IESE Business School University of Navarra
Public-Private Sector Research Center

OP-327
Noviembre del 2019

BARCELONA CENTRE LOGÍSTIC CATALUNYA

Modelización del sector logístico en Cataluña

Mapa de movilidad logística en Cataluña

CARLOS CARRASCO
Investigador

PEDRO FRANCA
Asistente de investigación

VÍCTOR MARTÍNEZ DE ALBÉNIZ
Profesor de Dirección de Producción Tecnología y Operaciones

JORDI SALVADOR
Investigador

JORDI BALSACH
Asistente de investigación

Con la colaboración del International Economic Forum in Logistics (IEFL)

Resumen

El documento presenta los resultados de la modelización del sector logístico en Cataluña y aporta información novedosa en relación con dos aspectos: en primer lugar, determina el número de camiones de transporte de mercancías que circulan por cada tramo de forma diaria, pudiendo establecerse cuántos transitan por las distintas vías, lo cual permite poder comparar la magnitud de las diferencias entre estas últimas; y, en segundo lugar, la granularidad de la información presentada. El hecho de que la estructura vial catalana se componga de más de cinco mil tramos de vía hace que, para una persona, resulte imposible conocer todos y cada uno de ellos. Sin embargo, en nuestro trabajo, hemos creado, gracias a la modelización, una base de datos que puede ser explorada en detalle, municipio por municipio, tramo a tramo, para identificar potencialidades, posibles problemáticas y poner en contexto los datos existentes mediante distintas comparativas.

Palabras clave: Logistics, transporte, Cataluña, mercancías, modelización

---

Copyright © 2019 IESE.
DOI: https://dx.doi.org/10.15581/018.OP-327

La realización de este estudio ha sido posible gracias a los datos facilitados por las empresas Abertis, Cedinsa, Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya, Port de Barcelona, Port de Tarragona, y por la Generalitat de Catalunya.

Última edición: 26/11/19

Índice

1. Introducción **3**
2. La balanza comercial del sector logístico de Cataluña **5**
2.1. Balanza comercial por tipo de modalidad de transporte *6*
2.2. Balanza comercial por provincias catalanas *8*
3. Análisis en detalle: autopistas AP-2 y AP-7 ..... **11**
4. Análisis en detalle: carreteras C-16, C-17, C-25 y C-35 ..... **15**
5. Análisis en detalle: estaciones de aforo **18**
6. Análisis en detalle: afiliados a la Seguridad Social, 2018 ..... **20**
7. Resultados de la modelización del sector logístico en Cataluña **21**
8. Entradas y salidas por las vías catalanas **26**
9. Análisis de robustez de los resultados **32**
10. Conclusión y pasos futuros **33**
Bibliografía **34**
Anexo 1 ..... **35**
Anexo 2 ..... **39**

1. Introducción

Uno Cataluña es el principal centro logístico no solo de España, sino de todo el sur de Europa y del Mediterráneo por su ubicación estratégica, su completa red de infraestructuras y por el alto nivel de prestación de servicios de las empresas dedicadas a la logística (Barcelona Centre Logístic, s. f.). Según el informe *European Logistics Market - H1 2019* (BNP Paribas Real Estate, 2019), en el primer semestre del 2019 Barcelona lideraba la contratación de espacios logísticos en España, con 340.000 metros cuadrados, solo por detrás de Birmingham y París, en Europa. Además, la Ciudad Condal tiene la capacidad de establecer elevados precios de alquiler *prime rent* (representa el *top open-market rent* o alquiler a precios de mercado en el sur de Europa) para el espacio logístico, con un coste de 82€ por metro cuadrado al año.

El peso económico del sector logístico en el conjunto de la economía catalana es bastante significativo. Según Pimec Logística (2018), en el año 2018, el sector logístico representaba el 12,3% del PIB catalán. Las actividades de transporte y almacenamiento terrestre, marítimo y aéreo ascendían a más de 27.000 millones de euros.

El principal objetivo de las empresas de este sector es poder diseñar mecanismos para poder almacenar, manipular y entregar productos en su destino final en el menor tiempo posible, minimizando a su vez los costes. Para ello, se estudian los itinerarios de circulación, los medios de transporte y los lugares de almacenamiento y manipulación, además de otros factores que influyen en el coste final.

Este documento, a partir de los datos reales (observados), permite obtener una visión general del movimiento de mercancías en Cataluña añadiendo información disponible detallada a nivel de tramo para una mejor comprensión de la logística de esta comunidad autónoma. El objetivo último es permitir una mejora en la toma de decisiones.

Para la elaboración del modelo se han utilizado datos reales procedentes del Instituto de Estadística de Cataluña (Idescat), Abertis, Cedinsa, Port de Barcelona, Port de Tarragona y la Generalitat de Catalunya sobre peajes y estaciones de aforos, comercio exterior de los orígenes y destinos, y datos geolocalizados de la red de carreteras.

Los datos de que disponen los operadores, sin embargo, solo permiten conocer el número de vehículos que pasan por un determinado lugar, no estudiar su recorrido.

Para ello, se ha desarrollado un modelo que genera estimaciones del movimiento de camiones que entran y salen de Cataluña por los siguientes lugares: Francia, Aragón, Valencia, el Port de Barcelona y el Port de Tarragona.

El modelo pretende calcular cuántos camiones, con origen o destino fuera de Cataluña, han pasado por las diferentes rutas existentes dentro de la comunidad autónoma entre principios del 2016 y finales del 2018[1].

Los avances en cuanto a capacidad de computación, disponibilidad de datos y métodos de análisis (algoritmos) nos han permitido realizar el presente trabajo a partir de una muestra que incluye más de 5.000 tramos de carretera cuyo tráfico diario se ha modelizado durante 3 años, lo que se traduce en más de 5.000.000 de puntos analizados.

[1] El periodo del análisis comprende los años 2016, 2017 y 2018, para cuando se disponen datos de todas las variables, cosa que permite estimar el número de camiones por cada tramo de vía analizado. Para datos observados (no estimados) se dispone de datos desde el año 2015, y con carácter informativo también se incluyen.

Solemos decir que no se puede decidir sobre lo que no podemos medir, por lo que el presente informe es también un primer paso en este sentido. La granularidad de los resultados permite analizar, tramo a tramo, el movimiento de mercancías en Cataluña. Hasta donde sabemos, es la primera vez que se analiza con tanto detalle el sector logístico catalán, y esperamos que esta información resulte de valor para una mayor y mejor toma de decisiones basadas en datos.

El documento está dividido en tres secciones. En la primera, expondremos, a través de diversos gráficos, los datos reales —proporcionados por los colaboradores del proyecto— que se utilizaron para realizar las estimaciones del modelo. A continuación, con la ayuda de diferentes figuras, presentaremos los resultados de las estimaciones del modelo, seguidas de una breve comparación entre las estimaciones y los datos reales. Finalmente, dedicaremos una sección a explicar la metodología utilizada en el desarrollo del modelo.

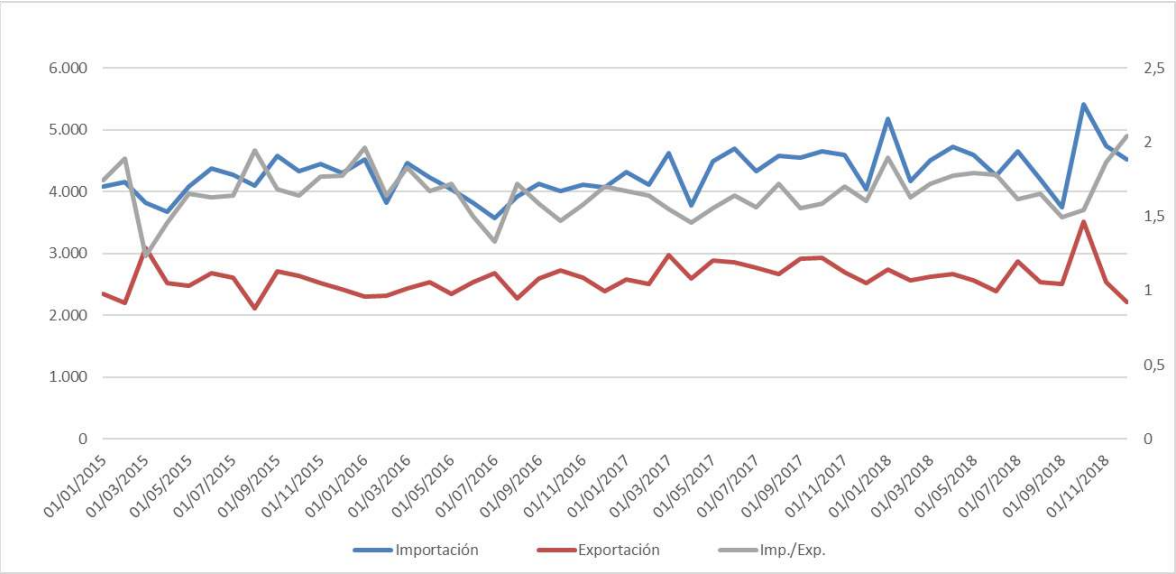
2. La balanza comercial del sector logístico de Cataluña

La balanza comercial de Cataluña recoge los intercambios de bienes entre residentes y no residentes en la comunidad autónoma[2]. Cuando los residentes compran bienes a los no residentes hablamos de importaciones, y cuando los residentes venden bienes a los no residentes hablamos de exportaciones. Para valorar la magnitud de las cifras, se han utilizado los saldos, es decir, la diferencia entre exportaciones e importaciones. Así, si las exportaciones de bienes han sido mayores que las importaciones, hablaremos de un saldo positivo en la balanza comercial o superávit. Si, por el contrario, las exportaciones han sido inferiores que las importaciones, hablaremos de un saldo negativo en la balanza comercial, y, por tanto, de déficit comercial. Aunque generalmente se valora en unidades monetarias (euros), para el propósito de este estudio se utiliza la unidad de medida de miles de toneladas exportadas o importadas.

La balanza comercial es una subpartida de la balanza por cuenta corriente. Esta última nos da una visión más completa de la competitividad exterior de una economía. Además de la balanza comercial, la balanza por cuenta corriente incluye los servicios (por ejemplo, turismo[3]), rentas primarias (por ejemplo, rentas de capital, dinero repatriado a la empresa matriz) y rentas secundarias (por ejemplo, remesas).

A continuación, la Figura 1 muestra los datos de la balanza comercial de Cataluña a nivel agregado medidos en miles de toneladas, con periodicidad mensual, durante el periodo 2015-2018. En ella se muestra que el volumen de las importaciones, en toneladas, fue superior al de las exportaciones durante el periodo analizado en ese informe. Las importaciones fueron 1,5 veces superiores a las exportaciones durante esos cuatro años, presentando, por tanto, un saldo deficitario.

Figura 1
Balanza comercial de Cataluña (2015-2018)



Fuente: Idescat. (2019). Datos del COMEST (Comercio con el extranjero). Recuperado de https://www.idescat.cat/estad/comest.

[2] El Anexo 2 presenta un listado de los productos más exportados e importados por/en Cataluña.

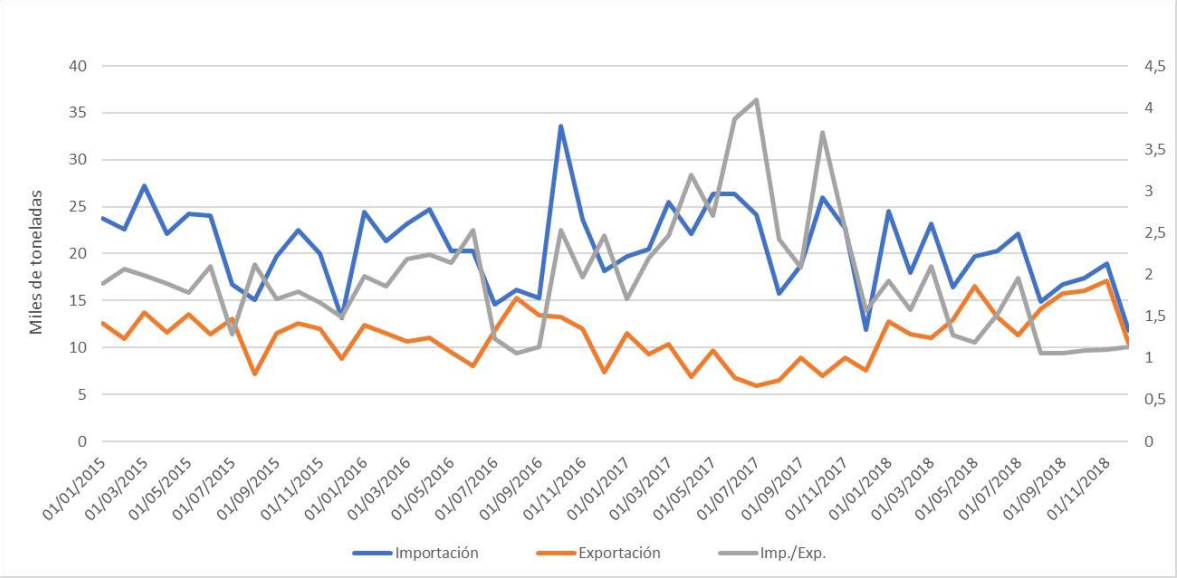
[3] Por simplificar, se mencionan solo los elementos más representativos.

2.1. Balanza comercial por tipo de modalidad de transporte

A partir de los datos anteriores, se ha procedido a desagregar la balanza comercial por modalidad de transporte. Esto nos permite diferenciar entre tipologías de transporte que tienen una mayor incidencia de exportaciones o importaciones y cuáles de ellas presentan un equilibrio entre ambas.

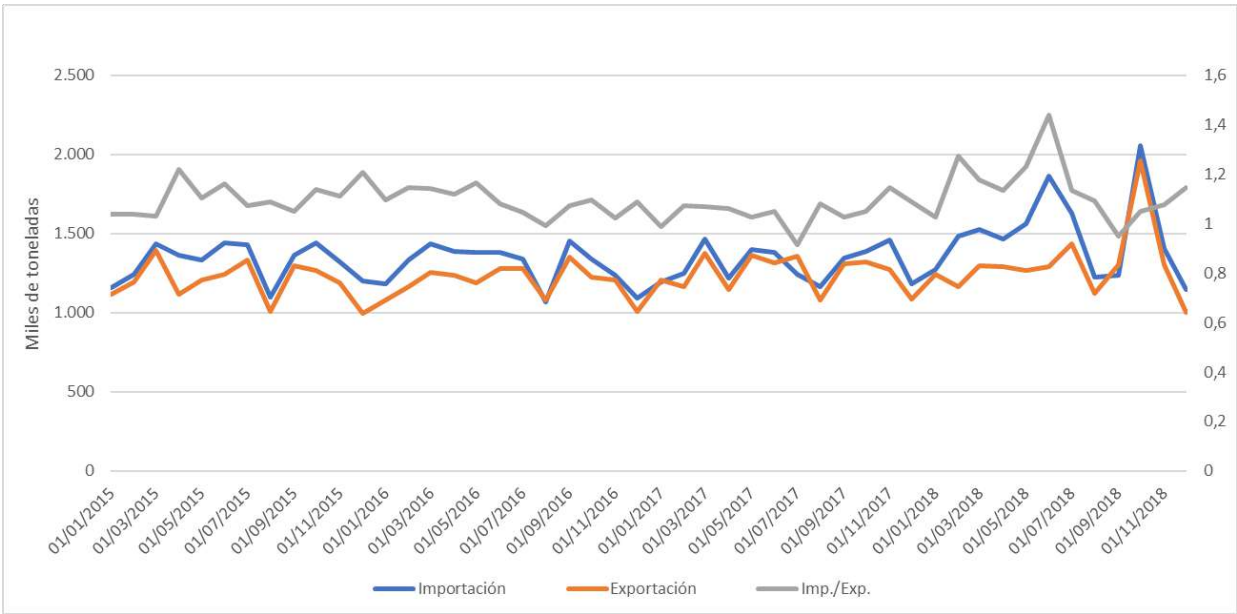
Cuando desagregamos por tipo de transporte los datos de la balanza comercial expresados en toneladas transportadas vemos que, por carretera y por aire, el volumen de importaciones y exportaciones es muy similar. Es decir, la balanza comercial de productos transportados por carretera y por aire presenta un saldo equilibrado. En el caso de los transportes ferroviario y —principalmente— marítimo, existe un mayor volumen de importaciones que de exportaciones. Durante el periodo considerado, el volumen de las importaciones en toneladas en estos dos medios de transporte ha sido, aproximadamente, el doble que el de las exportaciones.

Figura 2
Transporte por ferrocarriles en Cataluña (2015-2018)



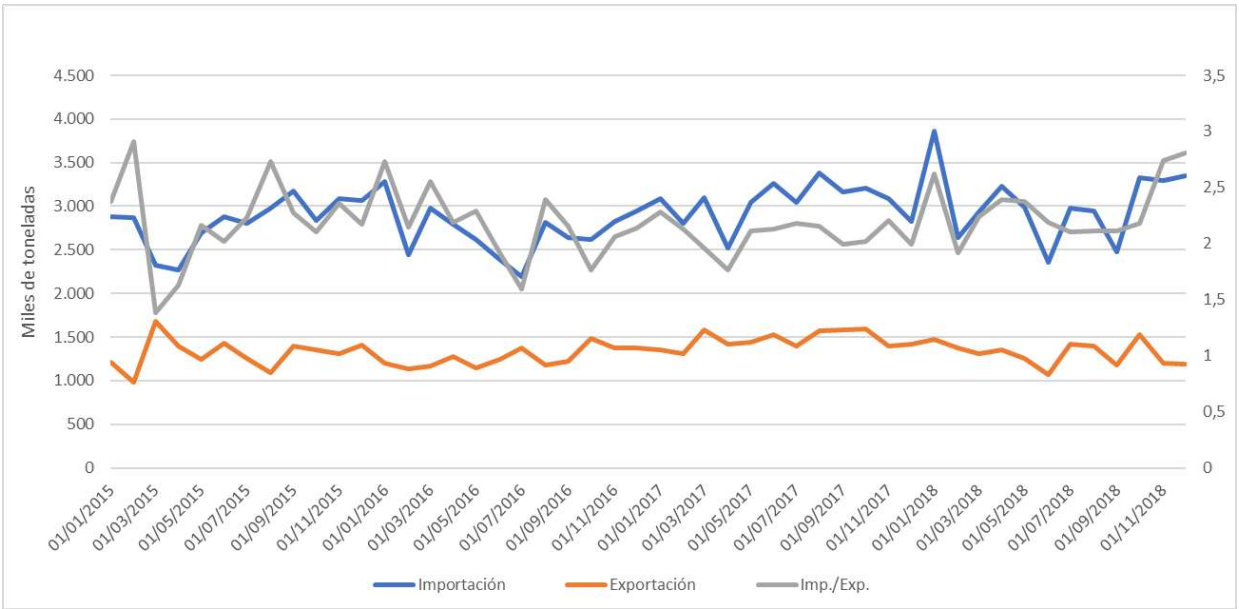
Fuente: Idescat. (2019). Datos del COMEST (Comercio con el extranjero). Recuperado de https://www.idescat.cat/estad/comest.

Figura 3
Transporte por carretera en Cataluña (2015-2018)



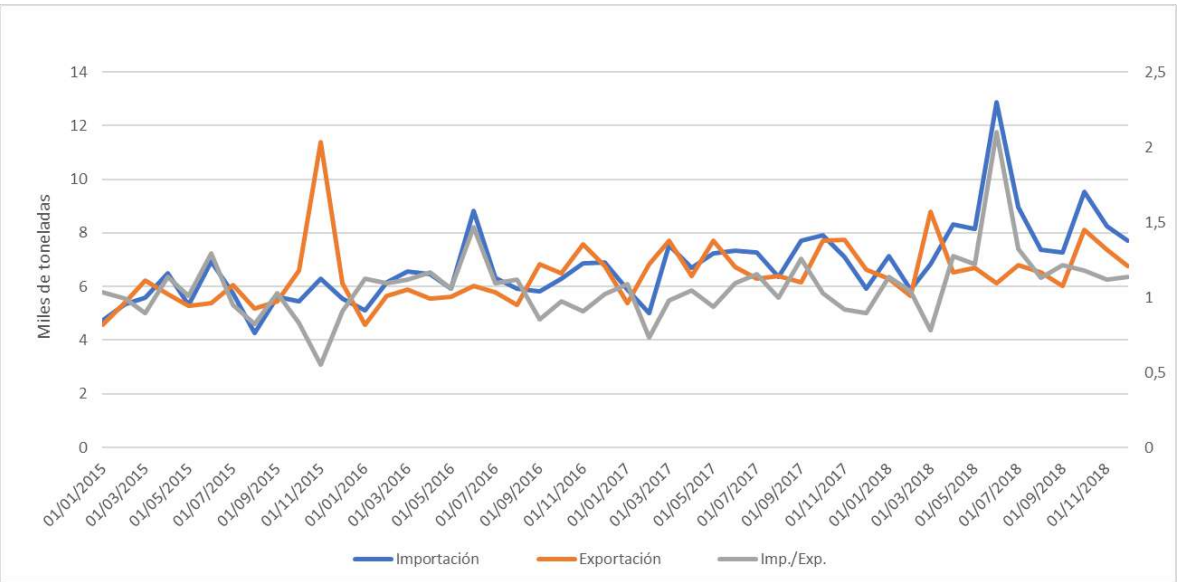
Fuente: Idescat. (2019). Datos del COMEST (Comercio con el extranjero). Recuperado de https://www.idescat.cat/estad/comest.

Figura 4
Transporte marítimo en Cataluña (2015-2018)



Fuente: Idescat. (2019). Datos del COMEST (Comercio con el extranjero). Recuperado de https://www.idescat.cat/estad/comest.

Figura 5
Transporte aéreo en Cataluña (2015-2018)

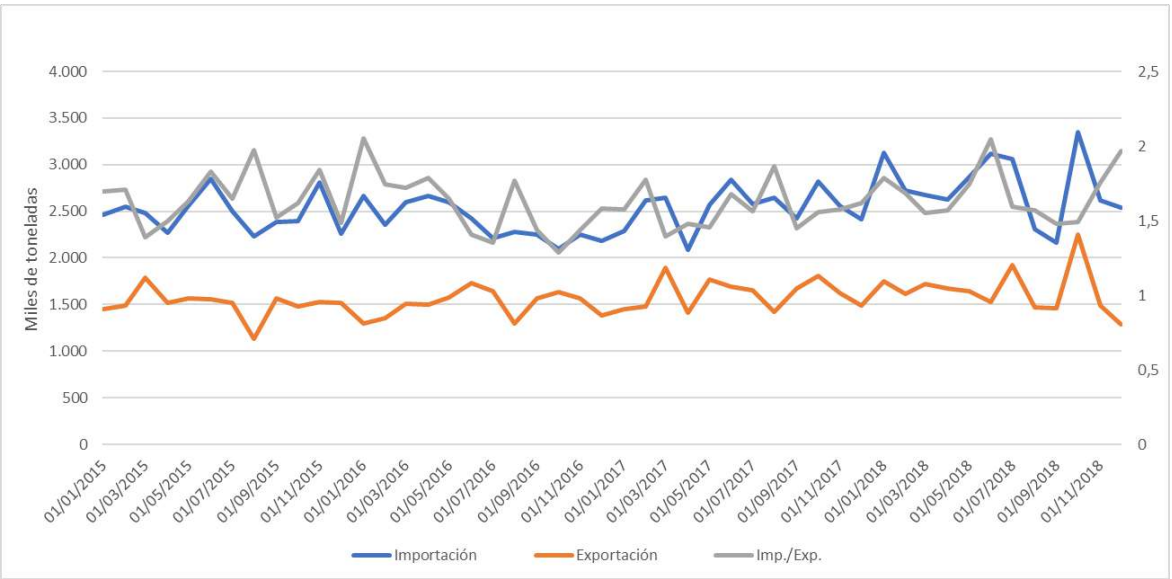


Fuente: Idescat. (2019). Datos del COMEST (Comercio con el extranjero). Recuperado de https://www.idescat.cat/estad/comest.

2.2. Balanza comercial por provincias catalanas

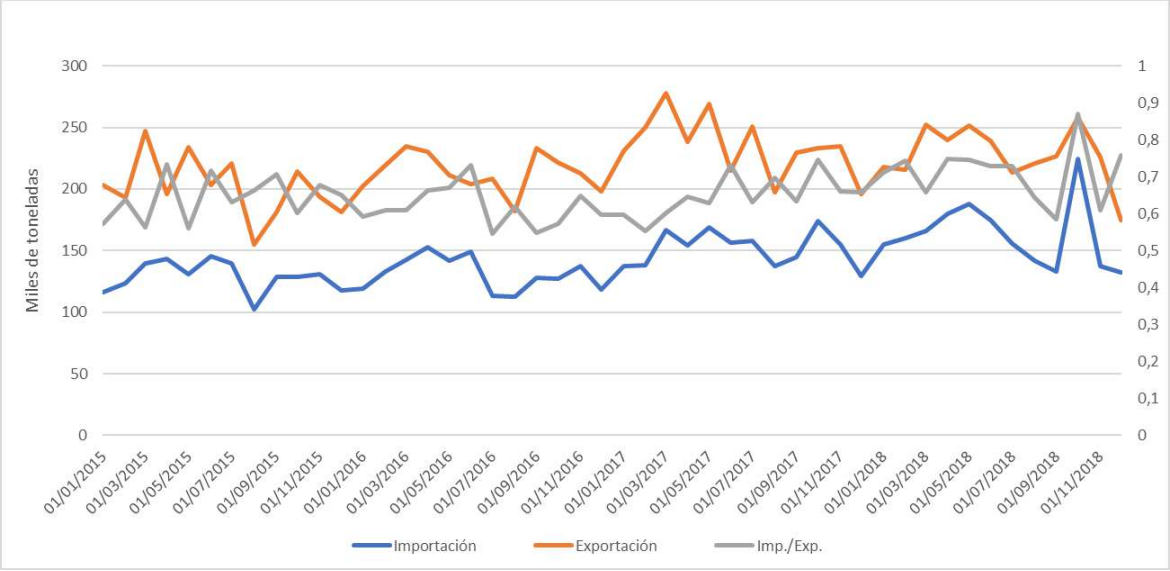
En tercer lugar, hemos desagregado la balanza comercial por provincias. Si observamos los datos reales disponibles de la balanza comercial de las cuatro provincias que componen Cataluña, vemos que mientras que Barcelona y Tarragona (ambas con puertos importantes) presentan el mismo patrón del escenario agregado catalán, es decir, las importaciones superan a las exportaciones en toneladas, Gerona y Lérida (sin acceso al mar) muestran una evolución opuesta. En las dos últimas provincias, la balanza comercial medida en toneladas se invierte y presenta un saldo de superávit.

Figura 6
Balanza comercial de Barcelona (2015-2018)



Fuente: Idescat. (2019). Datos del COMEST (Comercio con el extranjero). Recuperado de https://www.idescat.cat/estad/comest.

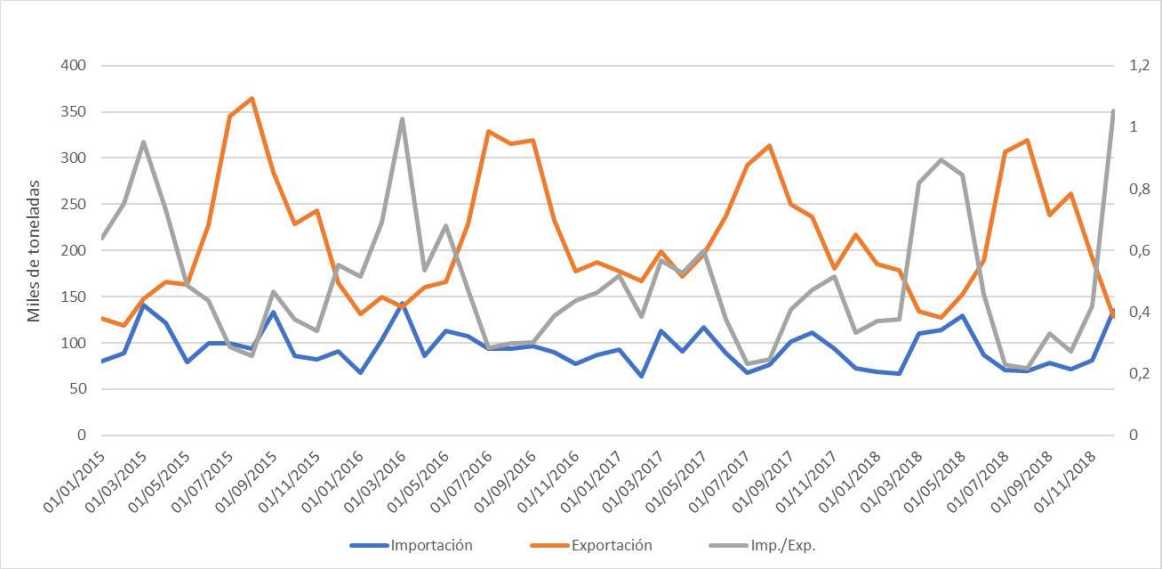
Figura 7
Balanza comercial de Gerona (2015-2018)



Fuente: Idescat. (2019). Datos del COMEST (Comercio con el extranjero). Recuperado de https://www.idescat.cat/estad/comest.

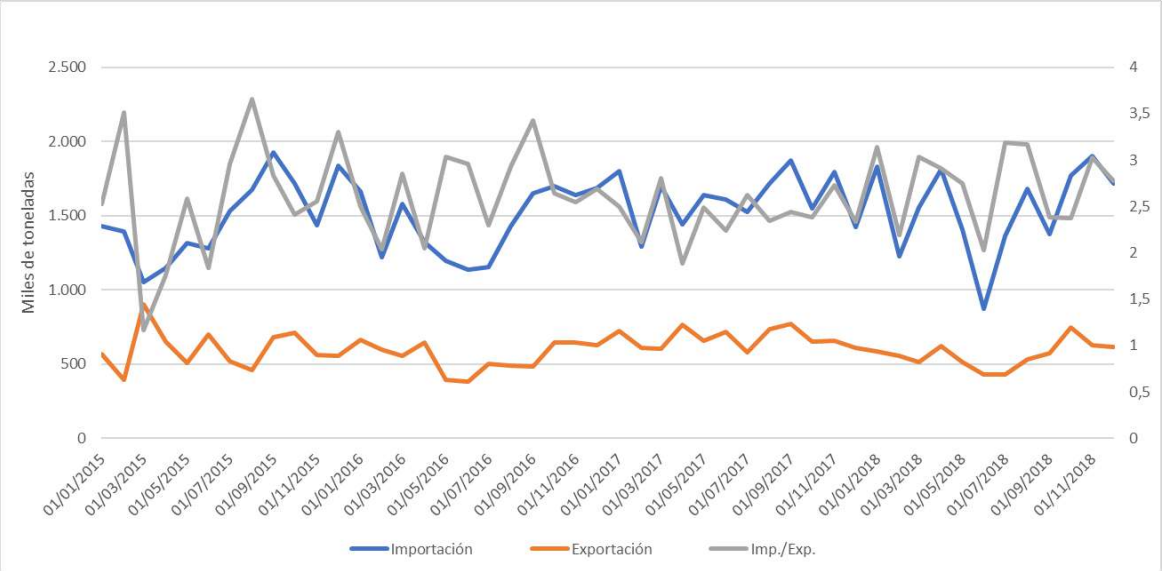
Si nos fijamos en el caso de Lérida, se observa que las exportaciones siguen una evolución cíclica que puede venir marcada por la importancia del sector agrícola de la provincia. En los cuatro años observados, que analizamos durante el segundo trimestre del año, el nivel de toneladas que salen de la provincia crece en más de un 100%, y durante el cuarto trimestre el volumen de exportaciones cae a niveles cercanos a la cifra inicial.

Figura 8
Balanza comercial de Lérida (2015-2018)



Fuente: Idescat. (2019). Datos del COMEST (Comercio con el extranjero). Recuperado de https://www.idescat.cat/estad/comest.

Figura 9
Balanza comercial de Tarragona (2015-2018)



Fuente: Idescat. (2019). Datos del COMEST (Comercio con el extranjero). Recuperado de https://www.idescat.cat/estad/comest.

3. Análisis en detalle: autopistas AP-2 y AP-7

En esta sección presentamos gráficamente el número de camiones que circulan a diario por las carreteras bajo la gestión de la concesionaria Abertis. Dicha concesionaria gestiona en Cataluña la AP-2, que transcurre (en términos generales) entre Barcelona y Lérida, y tiene como destino final Zaragoza y la AP-7, que transcurre entre la frontera francesa (La Junquera) y Alcanar, y continúa en dirección Valencia hasta Algeciras.

En las figuras que siguen podemos observar que el volumen de camiones que entran y salen de Cataluña sigue un patrón consistente en los tres últimos años, independientemente de la zona de entrada / salida analizada, salvo raros valores atípicos en días excepcionales debidos a accidentes o condiciones meteorológicas adversas que obligan a cerrar las carreteras secundarias y concentran todos los vehículos en las carreteras principales.

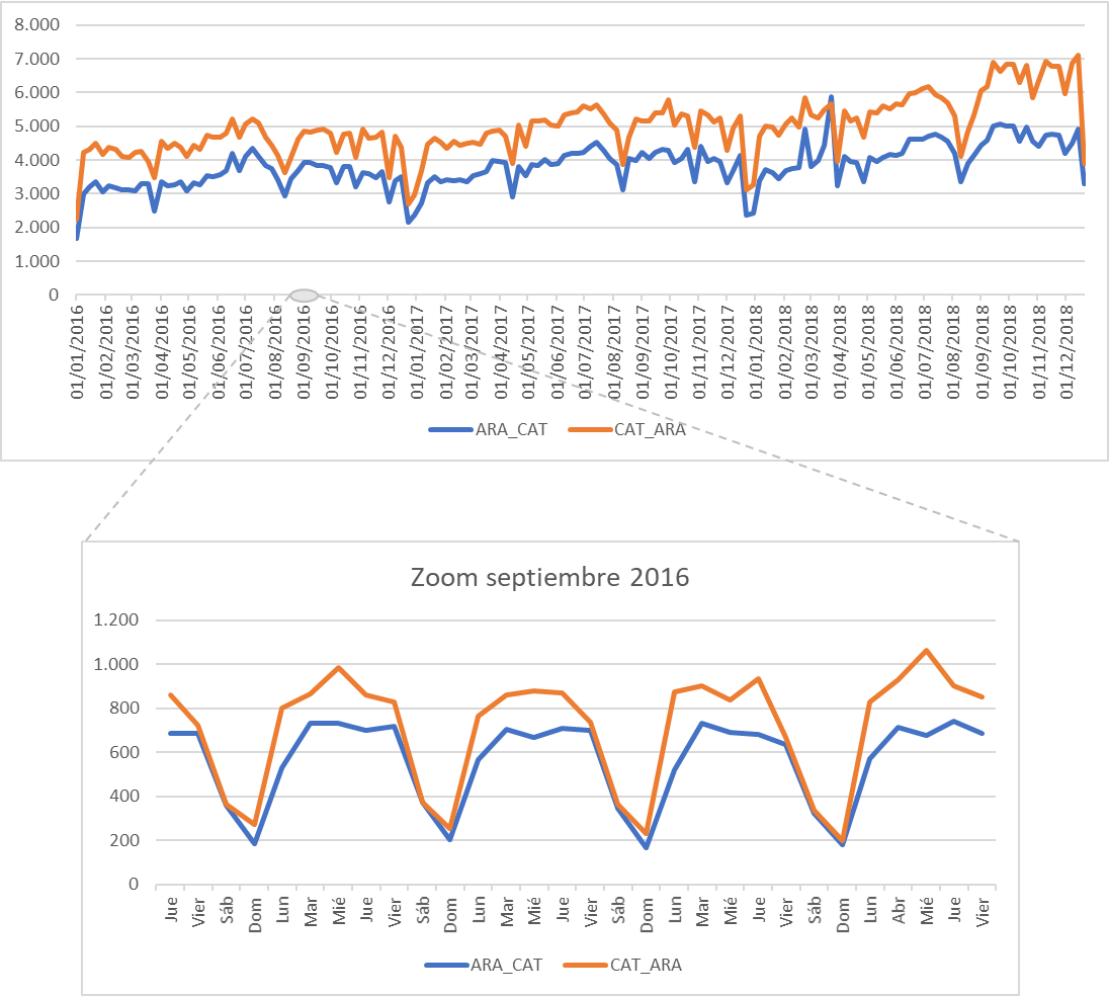
En la Figura 10 se observa que el número de camiones que circulan entre Cataluña y Aragón varía (en días laborables) desde alrededor de 4.000 vehículos semanales por dirección a principios del año 2016 hasta 6.000 a finales del 2018.

Si se analiza con detalle un periodo más corto, se puede ver la caída de tráfico por la autopista AP-2 en sábado y, especialmente, en domingo.

A excepción del 23 de julio del 2018, el número de camiones en sentido Aragón ha sido mayor que en sentido contrario.

A su vez, la caída anual del tráfico en periodos vacacionales de invierno destaca sobre la caída en periodos estivales.

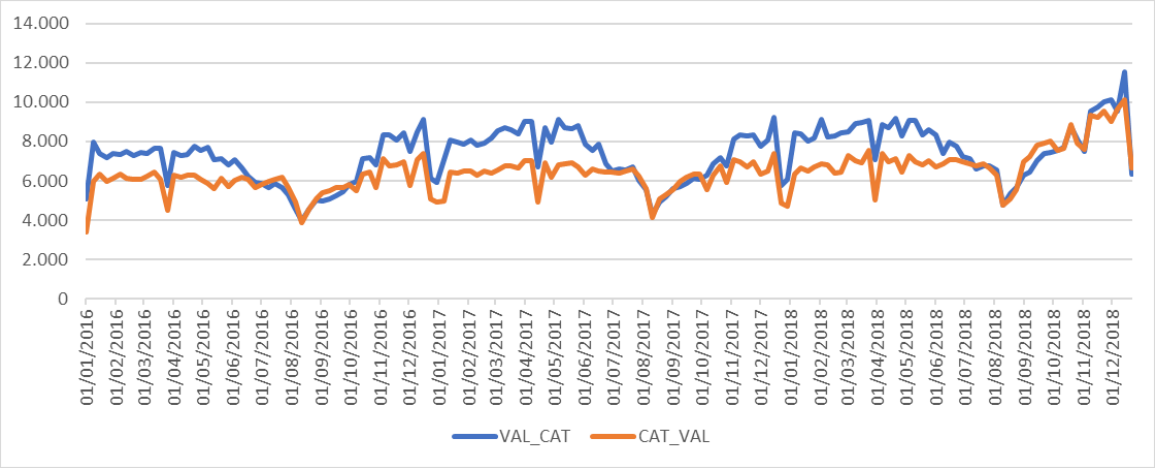
Figura 10
Número total de camiones por semana entre Cataluña y Aragón AP-2 (2016-2018)



Fuente: Abertis. (2019). Datos proporcionados por la empresa.

En la **Figura 10** ampliada podemos observar que el volumen de tráfico en la AP-2 sigue un patrón semanal. Cada fin de semana, la cantidad de camiones en circulación desciende, aproximadamente, un 70%.

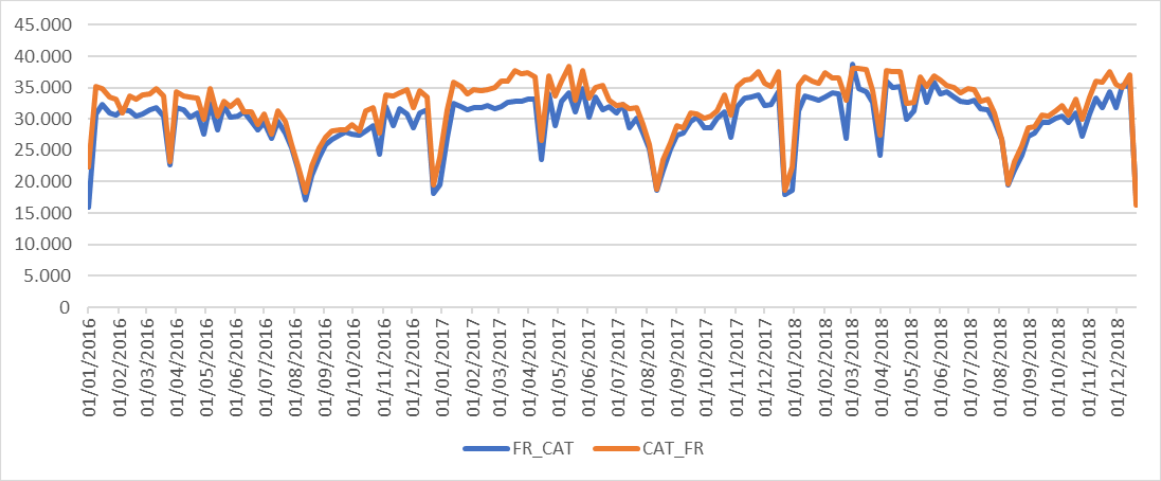
Figura 11
Número total de camiones por semana entre Cataluña y Valencia AP-7 (2016-2018)



Fuente: Abertis. (2019). Datos proporcionados por la empresa.

Las **Figuras 11** y **12** permiten observar que el volumen de tráfico es más de cuatro veces más intenso en sentido Francia que en sentido Valencia.

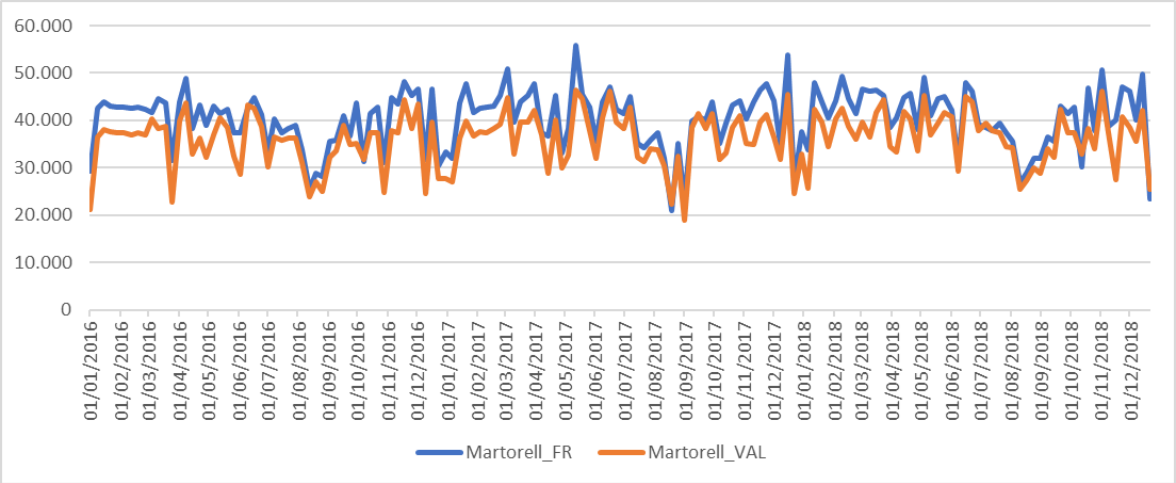
Figura 12
Número total de camiones por semana entre Cataluña y Francia AP-7 (2016-2018)



Fuente: Abertis. (2019). Datos proporcionados por la empresa.

La **Figura 12,** por su parte, muestra un paso medio de alrededor de 30.000 camiones semanales por dirección a lo largo del periodo con una tendencia creciente y especiales caídas en las vacaciones de verano, no tanto a final de año como en la figura anterior.

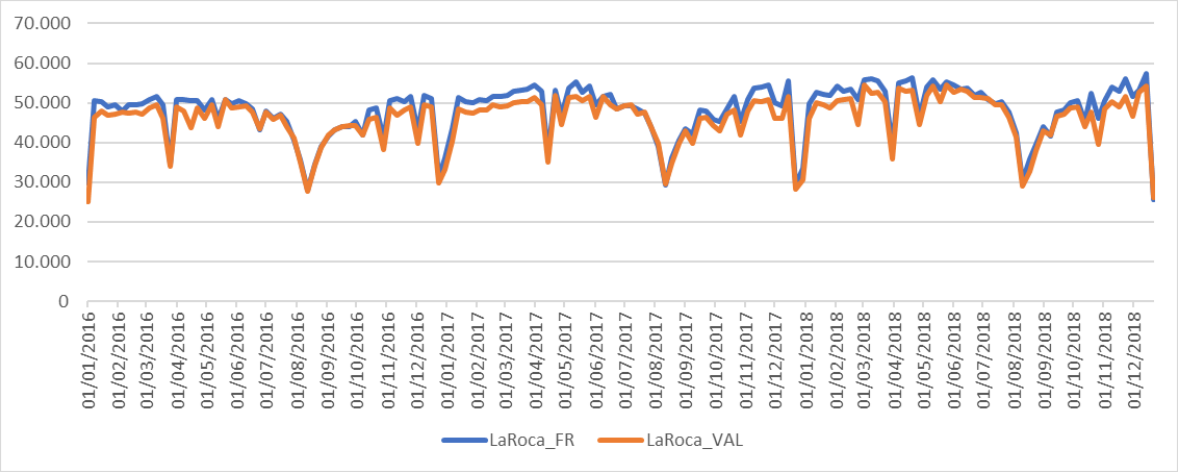
Figura 13
Número total de camiones por semana desde Martorell hacia Francia y Valencia (2016-2018)



Fuente: Abertis. (2019). Datos proporcionados por la empresa.

En la Figura 14 se puede observar que el tráfico es ligeramente mayor desde La Roca del Vallés (población cercana a Granollers) hacia Francia que, hacia Valencia, con cifras que alcanzaron, los 50.000 vehículos semanales.

Figura 14
Número total de camiones por semana desde La Roca hacia Francia y Valencia (2016-2018)



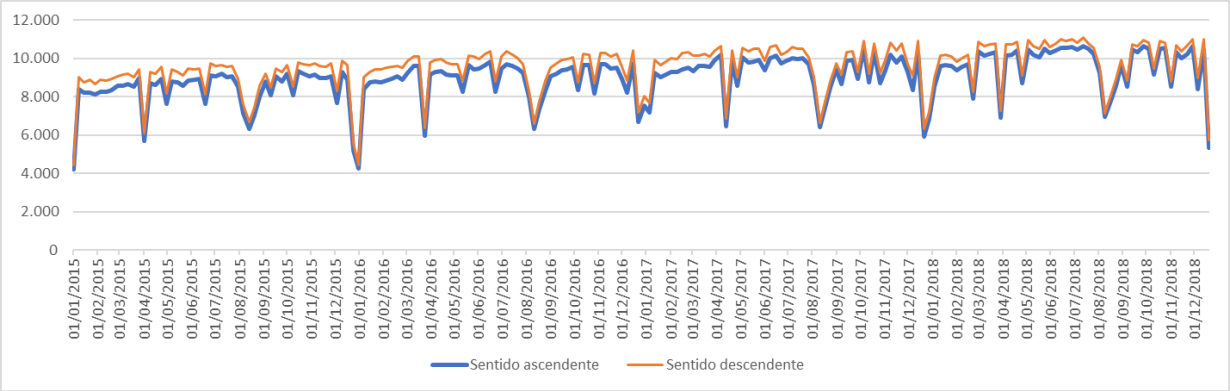
Fuente: Abertis. (2019). Datos proporcionados por la empresa.

Además, se constata que, al menos desde el 2016 hasta finales del 2018, el número de camiones que circulan ha aumentado ligeramente, y cada enero y agosto se produce un descenso del movimiento, coincidiendo con los periodos festivos locales.

4. Análisis en detalle: carreteras C-16, C-17, C-25 y C-35

A continuación, presentamos los datos procedentes de la concesionaria Cedinsa, de la que obtuvimos información para todas las estaciones de aforos de camiones en las carreteras C-16 (Eix del Llobregat, que va aproximadamente desde Barcelona hasta Bellver de Cerdanya, pasando por Berga); C-17 (Eix del Congost, que une Barcelona con Ripoll); C-25 (Eix Transversal, que une Cervera con Riudellots de la Selva, donde se encuentra el aeropuerto de Gerona) y C-35 (que va de Llagostera a Llinars). Como no es posible seguir la trayectoria de los camiones que han pasado por al menos un tramo de una de estas cuatro carreteras, el número de camiones considerado para las figuras que se muestran a continuación es la media de vehículos que ha pasado por las estaciones de aforos por carretera.

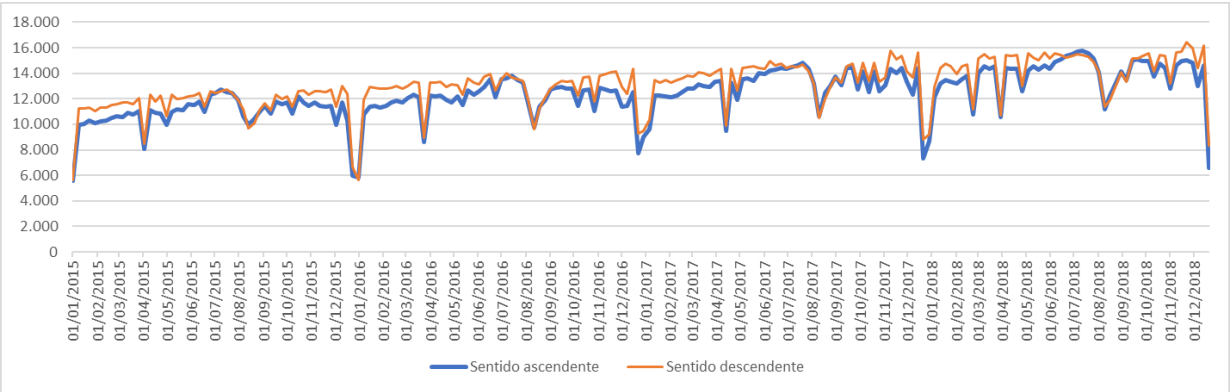
Figura 15
Número total de camiones por semana en la C-17 (2015-2018)



Fuente: Cedinsa. (2019). Datos proporcionados por la empresa.

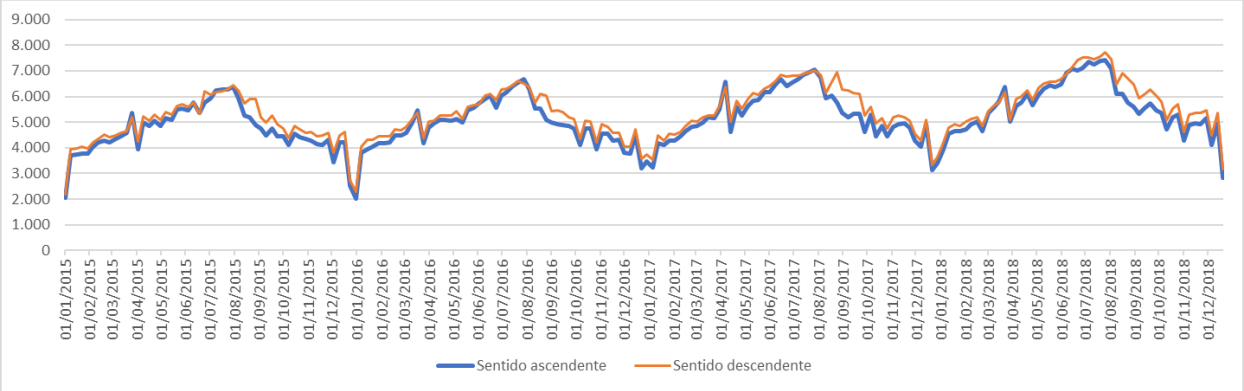
Tanto en la Figura 15 como en la Figura 16 se observa un mayor volumen de tráfico ascendente en sentido Francia.

Figura 16
Número total de camiones por semana en la C-25 (2015-2018)



Fuente: Cedinsa. (2019). Datos proporcionados por la empresa.

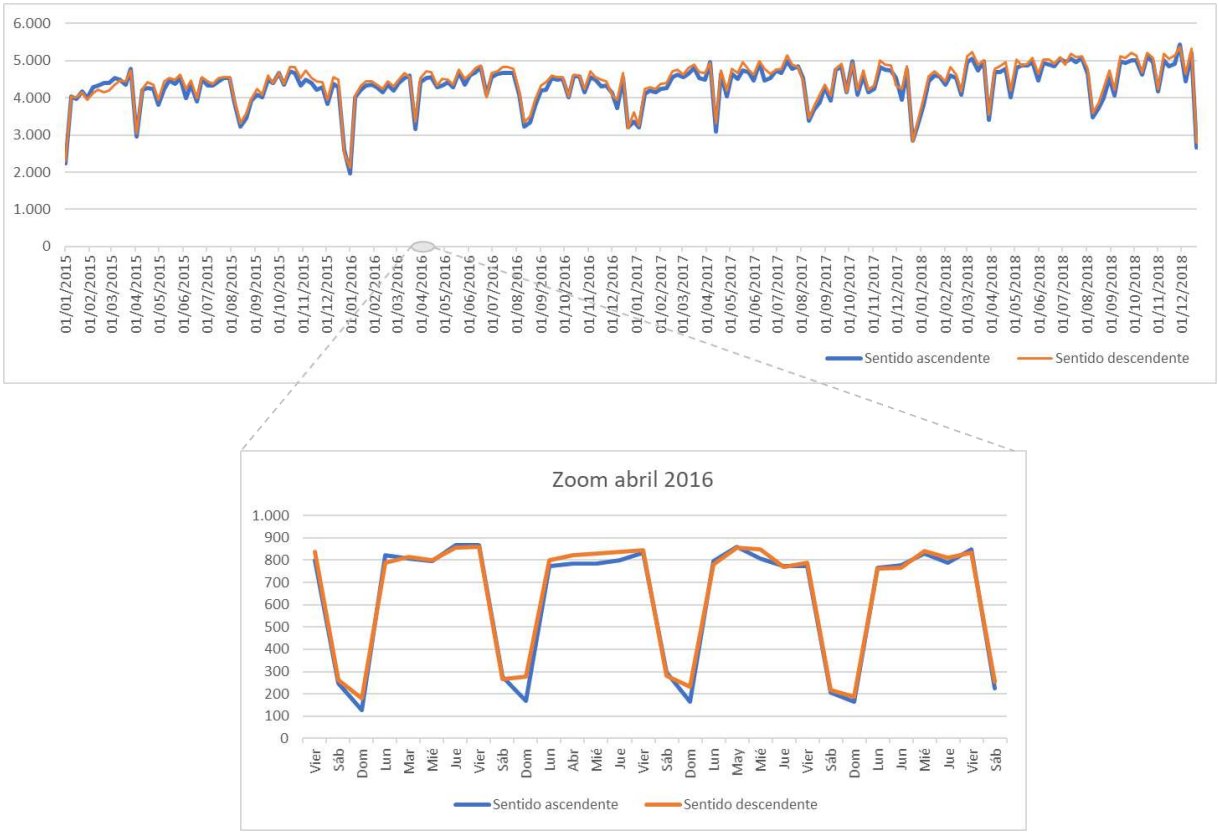
Figura 17
Número total de camiones por semana en la C-35 (2015-2018)



Fuente: Cedinsa. (2019). Datos proporcionados por la empresa.

En las figuras basadas en los datos facilitados por Cedinsa vemos el mismo patrón de movimiento de camiones que se observó en la AP-7 y AP-2, es decir, un nivel constante con una ligera tendencia al alza (intensa en el caso de la C-25) durante los últimos años y caídas estacionales en enero y agosto, debido a las vacaciones nacionales.

Figura 18
Número total de camiones por semana en la C-16 (2015-2018)



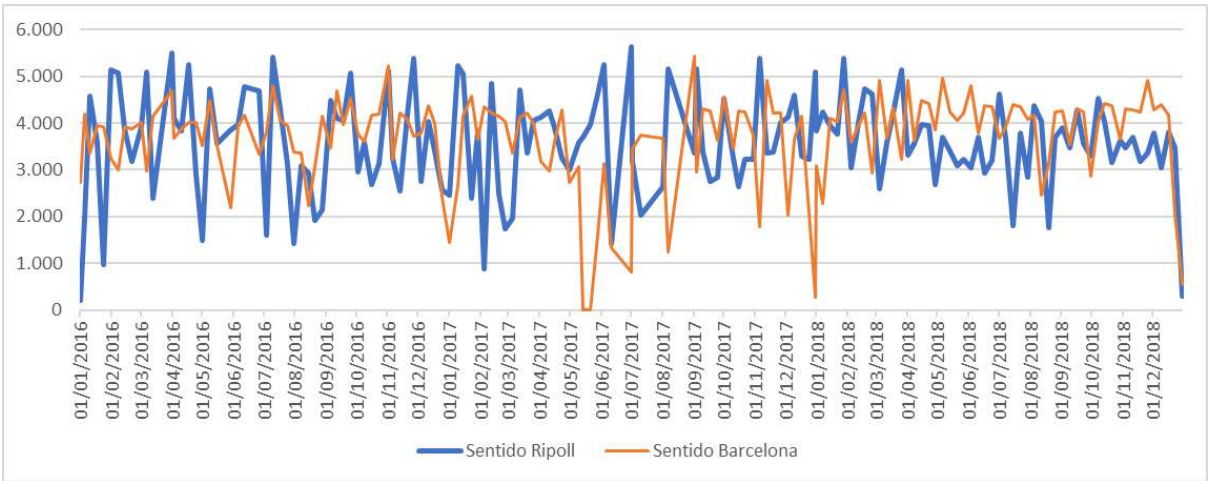
Fuente: Cedinsa. (2019). Datos proporcionados por la empresa.

La Figura 18 reitera el patrón semanal ya observado de movimiento de camiones en las carreteras. Tanto en las vías controladas por Abertis como en las que controla Cedinsa, el porcentaje de camiones circulando cae alrededor del 70% durante los fines de semana.

5. Análisis en detalle: estaciones de aforo

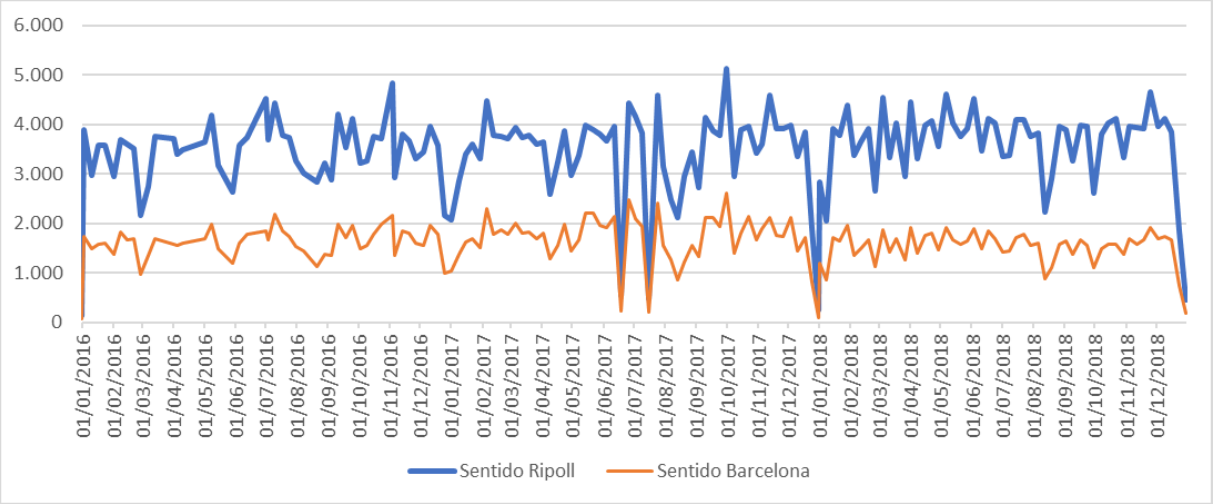
Otra fuente de datos utilizada sobre el movimiento de vehículos de carga dentro de Cataluña han sido los 39 contadores de camiones instalados en las carreteras gestionadas por la Generalitat de Catalunya, o sea, por la Administración Pública. Algunos de los datos procedentes de esta fuente faltaban o estaban reportados de forma errónea. Sin embargo, gracias a la gran cantidad de reportes de las estaciones de aforo que evolucionaron de forma consistente observamos que las estaciones en las que ha habido mayor circulación de camiones son las que se encuentran en el tramo de Barcelona a Ripoll.

Figura 19
Número medio de camiones por semana estimado. Estación de aforo 17-308 (2016-2018)



Fuente: Generalitat de Catalunya. (2019). Datos proporcionados por la *Secretaria de Territori i Mobilitat*.

Figura 20
Número medio de camiones por semana estimado. Estación de aforo 105-08 (2016-2018)



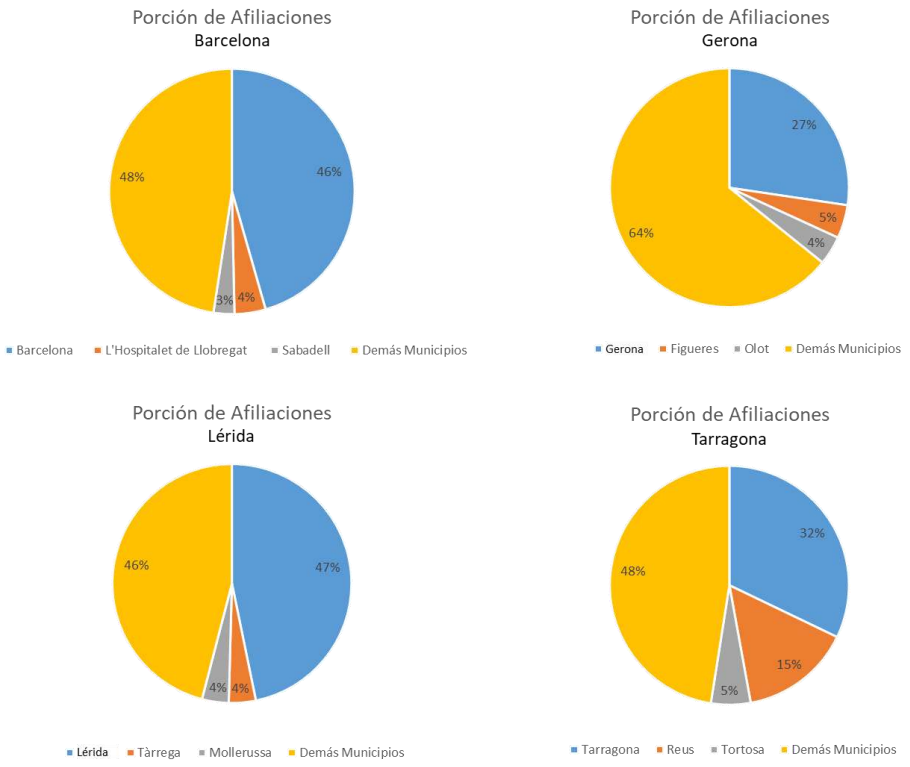
Fuente: Generalitat de Catalunya. (2019). Datos proporcionados por la *Secretaria de Territori i Mobilitat*.

En las figuras de las estaciones de aforos gestionados por la Generalitat de Catalunya, encontramos el mismo patrón que en los caminos mostrados antes según las otras dos fuentes de datos: uso constante de la carretera, pero con movimiento reducido durante los periodos vacacionales; en este caso, principalmente alrededor de agosto.

6. Análisis en detalle: afiliados a la Seguridad Social, 2018

La última base de datos con datos reales (observados) utilizada para la construcción y calibración del modelo fue la del número de afiliados a la Seguridad Social de todos los municipios de Cataluña. Los datos pueden dividirse entre las cuatro provincias: Barcelona, Gerona, Lérida y Tarragona.

Figura 21
Afiliados a la Seguridad Social en las cuatro provincias de Cataluña el 2018



Fuente: Idescat. (2019). *Datos del EMEX (El municipio en cifras).* Recuperado de https://www.idescat.cat/emex.

En la **Figura 21** vemos que, en la mayoría de los casos, más del 50% de la población trabaja en los tres principales municipios de cada provincia. El caso de Gerona es la excepción, ya que los municipios de Gerona, Figueras y Olot juntos representan solo el 36% del total de afiliados a la Seguridad Social de la provincia.

7. Resultados de la modelización del sector logístico en Cataluña

Hasta el momento los resultados presentados se han basado en datos reales (observados). Estos datos reales se han utilizado para construir un modelo que permitirá obtener datos estimados acerca del movimiento de mercancías dentro de Cataluña, tramo a tramo, ya que no existe hasta el momento un seguimiento del recorrido de los camiones.

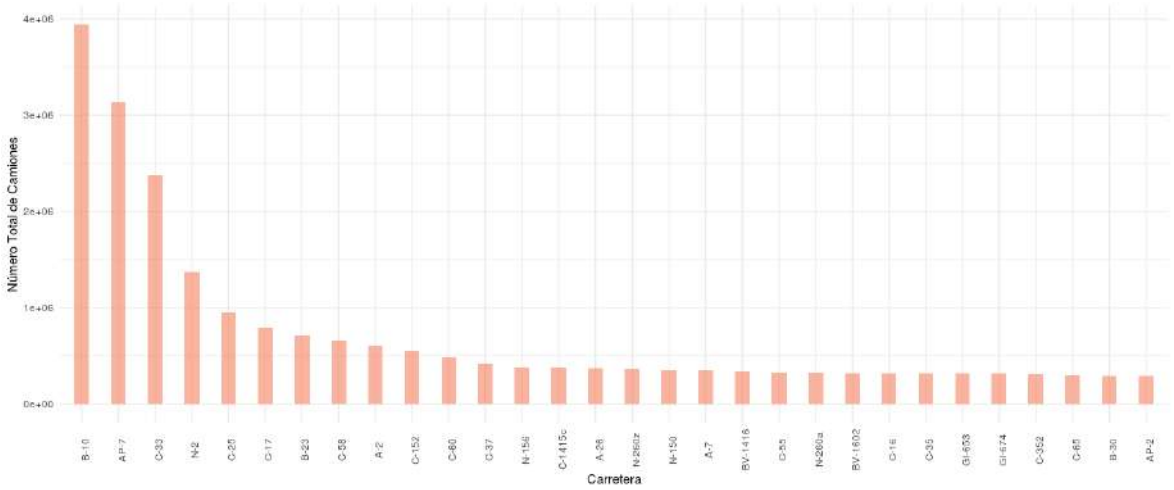
A continuación, se analiza el resultado de los datos estimados a partir del modelo (construido con datos observados).

Iniciaremos el análisis con los *rankings* de las carreteras y de los tramos de estas vías con mayor tráfico estimado. Las clasificaciones se han hecho en orden decreciente sobre los siguientes datos:

- Número total de camiones estimados entre el 2016 y el 2018.
- Promedio del número total de camiones estimado entre el 2016 y el 2018.

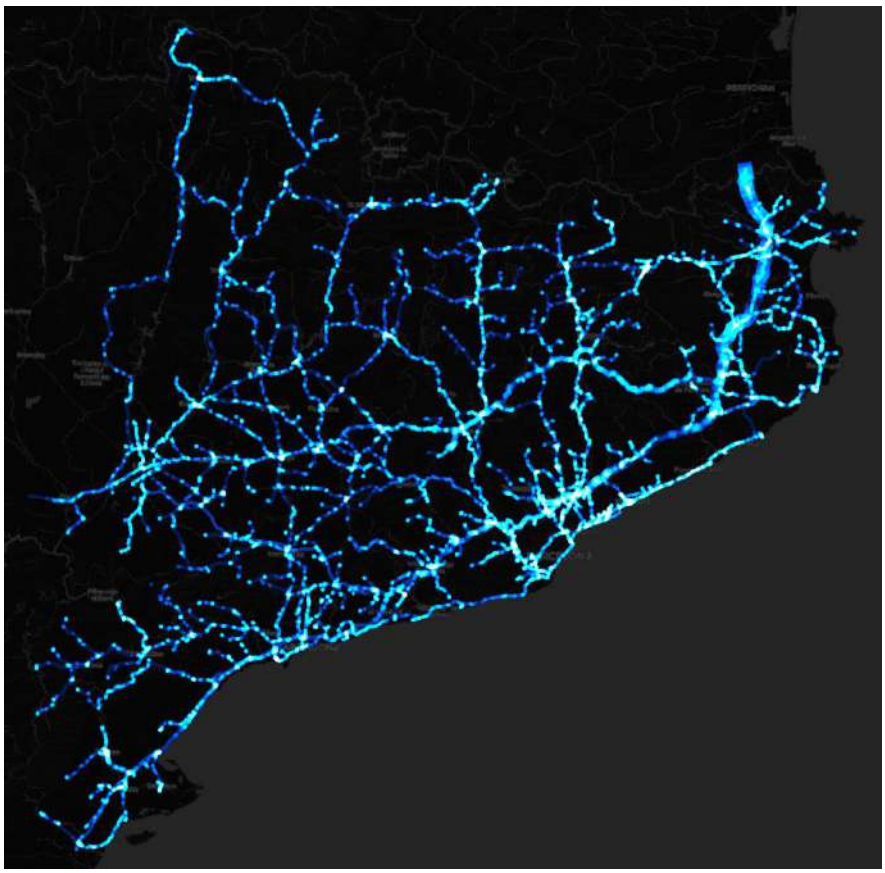
En las siguientes figuras veremos los treinta primeros de cada *ranking*.

Figura 22
***Ranking* de carreteras por número total de camiones estimados**



Fuente: Elaboración propia.

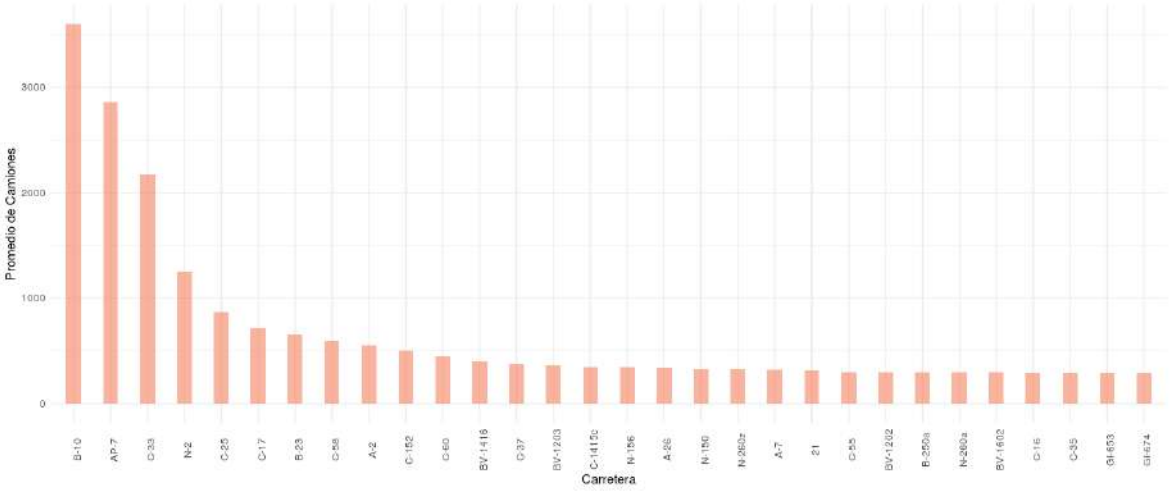
Mapa 1
Densidad de carreteras por número total de camiones estimados



Fuente: Elaboración propia. Más brillante mayor intensidad de tráfico.

Uno de los resultados más importantes del modelo es que el tráfico se concentra de forma muy clara en las cuatro primeras posiciones en una distribución cuasiexponencial. Esto significa que mucho del tráfico interno de mercancías tiene especial presencia en vías como la B-10 (Ronda Litoral de Barcelona), la AP-7, la C33 y la N-2.

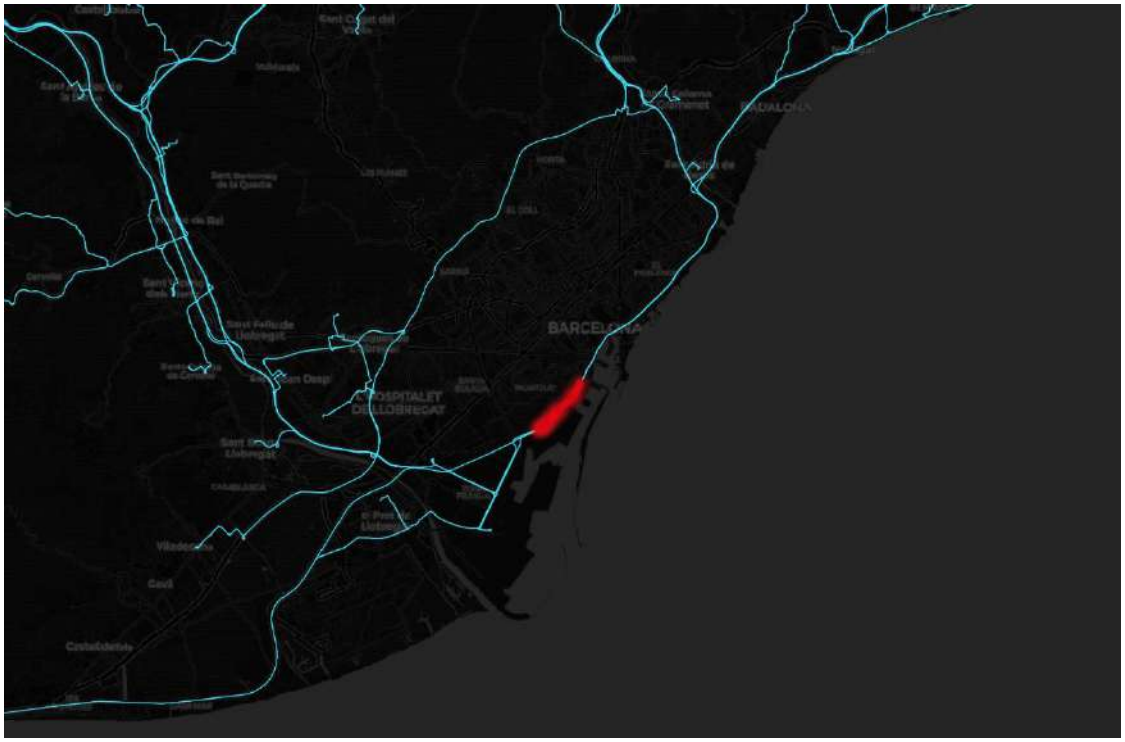
Figura 23
***Ranking* de las carreteras por número promedio de camiones estimados**



Fuente: Elaboración propia.

Tal como puede observarse, los tramos con un mayor promedio de camiones corresponden a la vía B-10 (ronda litoral de Barcelona). En concreto, los tramos marcados en el siguiente mapa:

Mapa 2
Densidad de los tramos por número promedio de camiones estimados

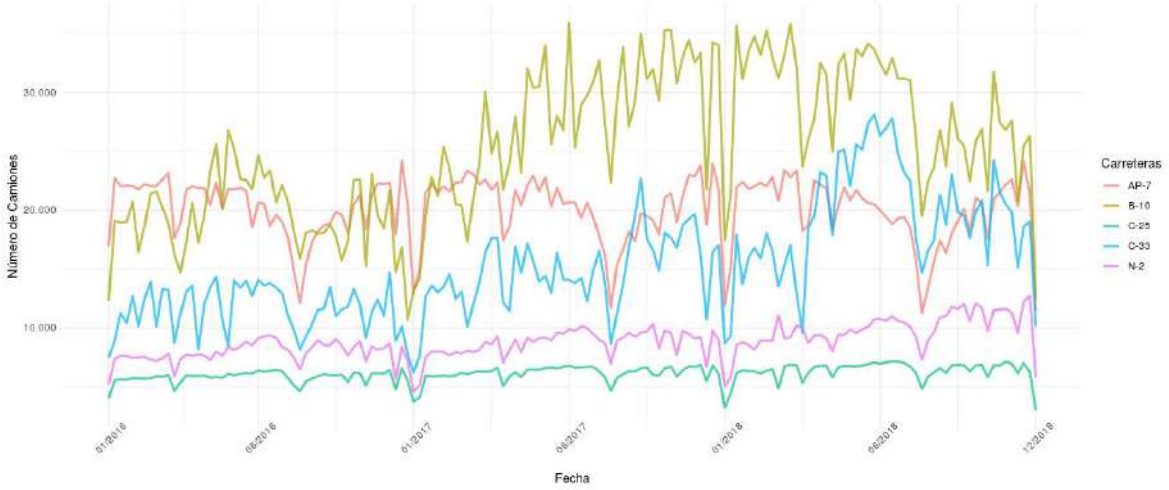


Fuente: Elaboración propia. Más brillante mayor intensidad de tráfico.

Si en lugar de fijarnos en el promedio de estos tramos de vía lo hacemos en el número total de camiones, los siete tramos correspondientes a la B-10 acumulan cada uno más de 5.000.000 de camiones durante el periodo 2016-2018.

A continuación, tras analizar el *ranking* de las carreteras por número promedio y total de camiones estimados, donde los cinco primeros puestos son B-10, AP-7, C-33, N-2 y C-25, veremos con más detalle el comportamiento temporal de la circulación de estas carreteras durante el periodo analizado.

Figura 24
Número semanal estimado de camiones de las cinco principales carreteras



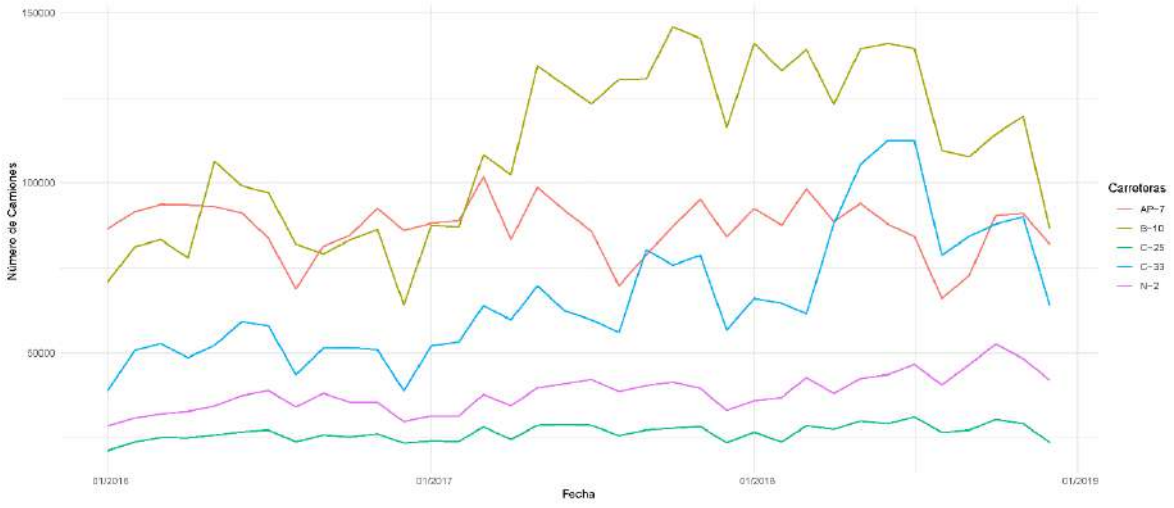
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 24 se puede observar la evolución temporal del tráfico logístico de las cinco principales vías de comunicación. Como en los casos anteriores, la B-10 destaca sobre el resto de vías, especialmente entre el 2017 y mediados del 2018. Previamente, entre el 2016 y el 2017, los números de la B-10 eran relativamente similares a los de la AP-7. En contraste, a partir de mediados del 2018 la C-33 toma especial importancia, aunque siempre por debajo de los valores de la B-10. La N-2, en la cuarta posición, tiene valores cercanos a los 7.000 camiones semanales en 2016, pero en 2018 los valores giran en torno a los 10.000 camiones semanales. Finalmente, la C-25 se mantiene en la quinta posición, siguiendo la misma tendencia de la N-2 pero con un valor máximo cercano a los 7.000 camiones semanales.

Teniendo en cuenta que los datos semanarios pueden ser muy variables y dificultar su visualización, hemos agregado inicialmente los resultados mensuales. Gracias a ello podemos ver que la B-10 cobra especial importancia a partir de principios del 2017 y decae a mediados del 2018. En contraposición, la C-33, que partía de valores inferiores en el 2016, se erige como la segunda vía más transitada en el 2018, con elevados picos durante la primavera de ese año. La N-2 y la C-25 también siguen una tendencia ascendente, aunque a menor velocidad. Finalmente, la AP-7 se mantiene relativamente estable a lo largo de los años, con valores que oscilan entre los 7.000 y los 10.000 camiones mensuales.

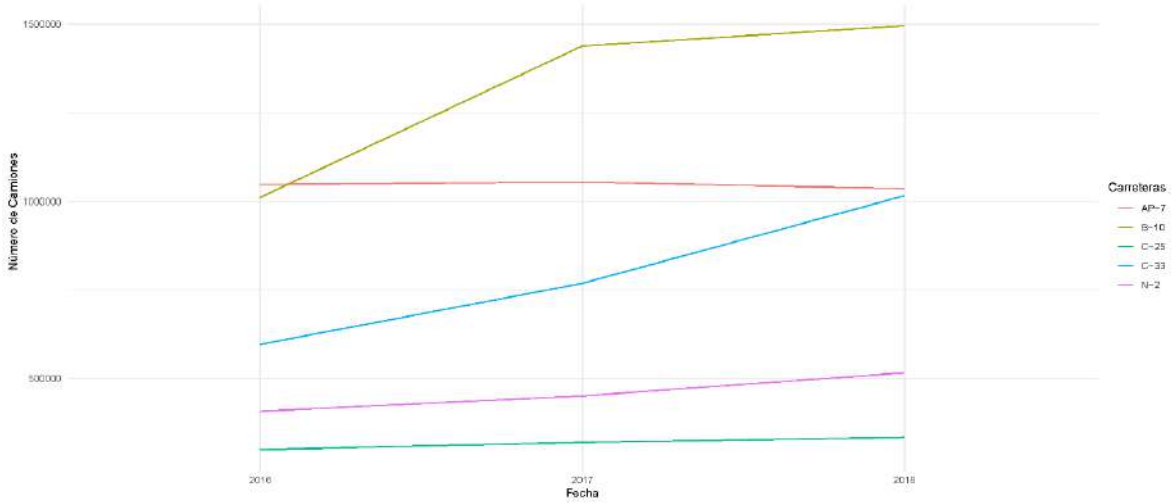
Estos mismos resultados pueden ser observados con mayor claridad en la figura que muestra los datos agregados por año.

Figura 25
Número mensual estimado de camiones de las cinco principales carreteras



Fuente: Elaboración propia.

Figura 26
Número anual estimado de camiones de las cinco principales carreteras



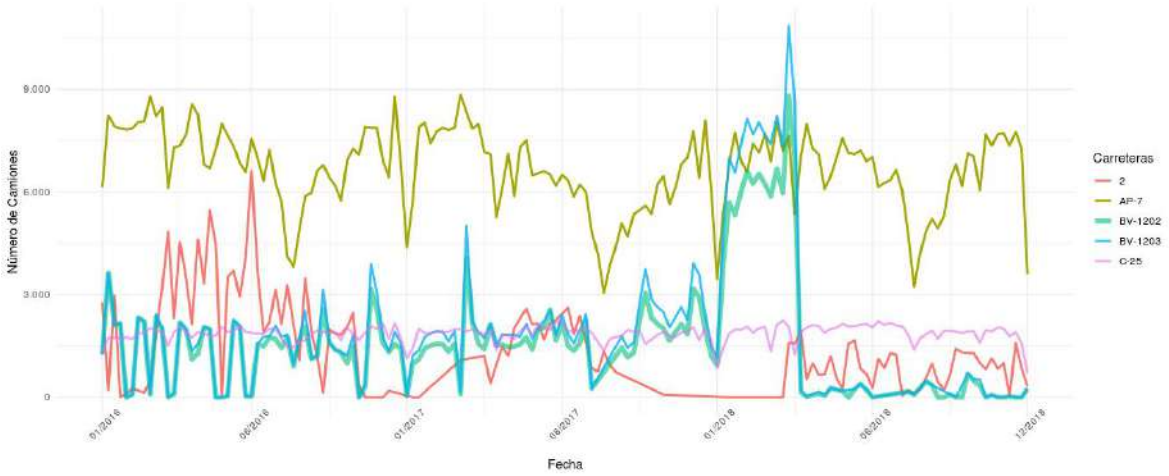
Fuente: Elaboración propia.

8. Entradas y salidas por las vías catalanas

A continuación, presentamos las estimaciones de entradas y salidas de camiones por las cinco principales vías de entrada y salida catalanas, que son Francia, Aragón, Valencia, el Port de Tarragona y el Port de Barcelona. Para cada una de estos puntos de entrada y salida mostraremos la evolución de las cinco carreteras principales que conectan estos puntos de importación y exportación con Cataluña.

Figura 27

Número estimado de camiones que se dirigen a Francia por las cinco principales carreteras

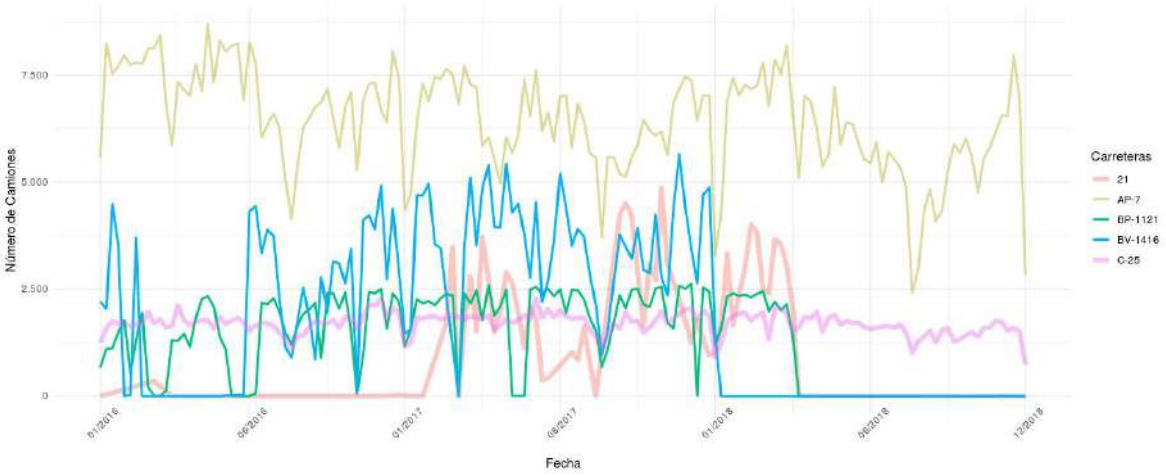


Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 27 se puede observar que la mayoría de camiones con destino a Francia lo hacen a través de la AP-7. Cabe destacar el pico de la BV-1203 y de la BV-1202 durante el primer trimestre del 2018, y la caída de la segunda a partir de 2017. Por otro lado, la C-25 se mantiene relativamente estable a lo largo del tiempo, por debajo de los 3.000 camiones semanales.

Figura 28

Número estimado de camiones que vienen de Francia por las cinco principales carreteras

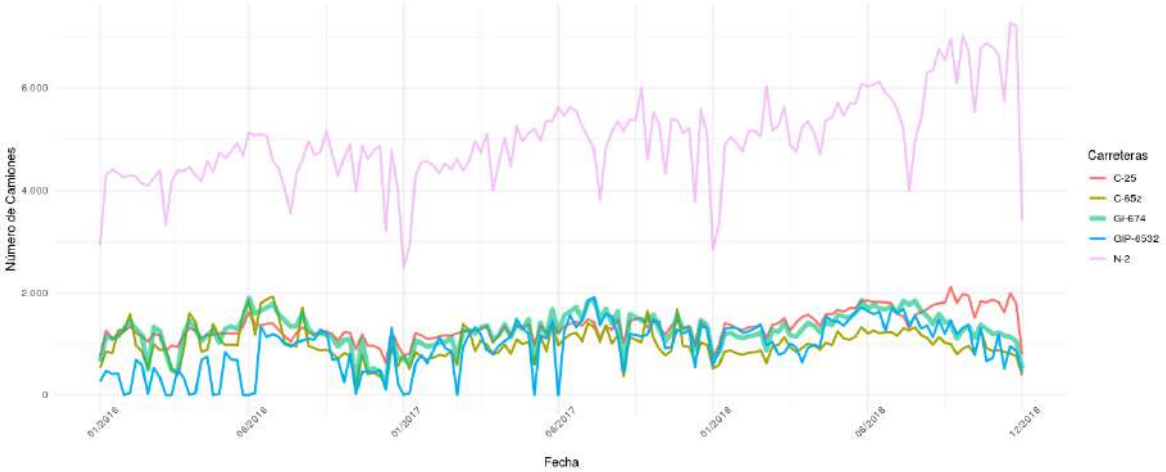


Fuente: Elaboración propia.

En relación con los camiones que proceden de Francia, en la Figura 28 se puede ver que la AP-7 es su entrada principal. La BP-1416 y la BP-1121 son las vías alternativas bastante utilizadas para estos trayectos hasta principios de 2018. Por último, la C-25 es la vía más consistente que se usa para estos trayectos, pero siempre situándose por debajo de los 2.500 camiones semanales.

Figura 29

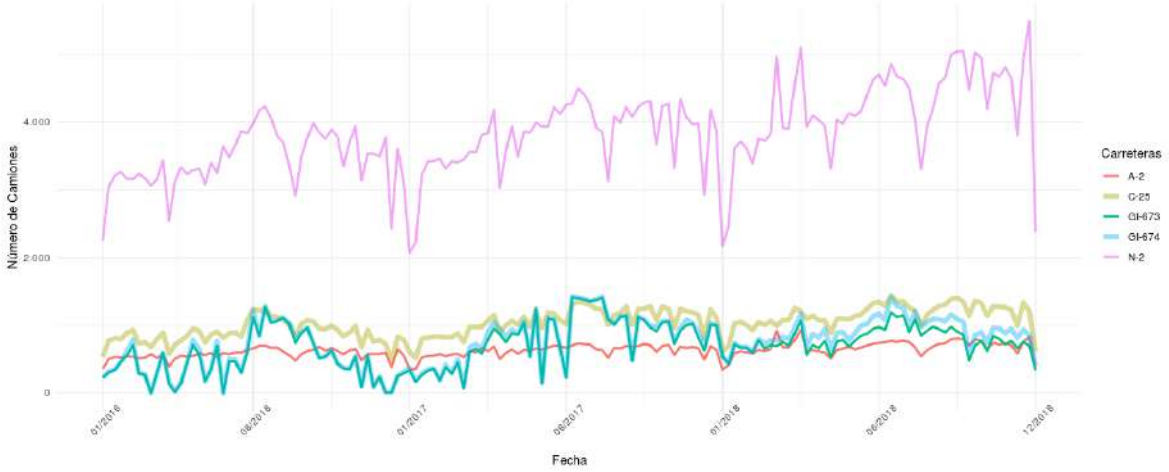
Número estimado de camiones que se dirigen a Aragón por las cinco principales carreteras



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 29 se observan las rutas estimadas para las ventas fuera de la comunidad autónoma a través de Aragón. Destaca la N-2 como principal vía para esta ruta, seguida a mucha distancia por el resto de las opciones. Esta situación destaca si la comparamos con los casos anteriores, en los que las vías utilizadas se encontraban más equilibradas. Del mismo modo, cabe reseñar que los valores absolutos de todas estas vías son sustancialmente inferiores a los anteriores, lo que indica la mayor importancia del tráfico hacia Francia.

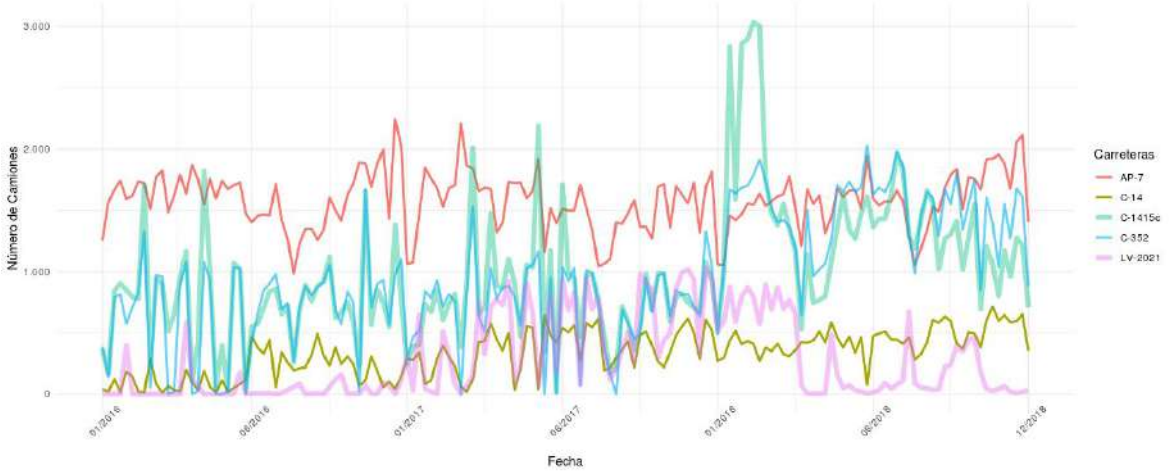
Figura 30
Número estimado de camiones que vienen de Aragón por las cinco principales carreteras



Fuente: Elaboración propia.

En relación con los camiones que entran en Cataluña desde Aragón, el patrón es similar al anterior. La principal vía que se sigue para esta ruta es la N-2; el resto de las opciones queda bastante por debajo de ella (con menos de la mitad de camiones).

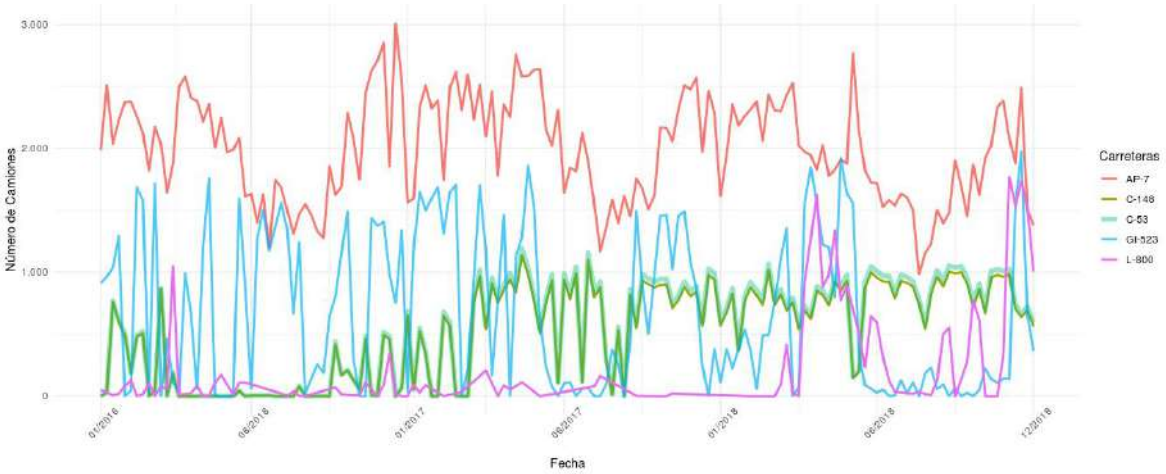
Figura 31
Número estimado de camiones que se dirigen a Valencia por las cinco principales carreteras



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del modelo muestran que la vía principal que siguen los camiones que se dirigen a Valencia es la AP7, con valores que duplican los de las alternativas C-14 y LV-2021. Ambas con valores cercanos a los 500 camiones semanales. Las rutas C-1415c y C-352 son muy volátiles, pero en 2018 sus valores se acercan a la AP-7.

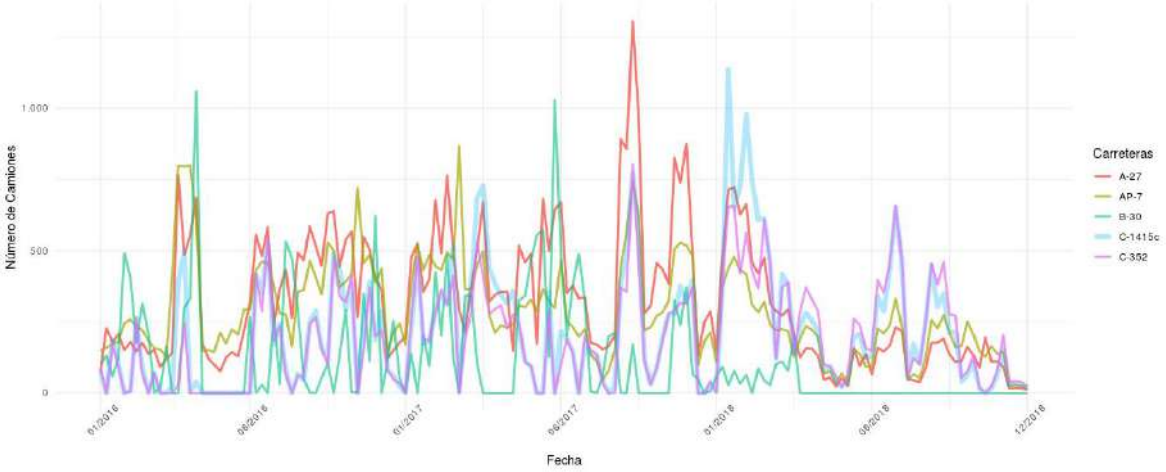
Figura 32
Número estimado de camiones que vienen de Valencia por las cinco principales carreteras



Fuente: Elaboración propia.

En contraposición, el modelo muestra que las alternativas a la entrada desde Valencia son diversas. Por ejemplo, la AP-7 sigue siendo la vía principal de acceso, si bien otras tienen una elevada importancia, como la GI-523 para los camiones que se dirigen a Francia, o la L-800, ambas con valores superiores a los 1.000 camiones semanales a finales del 2018.

Figura 33
Número estimado de camiones que llegan al Port de Tarragona por las cinco principales carreteras

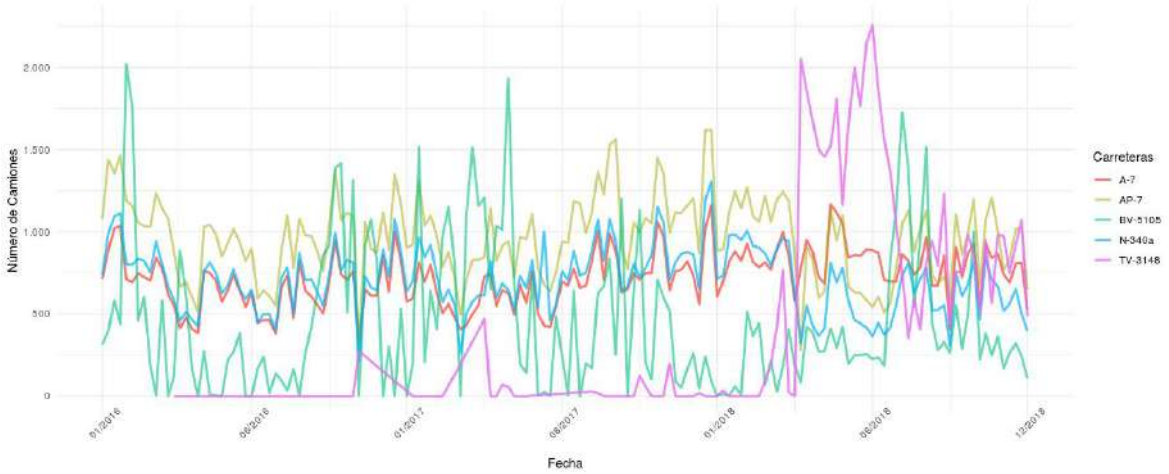


Fuente: Elaboración propia.

Otro de los datos interesantes del modelo es la posibilidad de calcular el tráfico en vías de entrada y salida de Cataluña no físicas, como los puertos. En este primer ejemplo podemos ver que todas las alternativas de rutas que salen de Cataluña a través del Port de Tarragona, siguen el mismo comportamiento a lo largo del tiempo, con valores similares (aunque los datos son muy variables). Sin embargo, la mayor parte del tiempo, el volumen de vehículos no supera los 800 camiones por semana.

Figura 34

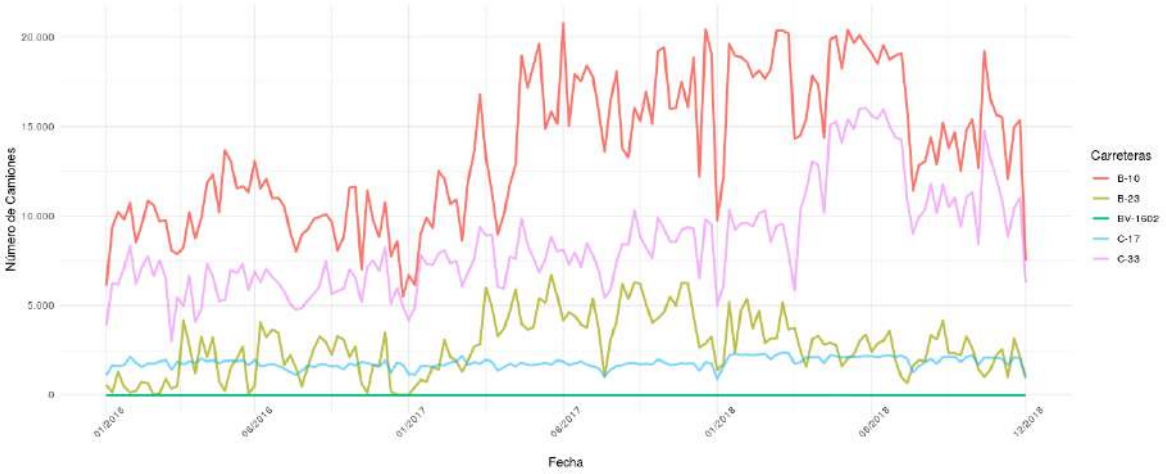
Número estimado de camiones que salen del Port de Tarragona por las cinco principales carreteras



Fuente: Elaboración propia.

Las vías AP-7, N-340 y A-7 siguen un patrón muy similar, y pueden clasificarse en este orden hasta el segundo trimestre de 2018, cuando el movimiento de la N-340 y la AP-7 cae por debajo de los valores de A-7. En este mismo punto del año 2018 se observa un pico de tráfico de la vía TV-3148.

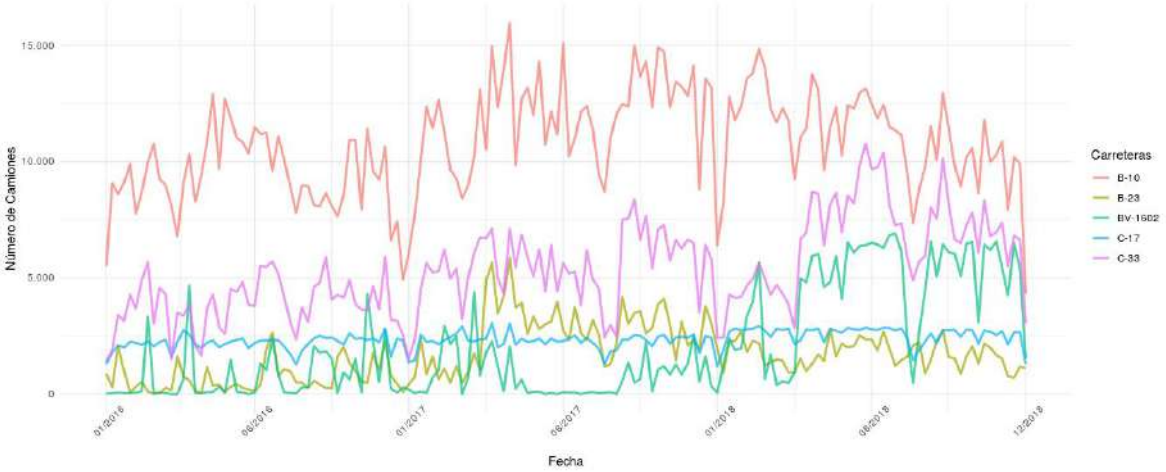
Figura 35
Número estimado de camiones que llegan del Port de Barcelona por las cinco principales carreteras



Fuente: Elaboración propia.

Al igual que en el caso anterior, el Port de Barcelona representa un punto de entrada y salida de mercancías de Cataluña. Tal como se puede observar en la Figura 35, la mayoría de las vías han ido ganando volumen de tráfico de camiones a lo largo del tiempo. Más concretamente, la B-10 ha pasado de 10.000 semanales en el 2016 a más de 18.000 en el 2018. La C-33 ha pasado de 5.000 semanales a más de 10.000 en el 2018.

Figura 36
Número estimado de camiones que salen del Port de Barcelona por las cinco principales carreteras



Fuente: Elaboración propia.

Si nos fijamos en las salidas por el Port de Barcelona reflejadas en la Figura 36, la gran mayoría se producen a través de la B-10. La C-33 y la BV-1602 tienen valores parecidos entre ellas, todas ellas con más de 5.000 camiones semanales en 2018, mientras que B-23 e C-17 están por debajo de este valor.

9. Análisis de robustez de los resultados

Para comparar los datos reales (observados) con las estimaciones del modelo utilizaremos los datos proporcionados por Cedinsa, ya que de esta fuente hemos obtenido el número de camiones que pasaron por las carreteras C-16, C-17, C-25 y C-35, por separado.

Tal como se menciona en la metodología, el modelo pretende estimar el número de vehículos que entran y salen de Cataluña, excluyendo los que son de tráfico interno. Por lo tanto, la estimación trata de aproximarse al 55% del valor de los datos reales (Observatori de la Logística - Cimalsa, 2018)[4].

Tabla 1
Calibración del modelo

	C-16			C-17		
Año	Datos de Cedinsa	Datos de Cedinsa *0,55	Datos estimados del modelo	Datos de Cedinsa	Datos de Cedinsa *0,55	Datos estimados del modelo
2016	1.225,903	-	356,929	2.609,021	-	870,987
2017	1.261,543	-	391,893	2.713,599	-	916,980
2018	1.331,235	-	359,052	2.806,787	-	1.569,009

	C-25			C-35		
Año	Datos de Cedinsa	Datos de Cedinsa *0,55	Datos estimados del modelo	Datos de Cedinsa	Datos de Cedinsa *0,55	Datos estimados del modelo
2016	3.524,500	-	2.173,639	1.423,655	-	288,883
2017	3.806,646	-	2.286,627	1.544,390	-	300,036
2018	4.030,536	-	2.372,557	1.637,486	-	276,646

Fuente: Cedinsa & Elaboración propia.

Se observa que, en muchos casos, la estimación del modelo es muy cercana a los datos reales, especialmente para las carreteras C-17 y C-25, que registran un mayor volumen de tráfico de camiones.

[4] Este observatorio estimó que el tráfico interno de mercancías en Cataluña es de alrededor del 45% sobre el tráfico total. El modelo trata de estimar los camiones de comercio exterior más los que están de paso, ya que el tráfico interior (que es un 45% del total) es invisible.

10. Conclusión y pasos futuros

En el presente documento hemos expuesto los resultados de la modelización del sector logístico de Cataluña. Si bien algunos de ellos pueden resultar obvios para expertos en la materia, esto debe ser interpretado como una demostración de la buena aproximación que produce el modelo.

En realidad, la aportación científica del documento se divide en dos aspectos:

- En primer lugar, en determinar el número de camiones que circulan por cada tramo de forma diaria. Si bien podía parecer obvio que algunas vías eran las principales para el transporte de mercancías, gracias al modelo se puede establecer el número de camiones que circulan por ellas y comparar de este modo la magnitud de las diferencias entre las distintas vías.

- En segundo lugar, una aportación en forma de granularidad: tal como hemos afirmado anteriormente, la estructura vial catalana se compone de más de 5.000 tramos de vía, por lo que, para una persona, resulta imposible conocer todos y cada uno de los tramos. Gracias a la modelización, hemos creado una base de datos que puede ser explorada en detalle, municipio por municipio, tramo a tramo, para identificar potencialidades, posibles problemas y contextualizar los datos existentes mediante comparativas. Esto resulta de gran importancia para la toma de decisiones.

Finalmente, queremos aprovechar este documento para hacer un llamamiento a seguir analizando el sector logístico catalán. Nuestro conocimiento tiene un gran potencial de avance gracias a una mayor capacidad de computación, una mayor disponibilidad de datos y a mejoras en los procesos de cálculo y algoritmos. Esto abre las puertas a análisis que antes eran imposibles de realizar por falta de recursos en uno de los tres aspectos indicados. Una ampliación territorial al resto de España o Europa, más y mejores datos procedentes del Internet de las cosas (IoT) o de los GPS de los vehículos, o el hecho de tener acceso a una mayor potencia de computación son algunas de las opciones para seguir trabajando en este campo en el futuro. Sin duda, los beneficios obtenidos con este tipo de análisis superan con creces los costes de abandonar los antiguos sistemas de información y de adoptar nuevas metodologías basadas en *big data*, inteligencia artificial o *machine learning*. Este documento solo es una pequeña muestra del potencial de estas nuevas tecnologías, ha llegado la hora de que las organizaciones den un paso más y sigan apostando por la innovación en datos.

Bibliografía

BARCELONA CENTRE LOGÍSTIC (BCL). (s. f.). Por qué Barcelona. Recuperado de bcncl.es/por-que-bcn.

BNP PARIBAS REAL ESTATE. (3 de septiembre del 2019). *Property Report – European Logistics Market – August 2019.* Recuperado de www.realestate.bnpparibas.com/property-report-european-logistics-market-h1-2019.

OBSERVATORI DE LA LOGÍSTICA – CIMALSA. (2018). *Indicadors 2018.* Recuperado de cimalsa.cat/observatori-logistica.php.

PIMEC LOGÍSTICA. (junio del 2018). *Contribució de la logística a l'economia. Sèrie 2006-2015.* Recuperado de www.pimec.org/sites/default/files/contribucio_de_la_logistica_a_leconomia.pdf

Anexo 1
Metodología

A continuación, se explica la metodología utilizada para realizar la estimación de los datos de tráfico a partir de los datos reales (observados).

Datos

Los datos del proyecto se pueden dividir en tres apartados principales:

- Flujos de tráfico proporcionados por peajes y estaciones de aforos.
- Información de comercio exterior de los orígenes y destinos.
- Datos geolocalizados de la red de carreteras.

Flujos de tráfico

En algunos puntos seleccionados de la red de carreteras de Cataluña hay estaciones de aforo que cuentan el número de camiones que pasan a diario por ese tramo. Cedinsa y la Generalitat de Catalunya fueron los principales proveedores de estos datos. El Port de Barcelona y el Port de Tarragona también tienen aforos en sus puertas exteriores principales.

Abertis administra las autopistas de peaje AP-7 y AP-2, y ambas cuentan con estaciones de peaje. Hemos utilizado los datos obtenidos agregando el recuento de camiones que pasan por cada par de estaciones combinando estos flujos de origen-destino con la cantidad total de camiones que pasan por un punto dado. Al hacer esto, obtenemos el mismo formato de datos que las fuentes de Cedinsa y la Generalitat.

Orígenes y destinos

La información sobre comercio exterior, como importaciones y exportaciones mensuales en toneladas por provincia, proviene del Idescat.

A nivel municipal, no hay recopilación de datos de comercio exterior disponibles. Un indicador sí disponible correlacionado con la información de importaciones y exportaciones es el número de personas que trabajan en cada municipio (afiliadas a la Seguridad Social), así como el número de empresas productoras ubicadas en la zona.

Datos geolocalizados de la red de carreteras

Para conectar toda la información y representarla posteriormente en un mapa real se necesitaba un marco de carreteras. La red de carreteras se descargó del proyecto *opensource* OpenStreetMap (OSM), en formato ESRI-Shapefile. Los datos no solo contienen la geolocalización de las carreteras, sino que también disponen de otra información relevante, como las velocidades máximas, el tipo y la referencia de la carretera, etc.

Utilizamos estos datos para construir un grafo con nodos y arcos que conectan todos los orígenes y destinos A-B (municipios y entradas y salidas), con métodos innovadores y nuestras propias funciones, para preservar la información direccional y la conectividad.

Con este enfoque no solo es posible proyectar con precisión los resultados en el mapa, sino que también lo es calcular la ruta que toman los camiones para llegar a cada destino dado (a través de rutas más cortas) y vincular los datos de flujo de los camiones a una ubicación real.

Caminos más cortos

Para representar y geolocalizar cada ruta de A B (cualesquiera que sean los dos puntos en la red) se tuvieron que evaluar todas las rutas posibles. Cada ruta elegida fue el resultado de minimizar la cantidad de tiempo que tarda un camión en cruzarla cuando no hay tráfico (de modo que se pueda aplicar el límite de velocidad para los vehículos pesados dado por los datos de la carretera). Los algoritmos utilizados para calcular todas las rutas más cortas (más rápidas) son una variación más eficiente del algoritmo de Dijkstra utilizando el paquete igraph en R.

El resultado de calcular el algoritmo para cada ruta de A B es la matriz de rutas más cortas M, donde las filas representan los arcos del grafo, y las columnas, las rutas. Por ejemplo, si el trayecto más corto (SP) de la ruta de La Junquera a Barcelona pasa por la carretera AP-7, los arcos que representan la parte de la AP-7 utilizada van a ser iguales a 1, y 0 para los que representan todas las carreteras que no se utilizaron. Formalmente representado de la siguiente forma:

$$M_{j,i} = \begin{cases} 0, & \text{if } j \notin SPi \\ 1, & \text{if } j \in SPi. \end{cases} \forall j \in A, \forall i \in R.$$

Estimaciones

Teniendo en cuenta estos datos, tuvimos que hacer una inferencia sobre el tráfico real que va de A B todos los días. Para cada día, realizamos un proceso de estimación diferente, utilizando un modelo de programación lineal. Específicamente, hemos creado un modelo que minimiza los errores entre la predicción de flujos agregados y los datos reales. Por lo tanto, el modelo equilibra los errores entre el valor esperado dado por las importaciones y exportaciones y la predicción, así como los errores entre la cantidad de camiones en las carreteras dadas por las estaciones de aforo y la predicción proyectada en el mapa.

Sets

T	set de días
B	set de entradas y salidas
R	set de rutas
A	set de arcos
K	set de aforos

Parámetros

βit	$i \in R, t \in T$	Peso del comercio exterior de la ruta i el día t calculado a través de datos de importaciones y exportaciones y los pesos de los municipios.
Y_{kt}	$k \in K, t \in T$	Aforos de camiones del día t en el punto k.
N_{bt}	$b \in B, t \in T$	Aforos de camiones en las fronteras b el día t.
$M_{j,i}$	$j \in A, i \in R$	Matriz de caminos más cortos del conjunto de arcos j para cada ruta i.
$c1$	ratio entre el peso de los errores.	
θ	porcentaje del total de tráfico en Cataluña referente al comercio exterior y de paso.	

Variables

x_{it}	$i \in R, t \in T$	Flujos estimados de camiones para cada ruta i para el día t.
D_{it}	$i \in R, t \in T$	Errores de discrepancia entre la estimación del modelo x_{it} y $N_{bt}\beta_{it}$, para el día t.
λ_{kt}	$k \in K, t \in T$	Errores de discrepancia entre la estimación de tráfico proyectada Mx y aforos $y_{kt}\theta$ camiones, para el día t.

Objetivo

$$\min \sum_{i \in R} D_i + c1 \sum_{k \in K} \lambda_k \qquad (1)$$

Restricciones

$$|N_b\beta_i(\frac{x_i}{N_b\beta_i} - 1)| \leq D_i \qquad \forall i \in R \qquad (2)$$

$$|y_k(\frac{M_{k,i}x_i}{y_k} - \theta)| \leq \lambda_k \qquad \forall k \in K \qquad (3)$$

$$\frac{M_{b,i}x_i}{N_b} - 1 = 0 \qquad \forall b \in B \qquad (4)$$

$$x, D, \lambda \geq 0$$

Elección de los valores de los parámetros fijos

$c1$ es un parámetro artificial para equilibrar ambos errores. Al realizar simulaciones del modelo con valores $c1$ de [0, 1.000], optamos por hacer que las estimaciones del modelo se ajustaran mejor a los datos del flujo de tráfico fijando $c1 = 5$ en lugar del comercio exterior, ya que es más fiable, dado que la fuente de datos es diaria y no el resultado de la inferencia. Para los valores $c1 > 5$, el modelo ya no mejora las estimaciones de flujo de tráfico y los errores generales aumentan.

Dado que el modelo intenta distribuir todos los camiones que pasan por la frontera (4) o vías de entrada / salida y los datos de origen y destinos se refieren solo al comercio exterior, el tráfico interno es invisible. Por lo tanto, las estimaciones de tráfico proyectadas no deben acercarse a los datos de aforos de camiones, sino a un porcentaje de los aforos que representan el comercio exterior y los de paso.

El Observatori de la Logística de Cimalsa estimó, en el 2018, que el tráfico interno de mercancías en Cataluña es de alrededor del 45% sobre el tráfico total, por lo que θ se fijó en 0,55.

Anexo 2

Evolución de los 10 principales sectores ICEX exportados									
	2016			2017			2018		
	Valor	RK	%Tot.	Valor	RK	%Tot.	Valor	RK	%Tot.
Automóviles	9.060.424,17	1	13,9	8.117.418,08	1	11,7	8.470.812,30	1	11,8
Farmaquímica	4.210.716,53	2	6,5	4.451.259,85	2	6,4	4.453.268,83	3	6,2
Materias primas y semimanufacturas de plástico	3.972.965,75	3	6,1	4.436.017,24	3	6,4	4.780.504,78	2	6,7
Equipos, componentes y accesorios de automoción	3.106.047,85	4	4,8	3.428.423,58	4	4,9	3.941.915,85	4	5,5
Combustibles y lubricantes	1.507.293,71	9	2,3	3.094.100,13	5	4,4	2.542.547,29	5	3,5
Confección femenina	2.230.967,30	6	3,4	2.330.575,09	7	3,3	2.385.826,65	7	3,3
Material eléctrico	2.348.379,07	5	3,6	2.351.353,58	6	3,4	2.498.167,14	6	3,5
Química orgánica	2.142.002,22	7	3,3	2.116.103,81	8	3	2.288.453,94	8	3,2
Otros productos químicos	1.984.844,76	8	3	1.957.550,20	9	2,8	1.681.336,38	9	2,3
Carne de la especia porcina, congelada	1.105.096,60	10	1,7	1.182.715,21	10	1,7	1.109.307,63	12	1,5

Anexo 2 (continuación)

Evolución de los 10 principales sectores ICEX importados									
	2016			2017			2018		
	Valor	RK	%Tot.	Valor	RK	%Tot.	Valor	RK	%Tot.
Automóviles	7.844.598,40	1	10,1	8.448.917,34	1	10	9.561.474,21	1	10,6
Combustibles y lubricantes	4.643.140,61	3	6	6.683.367,68	2	7,9	8.397.042,61	2	9,3
Química orgánica	4.638.409,88	4	6	5.115.444,82	3	6	5.931.312,72	3	6,6
Equipos, componentes y accesorios de automoción	4.825.984,18	2	6,2	4.948.114,05	4	5,8	5.154.009,39	4	5,7
Confección femenina	3.913.320,52	5	5	4.052.787,45	5	4,8	4.130.456,67	5	4,6
Farmaquímica	3.454.662,51	6	4,5	3.490.362,40	7	4,1	3.934.938,25	6	4,4
Materias primas y semimanufacturas de plástico	3.206.281,75	7	4,1	3.593.423,44	6	4,2	3.884.770,47	7	4,3
Material eléctrico	2.228.015,34	8	2,9	2.496.293,67	8	3	2.306.551,33	8	2,6
Otros productos químicos	1.434.308,82	9	1,8	1.557.692,76	9	1,8	1.608.810,69	9	1,8
Maquinaria eléctrica	1.074.163,14	10	1,4	1.058.807,70	10	1,3	1.054.889,89	11	1,2

Fuente: ICEX. (2019) Análisis del comercio exterior español. Datos proporcionados por el Departamento de Aduanas e Impuestos.