, carga general), y recuerda que **el transporte marítimo representa el 80 % del transporte de mercancías en un ámbito mundial**.

De manera paralela al crecimiento de la demanda del transporte de mercancías por vía marítima y el uso del contenedor, cabe destacar la **evolución de los buques portacontenedores**, que han sufrido grandes modificaciones de

diseño y tamaño para poder servir a la creciente demanda y, al mismo tiempo, reducir los costes de transporte unitarios. La figura 6 muestra la evolución del tamaño de los buques portacontenedores en los últimos 50 años.

Figura 6. Evolución de los buques portacontenedores en los últimos cincuenta años



Fuente: Allianz Global Corporate & Specialty.

Por último, cabe indicar los principales efectos que ha tenido la introducción del contenedor en la industria logística y en el comercio internacional:

- Sistematización y automatización de los procesos operativos logísticos a lo largo de la cadena de valor y, especialmente, la agilización de los servicios de manipulación de mercancías en los nodos de intercambio modal.
- El contenedor, por sus propias características, **oculta la carga y la protege**. Por lo tanto, toman una gran importancia el control (**aduanas y servicios de inspección en frontera**) y los **flujos de la información** que acompañan estas unidades de carga.
- Aparición de **grúas pórtico, nuevos vehículos de acarreo y terminales** de gran capacidad para almacenar y gestionar los contenedores con sofisticados **programas informáticos**.
- Cambio del **perfil de los trabajadores y los gestores del transporte**, que ahora requieren un **componente más tecnológico**.
- El desarrollo del **comercio internacional** ha provocado la aparición de **grandes operadores** mundiales que gestionan las mercancías utilizando una **logística integral**. Estos disponen de una nueva visión de la red por-

tuaria, y han contribuido a la aparición de *hubs* mundiales por donde circulan las grandes rutas oceánicas intercontinentales, que junto con los puertos regionales, asumen el tráfico principal.

1.4. Factores en la elección de un modo de transporte

En el comercio internacional, la **elección del modo de transporte** tiene un impacto muy significativo sobre el precio total de la mercancía y, por lo tanto, afecta directamente a la **competitividad** en el mercado de los bienes y productos que se exportan/importan.

Por ello, en este apartado se identifican y caracterizan aquellos aspectos o factores de decisión que el operador logístico, cargador, agente transitario o cualquier actor en quien recaiga dicha responsabilidad analiza en el momento de hacer un transporte. Estos se clasifican en factores de elección internos o externos.

1.4.1. Factores de decisión internos

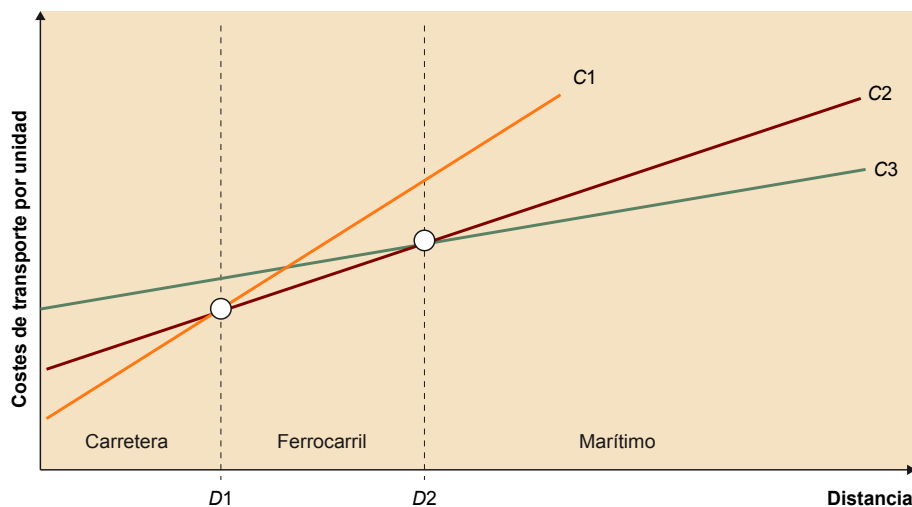
La bibliografía clásica del transporte (De Rus, Campos y Nombela, 2003; Ministerio de Fomento, 2001; Rodrigue, 2017) remarca como **principales factores de decisión** para la elección de un modo de transporte los siguientes:

- Costes logísticos y del transporte.
- Tiempo de viaje/plazo de entrega (*lead time*).
- Seguridad y fiabilidad (puntualidad) del modo de transporte.
- Resiliencia de la cadena de transporte (capacidad de adaptarse ante incidencias y seguir garantizando el servicio).
- Inmediatez del servicio de transporte y accesibilidad a la cadena de transporte (por ejemplo, la distancia de acarreo a la red principal o a un puerto).
- Características de la mercancía (volumen, peso, dimensiones) y el valor de dichos bienes.
- Necesidades del cliente y requerimientos de stock.

No obstante, los dos factores principales que entran en la ecuación de la selección del modo de transporte históricamente han sido el **tiempo de viaje / plazo de entrega** y, especialmente, el **coste de transporte**, que depende en gran parte de la capacidad de carga del modo de transporte y la distancia que hay que recorrer. Por ejemplo, el transporte por vía marítima es el de mayor

capacidad de carga, uno de los más seguros, pero de los más lentos, aunque lo compensa el hecho de ser uno de los más económicos para grandes distancias (figura 7).

Figura 7. Elección del modo de transporte en función de la distancia y el coste



Fuente: Rodrigue (2017). C1: función de costes transporte por carretera; C2: función de costes transporte por ferrocarril; C3: función de costes transporte marítimo.

A partir de la figura anterior, y en términos generales, la distancia correspondiente a $D1$ y $D2$ se sitúa entre los 400-750 km y 1.500 km desde el punto de origen, respectivamente (Rodrigue, 2017). No obstante, hay que señalar que las funciones de costes dependen de cada región económica y de la red de transporte disponible. De ahí que los puntos de inflexión ($D1$, $D2$) sirvan únicamente como referencia.

Cabe destacar que, a **mayor distancia** de transporte, así como **mayor capacidad de carga** (especialmente en el caso del buque y del ferrocarril), **los costes unitarios de transporte se reducen** (a este efecto se le denomina *economía de escala*).

En relación con los **costes del transporte**, y según varios estudios (Ministerio de Fomento, 2018; UNCTAD, 2018; Fundación Ferrocarriles Españoles, 2017), a continuación se indican una serie de estimaciones de **costes directos (tiempo y distancia)** para el transporte de **un contenedor estándar de 20 pies y unas 10-12 toneladas (TEU)** en las distintas modalidades de transporte:

- Transporte por carretera (función del tipo de vehículo): **1,15-1,35 €/km (0,10-0,12 €/km-t)**.
- Transporte por ferrocarril (función del tipo de tracción): **0,42-0,58 €/km (0,038-0,052 €/km-t)**.
- Transporte marítimo en portacontenedores (función de la ruta, tipo de buque y capacidad): **0,065-0,085 €/km (0,006-0,008 €/km-t)**. Se trata de un valor aproximado que se obtiene a partir del flete medio publicado en

la UNCTAD (2018), y no según los costes directos operativos y de viaje de un buque.

Para el caso del **transporte aéreo**, se considera conveniente introducir una serie de ejemplos para obtener un orden de magnitud, ya que el contenedor marítimo de 20 pies no se emplea como unidad de carga y el cálculo del flete depende de distintos factores (peso de volumen, peso tarifario, tipo de tarifa, etc.). Estos ejemplos se extraen directamente de Cabrera Cánovas (2016).

Ejemplo 2. Fletes aéreos desde los aeropuertos de Adolfo Suárez Madrid-Barajas y Barcelona-El Prat

Envío de 4 bultos con un peso total de 100 kg y medidas 68 × 40 × 38 cm desde Madrid a Barranquilla (Colombia). El valor aproximado del flete es de 425 € (0,056 €/km y 0,56 €/km-t).

Envío de 6 bultos con un peso total de 168 kg y medidas 75 × 48 × 45cm desde Madrid a París (Francia). El valor del flete aproximado es de 160 € (0,125 €/km y 0,74 €/km-t).

Envío de 6 bultos con un peso total de 90 kg y medidas 75 × 50 × 28 cm desde Barcelona a Río de Janeiro (Brasil). El valor del flete aproximado es de 1.060 € (0,125 €/km y 1,38 €/km-t).

1.4.2. Factores de decisión externos: el impacto social

De forma complementaria a los factores de decisión tiempo y coste, también se debe tener en cuenta el impacto del transporte desde un punto de vista social, es decir, las externalidades que resultan directa o indirectamente de su actividad, cuyos costes asociados no suelen considerarse en el coste total del transporte (costes internos).

Las **externalidades** pueden ser **positivas** (mejora de la productividad de las empresas o ahorros de tiempo) y **negativas** (contaminación atmosférica, contaminación acústica, efecto barrera, accidentalidad, consumo energético, congestión, etc.); respecto a estas últimas, las que **mayor relevancia** tienen como factor decisorio son aquellas relacionadas con las **emisiones de gases a la atmósfera**, es decir: gases de efecto invernadero (CO₂, NO_x, O_x, CH₄), óxidos de azufre (SO_x) y/o partículas en suspensión PM_x. Conviene señalar que el transporte es responsable del 25,8 % de las emisiones de CO₂ en la Unión Europea, y la carretera es el de mayor peso (73 %, según datos oficiales de la Agencia Europea de Medioambiente, EEA, 2018).

Por tanto, el **impacto en el medio ambiente** se ha convertido en un asunto crítico para muchos negocios, incluyendo la industria del transporte internacional. El principio «el que contamina, paga» significa que estos sectores e industrias que constantemente trabajan bajo prácticas no sostenibles podrían acabar pagando por sus acciones.

En este punto, resulta conveniente mencionar los objetivos del **Acuerdo de París (2015)** sobre el cambio climático, respecto a limitar el aumento de la temperatura media mundial por debajo de los 2 grados centígrados y lo más

cerca posible de 1,5 grados en comparación con el nivel de la era preindustrial. Este acuerdo entrará en vigor en el año 2020, cuando finaliza la vigencia del Protocolo de Kioto (1997).

Aunque el transporte internacional marítimo y aéreo no está incluido directamente en el **Acuerdo de París (2015)**, la Organización Marítima Internacional (OMI) y la Organización de Aviación Civil Internacional (ICAO) ya han adoptado medidas para la reducción de emisiones. En lo que respecta al transporte marítimo, se pretende reducir las emisiones de carbono en al menos el 50 % para el 2050, en comparación con los niveles del 2008 (acuerdo adoptado en la sesión 72 del MEPC en el 2018). En relación con el transporte aéreo, también se pondrá en marcha un sistema para compensar el aumento de las emisiones del sector a partir del 2020.

A continuación, se indican una **ratios medias de emisiones de CO₂** para las distintas modalidades de transporte, teniendo en cuenta los diferentes tipos de fuel utilizados por la flota mundial de vehículos:

Tabla 1. Emisiones de CO₂ para distintos modos de transporte

Modo de transporte	Tipo de vehículo	Emisiones (gr CO ₂ eq / vkm)	Emisiones (gr CO ₂ eq / t-km)
Transporte por carretera	Camión 3,5-7,5 toneladas	312 g CO ₂ eq/vkm	47 g CO ₂ /t-km
	Camión-tráiler > 32 toneladas	906 g CO ₂ eq/vkm	80g CO ₂ /t-km
Transporte ferroviario	Tren de mercancías - diésel	1.1473 g CO ₂ eq/vkm	18g CO ₂ /t-km
Transporte aéreo	Avión de carga - keroseno	1.103 g CO ₂ eq/vkm	450-560 g CO ₂ /t-km
Transporte marítimo	Buque carga general - fueloil (HFO)	24.432 g CO ₂ eq/vkm	3,0-7,9 g CO ₂ /t-km

Fuente: TREMOVE model (2010); CE Delft (2011); International Chamber of Shipping (2014).

Para mayor detalle, un estudio promovido por la DG-MOVE (2014) analiza en detalle los **costes externos del transporte** y cuantifica de manera monetaria el impacto en un ámbito de accidentes, contaminación atmosférica, contaminación acústica, cambio climático, etc.

Como ejemplo de la creciente concienciación por las emisiones de la cadena logística, se presenta una herramienta digital que dispone la Autoridad Portuaria de Barcelona (eCOcalculadora), dirigida a propietarios de carga u organizadores del transporte, mediante la cual se recomienda una **propuesta óptima de ruta marítimo-terrestre**.

La herramienta da como **resultado la distancia total y el volumen de emisiones de CO₂ para cada alternativa**, teniendo en cuenta distintas variables como son: puerto origen/destino; servicios marítimos regulares existentes (directos y con transbordos); terminales intermodales en el *hinterland* europeo; sentido del trayecto; localización del destino final; modo de transporte para el tramo terrestre, etc.

Ejemplo3. Cálculo de la huella de carbono para una exportación entre Zaragoza y Orán pasando por el puerto de Barcelona

En la figura 8, se presenta el caso particular de una exportación desde Zaragoza a Orán (Argelia) utilizando el ferrocarril para el transporte terrestre desde la terminal intermodal Zaragoza Plaza hasta el puerto de Barcelona. La distancia total es de 1.108 km, y el volumen total de emisiones de CO₂ es de 175 kg/TEU.

Figura 8. Cálculo de la huella de carbono para el transporte de un contenedor entre Zaragoza (España) y Orán (Argelia)



Fuente: EcoCalculadora Port de Barcelona.

2. Configuración de redes de transporte multimodal

El **transporte terrestre** es el modo más empleado para transportar mercancías internacionalmente. Esto se debe a su rapidez, a su compatibilidad internacional, a su flexibilidad horaria, de capacidad y de elección de rutas, y a la llamada *capilaridad*, ya que es el único medio que permite trayectos directos desde las fábricas hasta las plataformas de intercambio o hasta el cliente final (**servicio puerta a puerta**).

No obstante, este transporte se encuentra condicionado por elevados costes directos (coste energético y costes directos del transporte como los peajes), endurecimientos de la regulación medioambiental y la congestión de las infraestructuras (autopistas y accesos a ciudades), entre otros.

Esto hace que los principales gobiernos europeos incentiven el **uso de alternativas de transporte más sostenibles**, con el propósito de disminuir el nivel de congestión de las vías de alta capacidad y reducir los costes directos e indirectos del transporte de mercancías. De ahí que aparezcan soluciones como las autopistas ferroviarias, las autopistas del mar o la introducción de estrategias de distribución tipo *Hub&Spoke*, para incrementar la eficiencia en la distribución de mercancías desde los centros de producción hasta sus destinatarios finales, habitualmente en núcleos urbanos.

2.1. El transporte terrestre en la cadena multimodal

El actual sistema resulta poco funcional si se considera la **gran dependencia** existente **del transporte por carretera**, al ser este el único capaz de completar el servicio **puerta a puerta** de una mercancía. Esto puede resultar en una ineficiencia intrínseca en cuanto a emisiones de transporte y en cuanto a costes directos.

Tal y como se ha expuesto anteriormente, las dos principales variables que afectan a la elección de un modo de transporte son el tiempo y el coste, aunque en los últimos años se están introduciendo nuevos conceptos de multimodalidad, que tienen como objetivo la optimización de la cadena de transporte desde un punto de vista socioeconómico; es decir, teniendo en cuenta también las **externalidades del transporte** (contaminación atmosférica, contaminación acústica, efecto barrera, accidentalidad, consumo energético, congestión, etc.).

No obstante, hay todo un conjunto de **factores complementarios que tienen efecto sobre estas variables**, y que determinarán la elección final:

- **Traslados de última milla** (en los extremos). El transporte intermodal requiere el transporte terrestre en los extremos y supone un coste elevado. Habitualmente, se requieren dos traslados adicionales, aunque pueden incluirse otros como, por ejemplo, cuando la terminal ferroviaria no está en el recinto portuario. Asimismo, en las entregas finales a cliente o en las recogidas al generador de carga, suelen producirse esperas que acaban afectando al tiempo total de transporte.
- El transporte intermodal tiene necesidad de **volúmenes mínimos entre puntos de concentración de carga** (plataformas logísticas, estaciones intermodales o puertos) para ser rentable económicamente. Esto puede hacer **reducir la frecuencia** del servicio, la cual es directamente dependiente de la demanda.
- Asimismo, en el caso del **transporte por ferrocarril**, puede **carecer de priorización** en las circulaciones, por lo que se puede **incrementar el tiempo** de transporte.
- El **transporte intermodal** requiere **nodos de transferencia** para llevar a cabo el cambio de modo, lo que incluye **mayor rigidez en la ruta**. Los camiones tienen que dirigirse a puertos o terminales ferroviarias para hacer el arrastre principal por el modo masivo, mientras que, en un **transporte íntegro por carretera**, se puede emplear la ruta más corta.
- Es probable que en los **cambios de modo**, especialmente cuando se trata de la distribución en los extremos y en las **cercanías del cliente final**, se deba pasar por las instalaciones de un operador logístico (almacenes, centros de distribución y de *cross-docking*, *buffers* de almacenamiento, gestión de stocks) y hacer el cambio de vehículo a un camión más adecuado a nodos urbanos.

Por ello, en el proceso de **evaluación de los costes totales** del transporte se deben tener en cuenta tanto los **costes fijos de acceso**, como los **costes directos del transporte** o costes variables, los cuales dependen de la cantidad transportada y la distancia recorrida:

- Los costes fijos de acceso para el **transporte puro por carretera** son inferiores, pero los costes marginales por tonelada y distancia transportada son superiores.
- Los costes fijos de acceso para el **transporte multimodal** son superiores, pero los costes directos muestran una curva con un pendiente inferior. Esto es así por la rigidez de la infraestructura que se requiere y sus inversiones asociadas.

Por eso, en la figura 7, los puntos de decisión críticos entre un modo y otro dependen en gran medida de la densidad y configuración de la red de transporte, del número de nodos intermodales para el intercambio multimodal, distancias de acarreo y los propios costes de transporte en cada territorio o región económica.

El transporte de mercancías con el **arrastre principal mediante un modo masivo** (ferrocarril, barcaza y/o transporte marítimo) habitualmente es **rentable para servicios de mayor distancia y/o para transportar elevados volúmenes de carga** (zona sombreada en naranja en la figura anterior). No obstante, también se **puede justificar su uso para servicios de elevado volumen y alta frecuencia** origen/destino (O/D).

2.2. Redes *Hub&Spoke*

La creciente presión por la reducción de los costes asociados al transporte de mercancías ha derivado en la aparición de distintas soluciones de optimización de recursos y mejora de la sostenibilidad, en función del ámbito de distribución en el que nos encontremos. Son especialmente importantes la distribución urbana de mercancías, la distribución de última milla (paquetería y comercio electrónico) y la distribución intermodal en el interior de una región económica.

En este contexto, las **redes de distribución** adquieren una importancia decisiva en la determinación del coste total de la distribución. La configuración de una red de distribución en relación con el espacio real en el que trabaja determina el éxito o el fracaso del sistema de transportes que emplea la empresa.

Entre las soluciones de optimización más destacadas, se encuentra el **concepto de *Hub&Spoke***, que se define como tipología de **red caracterizada por la existencia de centros de consolidación llamados *hubs***, donde la carga se manipula, se clasifica y se agrupa para distribuirla en otras rutas, de modo que desde el punto de vista global del sistema se **reducen los costes** y se garantiza la **entrega en un tiempo adecuado** (Estrada, 2007).

El empleo de una estrategia tipo *Hub&Spoke* da **importancia al origen y al destino** de la carga, **por encima de la ruta o las paradas** que hacen los vehículos en su encaminamiento. La ingeniería de transporte y las técnicas de simulación tienen como **objetivo** la decisión de la **localización óptima de los centros de intercambio modal (CIM)** y las **plataformas logísticas**.

Las **principales ventajas** del sistema son:

- Incremento de la frecuencia de los servicios de transporte.

- Incremento de la ocupación de los camiones y/o ferrocarriles y reducción del porcentaje de viajes en vacío.
- Reducción del tiempo total de viaje.
- Menor coste marginal de transporte.

Los **ejemplos más habituales** de aplicación de esta solución los encontramos en el transporte aéreo, en los **centros de concentración de mercancías** (CIM y similares) para la distribución terrestre y en la distribución de paquetería en las ciudades (distribución urbana y de última milla).

La **última milla** es el nombre que recibe el proceso final de entrega de la mercancía a su cliente. Es el paso que transcurre **desde que el paquete sale del último punto de distribución de su red** (almacén, CIM, etc.) **hasta que llega al lugar de entrega**. En este tramo se detectan algunas dificultades, entre las cuales destacan las siguientes:

- Se lleva a cabo habitualmente en zonas urbanas, con lo que los problemas de movilidad son frecuentes.
- Los traslados son para la entrega de paquetes de pequeño tamaño, con una presión importante para mantener la eficiencia en costes.
- El proceso debe ser completado en un corto espacio de tiempo, con presiones para cumplir con los compromisos de entrega a cliente.
- El porcentaje de entregas fallidas, es decir, paquetes que no pueden entregarse al cliente final, es muy elevado.

Por este motivo, se han desarrollado numerosas alternativas de **optimización de rutas de entrega**, el uso de **vehículos comerciales livianos** o la introducción de los **puntos físicos de recogida en los distritos de las ciudades**.

2.3. El transporte marítimo de corta distancia como alternativa intermodal

2.3.1. Transporte marítimo de corta distancia (TMCD)

El transporte marítimo resulta muy atractivo para grandes volúmenes de carga, largas distancias y en lo que respecta al medioambiente, y es el modo de transporte más sostenible por tonelada de mercancía y distancia recorrida (tabla 1).

No obstante, este modo de transporte **también presenta un potencial significativo en la corta distancia**, tanto para el transporte de mercancías como para pasajeros, y es una alternativa de transporte eficiente, competitiva y sostenible, y clave para dar un impulso al futuro del sistema de transporte intermodal en Europa (Comisión Europea, 2002).

La normativa comunitaria y la legislación española vigente definen el **transporte marítimo de corta distancia (TMCD)**, comúnmente conocido también como *short sea shipping, SSS*) como el movimiento de mercancías y pasajeros por mar entre puertos situados en territorio de la Unión Europea o entre estos puertos y puertos situados en países no europeos con una línea de costa en los mares que rodean Europa.

Este concepto **incluye transporte marítimo nacional e internacional**, así como los servicios *feeder*, a lo largo de la costa y con islas, ríos o lagos. Se aplica también al transporte marítimo entre estados miembros de la Unión Europea y Noruega, Islandia y otros países ribereños del mar Báltico, el mar Negro y el Mediterráneo.

En conclusión, el **transporte marítimo de corta distancia** engloba prácticamente todo el tráfico marítimo de origen o destino no transoceánico de los puertos europeos (Asociación Española de Promoción del TMCD).

No obstante, en la práctica, el **transporte marítimo de corta distancia** encuentra su sentido como política activa de transporte en su contribución a la **formación de cadenas marítimo-terrestres puerta a puerta, donde además del transporte marítimo se conjugan los modos de transporte terrestres, y, en particular, el transporte por carretera**, para configurar una solución de transporte competitiva.

Con este enfoque, el concepto del transporte marítimo de corta distancia tiene la clave para **ser alternativa al transporte terrestre**. Destacan los servicios marítimos regulares, con una **elevada relación calidad-precio e integrados en una cadena marítimo-terrestre puerta a puerta** para cubrir relaciones de transporte en las que existe una alternativa terrestre pura.

Bajo esta acepción, las líneas de transporte marítimo regular entre islas y/o con la Península o bien entre Algeciras y Tánger no se considerarían como TMCD o SSS, al no existir alternativa terrestre. Sin embargo, un servicio marítimo entre Barcelona y Tánger sí lo es, ya que el enlace marítimo por el Estrecho de Gibraltar se consideraría como el enlace terrestre (puente marítimo).

En la actualidad, el TMCD o SSS está bien integrado en la cadena de transportes gracias, por ejemplo, a la navegación fluvial y a los enlaces ferroviarios. Sin embargo, cabe destacar que no solo está presente en Europa, sino que también despunta en otras partes del mundo, como es el caso de América del Norte.

El transporte marítimo de corta distancia en España

En España, los puertos de Valencia, Barcelona y Algeciras (fachada mediterránea) son los puertos que mayor índice de conectividad y que mayores servicios ofrecen de TMCD, y Marruecos, Italia y el Reino Unido son los principales países origen/destino de estos servicios. Por ejemplo, desde el puerto de Barcelona hay servicios a Tánger-Med, Túnez, Civitavecchia, Livorno, Porto Torres, Savona y Génova, y desde el puerto de Valencia hay líneas Ro-Ro a Livorno, Savona, Salerno y Cagliari, todos ellos en Italia¹.

En lo que respecta a la **tipología de buque y tipo de carga** para los servicios de TMCD o SSS, hay que destacar que los más comunes son el contenedor (60 %) y la carga rodada (31 %), tanto Ro-Ro puro como Ro-Pax (carga rodada combinada con pasaje). El tráfico de vehículos nuevos (*car-carrier*) también es destacable (9 %) (Fundación Valenciaport, 2018).

⁽¹⁾Para consultar las líneas existentes de TMCD o SSS desde España, se recomienda visitar el siguiente enlace: <http://shortsea.es/index.php/simulador/lineas>

2.3.2. Autopistas del mar

En el apartado anterior, ha quedado claro que el transporte marítimo presenta importantes ventajas en un ámbito de costes en relación con la carretera, pero en lo que respecta al tiempo de viaje y accesibilidad, es conveniente que haya un servicio configurado alrededor de rutas rápidas y eficientes para el comercio exterior. En caso contrario, la transferencia modal del transporte por carretera sería poco atractiva.

Por ello, la Unión Europea, como parte de su política de transportes, introdujo el concepto de **autopista del mar**, y las incluyó en la Red Transeuropea de Transporte (TEN-T) como actuación prioritaria en el 2004. Esto supuso un hito importante, ya que era la primera vez que una infraestructura no física (los servicios marítimos) formaba parte de una red infraestructural.

En particular, una **autopista del mar** es un servicio de transporte marítimo de corta distancia con alta regularidad y frecuencia, principalmente orientado a la carga, y que comprenda:

a) Enlaces marítimos y sus conexiones con las zonas de interior dentro de la red básica entre dos o más puertos de la Red Transeuropea de Transporte (al menos, dos estados miembros implicados).

b) O bien enlaces marítimos entre los puertos de la red global o entre un puerto de la red global y un puerto de un tercer país, cuando estos enlaces sean de importancia estratégica para la Unión.

Los corredores marítimos para autopistas del mar principales se dividen en cuatro regiones marítimas: Báltico, Atlántico, Mediterráneo Occidental y Mediterráneo Oriental. El detalle de los criterios de la Comisión Europea para el desarrollo de una autopista del mar se recoge en la Regulación (EU) núm. 1315/2013.

Con este nuevo enfoque, **las autopistas del mar se configuran como la alternativa idónea** para compensar el peso excesivo del transporte por carretera en la distribución modal del transporte intraeuropeo. Se conciben, a semejanza de las autopistas viarias, como conexiones rápidas, seguras, fiables, frecuentes, de calidad y de alta capacidad, y ofrecen excelente conexión con las redes transeuropeas de transporte.

Los **requisitos principales** para que un servicio marítimo regular sea catalogado como autopista del mar son:

a) Tipología de servicio:

- Lo-Lo. En el buque solo viaja el contenedor.
- Ro-Ro. En el buque solo viaja el tráiler y/o remolque.
- Ro-Pax. En el buque también va pasaje.

b) Regularidad:

- Frecuencia mínima de tres salidas por semana.
- Tiempo de tránsito menor a 7 días para un ciclo completo de ida y vuelta.
- Rutas únicamente entre dos puertos.
- *Hinterland*: las cadenas logísticas susceptibles de ser transferidas del modo terrestre al marítimo son aquellas cuyos orígenes y/o destinos se ubican en el *hinterland* de los puertos.

c) Otras características:

- La línea marítima debe ser complementaria al transporte por carretera, y no sustitutiva.
- El cliente de estos servicios marítimos son las empresas de transporte y los operadores logísticos.
- El camión emplea el barco como una alternativa al transporte por carretera.

d) Ventajas competitivas de este modo de transporte combinado:

- **Mejora de la movilidad.** Las cadenas logísticas intermodales con tramos de TMCD ayudan a combatir la congestión de las vías de transporte terrestre. Además, se mejora el acceso a regiones periféricas, por la creación de nuevos enlaces de transporte.
- **Mejora de la conectividad.** Se establecen servicios regulares entre dos puertos, que permiten que las exportaciones e importaciones sean frecuentes y constantes entre los *hinterland* origen y destino.
- **Reducción de la inversión en infraestructura.** La inversión en autopistas del mar es menor que la que sería necesaria para infraestructuras de transporte terrestre, para terminales de contenedores y para transporte aéreo.
- **Eficiencia energética.** El consumo energético por tonelada y kilómetro de transporte es menor utilizando cadenas intermodales que incluyan un tramo de TMCD.
- **Disminución de las emisiones de CO₂.** Los tramos que utilizan TMCD disminuyen las emisiones de CO₂ por tonelada y kilómetro recorrido.

Las autopistas del mar en España

En España, las autopistas del mar que se encuentran actualmente en servicio son:

Tabla 2. Autopistas del mar operativas entre España y Europa

Origen/destino	Naviera	Tipo servicio	Frecuencia	Tiempo de tránsito
Santander-Portsmouth	Brittany Ferries	Ro-Pax	3 por semana	24 h
Vigo-Saint Nazaire	Suardiaz	Ro-Ro	4 por semana	35 h
Barcelona-Porto Torres-Civitavecchia	Grimaldi	Ro-Pax	6 por semana	12/20 h
Valencia-Barcelona-Livorno-Savona	Grimaldi	Ro-Ro	6 por semana	36/45 h - 20/35 h
Valencia-Cagliari-Salerno	Grimaldi	Ro-Ro	3 por semana	26/45 h

Fuente: Base de datos LinePort y/o LineRail de la Fundación Valenciaport (2018).

Cabe indicar que desde el año 2004, cuando se comenzó a fomentar y dedicar fondos a apoyar el desarrollo de las autopistas del mar a través de los programas europeos Marco Polo (2003-2006 y 2007-2013) y TEN-T, en España se pusieron en servicio 4 autopistas del mar. Dos de ellas siguen en funcionamiento (Santander-Portsmouth desde el 2010, y Vigo-Saint Nazaire desde el 2015), mientras que otras dos fueron canceladas o suspendidas, principalmente por motivos de rentabilidad económica, tras finalizar las ayudas europeas a las navieras. Estas fueron las líneas de Bilbao-Zeebrugge (creada en el 2007 y cancelada en el 2014) y Gijón-Saint Nazaire (creada en el 2010 y suspendida en el 2014).

2.4. Autopistas ferroviarias

El concepto de autopista del mar, como **servicio regular de transporte de mercancías de alta frecuencia entre dos puntos**, permite completar una **cadena marítimo-terrestre puerta a puerta** como alternativa a una cadena terrestre pura. Este concepto se puede extrapolar a las **autopistas ferroviarias cuando el transporte principal se hace vía ferrocarril** de alta capacidad, empleando dos terminales intermodales y en combinación del transporte por carretera.

2.4.1. Ferroutage o autopista ferroviaria

El *ferroutage* es el sistema de transporte combinado carretera-ferrocarril que permite acceder a las unidades de carga intermodal, ya sea normalizado o no, como la **caja móvil**, el **contenedor** o el **semirremolque**, que pueden ser utilizados tanto en el ferrocarril como en la carretera.

Una autopista ferroviaria se define como el sistema de transporte combinado carretera-ferrocarril en el que los vehículos de carretera (camiones) son transportados por ferrocarril en servicios lanzadera empleando material rodante y terminales intermodales específicas (INECO, 2015).

Este sistema de transporte combinado tiene como fin **aunar las ventajas económicas y de seguridad del ferrocarril y las de ofrecer acceso directo hasta el punto de destino del transporte por carretera**. En estos casos, los camiones recorren por carretera el trayecto hasta el inicio de la autopista ferroviaria, se montan en **vagones especiales**, y son descargados en la estación final para continuar por carretera a destino. La compañía ferroviaria se encarga exclusivamente del transporte en la autopista ferroviaria, y es ajena a la logística del camión antes y después del tramo ferroviario.

Figura 9. Autopista ferroviaria en el centro de Europa (Suiza) con vagones extrabajos (sistema RÖLA)



Fuente: www.ralpin.com.

Se pueden encontrar **ejemplos de autopistas ferroviarias** entre Bettembourg (Luxemburgo) y Perpiñán (Francia), con una distancia total de 1.060 km y en varios tramos de la travesía por los Alpes (Freiburg-Novara, Basel-Lugano, Wörgl-Trento, Salzburg-Triest, etc.).

Las autopistas ferroviarias se han establecido por **distintos motivos**:

- **Aumentar la cuota de transporte por ferrocarril**, transportando parcialmente aquellas mercancías que requieren un camión.
- Servir de **ruta alternativa** al transporte por carretera y **evitar la circulación de camiones** por rutas peligrosas como las cadenas montañosas.

2.4.2. Tipologías de sistemas y vagones para las autopistas ferroviarias

No obstante, cabe indicar que el *ferroustage* (y por ende, las autopistas ferroviarias) tiene un **problema de gálibo** en la mayoría de las infraestructuras ferroviarias, puesto que los camiones europeos disponen de una altura autorizada máxima de hasta 4,20 m. Para resolver este problema, se adoptan varios tipos de soluciones, como el uso de los siguientes **vagones especiales**:

a) **Vagones extrabajos con bogies** especiales de ruedas pequeñas, que permiten el transporte de camiones más grandes. Es el modelo adoptado por las autopistas ferroviarias a través de los Alpes suizos (Bassel-Lugano, por ejemplo) y es conocido también como **sistema ROLA** (*Rollende Landstrasse*).

Para este tipo de vagones, tanto la carga como la descarga se producen de manera unidireccional y en el sentido de avance del camión. Junto con su cabeza tractora, acceden al tren a través de una rampa habilitada para este fin y dispuesta en el extremo trasero del tren. En este caso, hablamos siempre de transporte acompañado.

b) **Vagones bajos y articulados** con ruedas de tamaño normal y con caja que gira 30 para permitir lateralmente la carga del vehículo de carretera. A diferencia del sistema ROLA, este sistema ofrece la posibilidad de hacer paradas en estaciones intermedias, ya que se puede descargar el número de semirremolques deseado sin afectar al resto, así como llevar a cabo el transporte tanto acompañado por el conductor como no acompañado.

Es el principio del vagón de piso bajo desarrollado por el fabricante LOHR (**sistema Modalohr**), y que es utilizado en el túnel Mont-Cenis que conecta Orbassano (Italia) con Aiton (Francia), y entre Bettembourg (Luxemburgo) y Perpiñán (Francia).

Figura 10. Sistema LOHR diseñado especialmente para la carga de los semirremolques estándar



Fuente: Lohr Railway System (www.lohr.fr).

c) **Vagones en plataformas con cajas rebajadas dispuestas entre los bogies**. Esta tipología de vagones requiere la utilización de grúas pórtico o de *reach-tacker* con las que mover verticalmente los semirremolques para colocarlos sobre los vagones y, por tanto, solo permite transporte no acompañado. Existe

una gran variedad de técnicas, y se permite también el transporte combinado de contenedores y semirremolques. Finalmente, hay que destacar que esta tipología de vagones también ofrece la posibilidad de hacer paradas en terminales intermedias.

3. La sincromodalidad: el paradigma futuro del transporte multimodal

Tal y como se ha expuesto anteriormente, la **elección del modo de transporte** –o combinación de estos– más adecuada para el transporte de mercancías desde el punto generador de la carga hasta el cliente final, así como la elección de la ruta más adecuada, dependen tanto de los costes directos del transporte (tiempo y coste) como de los costes indirectos (externalidades).

No obstante, la llegada del concepto de economía e industria 4.0 y, con ella, los nuevos modelos de gestión, puede hacer aflorar nuevas realidades. Por ejemplo, la **gestión del transporte en tiempo real** y, por tanto, elegir aquella alternativa que según la situación de contexto vigente sea la más ventajosa entre una serie de criterios preseleccionados. Este último paradigma da paso a la **sincromodalidad**, un nuevo concepto con el que el transporte pretende adaptarse a la nueva era de la logística 4.0, y que permite posponer la decisión hasta el último momento.

3.1. La sincromodalidad

El concepto de **sincromodalidad** hace referencia a los **nuevos modelos eficientes de gestión del transporte prácticamente en tiempo real, a partir del uso intensivo del análisis de los flujos de datos** que genera el movimiento de la mercancía a lo largo de la cadena de valor. Es necesaria una visión integral de la cadena de valor, así como una transparente y completa comunicación entre los agentes que intervienen.

Es importante remarcar que el concepto de sincromodalidad hace referencia a la **gestión en red de la cadena de suministro**, y no necesariamente a la elección modal por un nodo logístico determinado.

La **definición más extendida de sincromodalidad** corresponde con la selección óptima de la combinación de modos de transporte en tiempo real mediante gestión ágil, sin costuras, predictiva, inteligente y conectada del sistema, bajo criterios de congestión, disponibilidad, tiempo, coste y sostenibilidad (Behdani y otros, 2016).

A partir de las consideraciones anteriores, los **principales beneficios** que aporta la sincromodalidad son:

- Reducir el coste y el impacto ambiental de las operaciones logísticas.

- Aumentar la fiabilidad y mejorar los servicios para los usuarios finales de la logística (nivel de servicio).
- Distribuir la demanda sobre las infraestructuras y servicios de transporte y así evitar la congestión de las redes de transporte.
- Reducir viajes en vacío de camiones y movimientos de reposición improductivos dentro de las redes de transporte.
- Reducir los tiempos de paso de camiones, buques, ferrocarriles, etc. por las plataformas logísticas multimodales/intermodales.
- Optimización del uso de recursos en los nodos logísticos como los puertos o terminales interiores, a partir de una buena coordinación entre gestor de la infraestructura y usuario (buque, por ejemplo).

Tras introducir el concepto y los beneficios esperados de la sincromodalidad, a continuación se introduce un ejemplo concreto para una exportación, en el que se lleva a cabo un estudio de alternativas partiendo de información en tiempo real. Posteriormente, se mencionan otros ejemplos sobre las nuevas tendencias y soluciones bajo el paradigma de la sincromodalidad.

Ejemplo 4. Análisis de alternativas sincromodales para una exportación entre Praga y Newcastle (Reino Unido)

A modo de ejemplo, se presentan los resultados de aplicar de una herramienta de sincromodalidad a un caso práctico en el que se plantea hacer un transporte de mercancías entre Praga y Newcastle. Tras actualizar la información disponible en tiempo real, se evalúan las distintas alternativas de viaje (figura 11) a partir de criterios de tiempo, distancia recorrida, riesgo asociado al tiempo de viaje (retrasos) y la flexibilidad que ofrece la ruta en cuestión, en caso de incidencia.

Según los resultados obtenidos, la ruta número 3 sería la más recomendada si no se quieren asumir riesgos de retraso o incidencias durante el trayecto, a pesar de que ni el tiempo de viaje ni la distancia que hay que recorrer son óptimos. En cambio, la alternativa número 1 (que incluye camión y ferrocarril) sería la más desfavorable.

Figura 11. Análisis de alternativas ofrecidas por una herramienta de sincromodalidad

Ruta				Indicadores clave del desempeño			Indicadores clave del riesgo		
				Tiempo total	Distancia total		Retrasos esperados	Ratio de flexibilidad	
0	x	x		47 h	1.650 km	-	5 h	70 %	-
1	x		x	40 h	900 km	-	3 h	30 %	-
2	x	x	x	38 h	1.150 km	-	2 h	20 %	-
3	x	x	x	42 h	1.250 km	-	1,5 h	80 %	-

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, el **concepto de sincromodalidad** se puede ver aplicado en los puertos más avanzados en un ámbito tecnológico. Gracias a los sistemas de gestión operativos, se puede controlar en tiempo real la llegada prevista de los buques

a puerto y, a partir de aquí, lanzar recomendaciones a estos para aminorar o acelerar su aproximación a puerto (lo que se conoce también como *slow steaming*), y así sincronizar su llegada con la disponibilidad de recursos náuticos y de muelle.

En este mismo sentido, resulta interesante destacar el proyecto financiado con fondos europeos SYNCHRO-NET², que tiene como objetivo demostrar la efectividad y eficiencia de la sincromodalidad y de la técnica del *slow steaming* (reducir la velocidad de aproximación y, así, sincronizar la llegada con el inicio de las operaciones en puerto o plataforma intermodal), para reducir los costes operativos y las externalidades (emisiones de gases) en las cadenas logísticas internacionales.

⁽²⁾Sitio web del proyecto europeo. Disponible en: <http://www.synchronet.eu>.

Bibliografía

A continuación, se citan las principales fuentes de información que han servido de base para la elaboración del presente módulo:

AECOM (2011). *Choosing and Developing a Multi-modal Transport Solution. Freight Best Practice*. Reino Unido: Department for Transport.

Asociación Española de Promoción del TMCD (2018). *Definición de SSS y simulador de cadenas de transporte* [en línea]. www.shortsea.es.

Behdani, B.; Fan, Y.; Wiegmans, B.; Zuidwijk, R. (2016). «Multimodal schedule design for synchromodal freight transport systems». *European Journal of Transport and Infrastructure Research* (vol. 16, núm. 3, págs. 424-444).

Cabrera, A. (2016). *Transporte aéreo internacional de mercancías. Cuadernos básicos*. Madrid: ICEX España Exportación e Inversiones.

CE Delft (2011). *External Costs of Transport in Europe, Update Study for 2008*. Holanda: Delft [en línea]. www.cedelft.eu.

CENIT (2018). *Potenciació del transport multimodal al Corredor del Mediterrani des de la implementació de models multiclient i multiproducte eficients*. Papers de l'Observatori de la Indústria. Barcelona: Departament d'Empresa i Coneixement, Generalitat de Catalunya.

Comisión Europea (2002). *Libro Blanco: La política europea de transportes de cara al 2010: la hora de la verdad*. Luxemburgo: Publicaciones oficiales de las Comunidades Europeas [en línea]. <http://www.shortsea.es/images/PDF/DocumentosUE/libro%20blanco.pdf>.

EEA (2018). *Greenhouse gas emissions from transport*. European Environment Agency [en línea]. www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/transport-emissions-of-greenhouse-gases/transport-emissions-of-greenhouse-gases-10

Estrada, M. (2007). *Análisis de estrategias eficientes en la logística de distribución de paquetería*. Tesis doctoral. Barcelona: Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona - Universitat Politècnica de Catalunya.

Fundación Ferrocarriles Españoles (2017). *Observatorio del Ferrocarril en España – Informe 2016*. Madrid: Ministerio de Fomento.

Fundación Valenciaport (2018). *Oferta de servicios de TMCD y ferroviarios en los puertos españoles*. Valencia: Base de datos LinePort y LineRail de la Fundación Valenciaport.

González, F.; Novo, I. (2007). «Las autopistas del mar en el contexto europeo». *Boletín Económico del ICE* (núm. 2902).

INECO (2015). *Estudio para el desarrollo de autopistas ferroviarias en la península Ibérica*. Madrid: Ministerio de Fomento.

International Chamber of Shipping (2014). *Comparison of CO₂ Emissions by Different Modes of Transport* [en línea]. <http://www.ics-shipping.org/shipping-facts/environmental-performance/comparison-of-co2-emissions-by-different-modes-of-transport>.

Levinson, M. (2006). *The Box: How the shipping container made the world smaller and the world economy bigger*. Nueva Jersey: Princeton University Press.

López, J. (2000). *Logística internacional* (PID_00194362). Barcelona: Universitat Oberta de Catalunya (UOC).

Ministerio de Fomento (2001). *Análisis, información y divulgación sobre la aportación del transporte por carretera a la intermodalidad* (cap. 3, «El transporte por carretera y la intermodalidad»). Madrid: Ministerio de Fomento.

Ministerio de Fomento (2018). *Observatorio de costes del transporte de mercancías por carretera*. Madrid: Dirección General de Transporte Terrestre, Ministerio de Fomento.

Monfort, A.; Monterde, N.; Sapiña, R.; Martín, A. M.; Calduch, D.; Vieira, P. (2011). *La terminal portuaria de contenedores como sistema nodal en la cadena logística*. Valencia: Fundación Valenciaport.

Naciones Unidas (2015). *Acuerdo de París* [en línea]. <https://unfccc.int/es/node/512>.

OECD/ITF (2018). *Decarbonising Maritime Transport: Pathways to zero-carbon shipping by 2035*. París: International Transport Forum's Case-Specific Policy Analysis Series.

Perboli, G.; Musso, S.; Rosano, M.; Tadei, R.; Godel, M. (2017). «Synchro-Modality and Slow Steaming: New Business Perspectives in Freight Transportation». *Sustainability* (núm. 9, pág. 1843). doi:10.3390/su9101843.

Ricardo-AEA (2014). *Update of the Handbook on External Costs of Transport. Report of the European Commission*. Londres: DG Mobility and Transport [en línea]. https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/handbook_on_external_costs_of_transport_2014_0.pdf.

Rodrigue, J. P. (2017). *The geography of transport systems* (4.^a ed.). Nueva York: Routledge.

Rodríguez, A. (2015). *Puertos, intermodalidad y redes logísticas*. Madrid: Puertos del Estado, Ministerio de Fomento.

Rus, G. de; Campos, J.; Nombela, G. (2003). *Economía del transporte*. Barcelona: Editorial Antoni Bosch.

Transport & Mobility Leuven (2011). *TREMOVE model, Basecase pivots version 2.7b* [en línea]. <http://www.tremove.org/documentation/index.htm>.

UNCTAD (2018). *Review of Maritime Transport 2018*. Nueva York: United Nations Publications.