

La transición energética en el parque automovilístico en Cataluña

Verónica Mejía Juárez

1. Abstract

En el marco general de un proceso de cambio de modelo energético, se ha buscado caracterizar la evolución del parque automovilístico eléctrico e híbrido en Cataluña. Para ello se ha empleado la base de datos del ICAEN en el que constan las matriculaciones mensuales de este tipo de vehículos desde el 2017. Se ha identificado la tendencia general de evolución para posteriormente clasificar las diversas comarcas en relación a sus patrones de evolución. De manera complementaria se identifican las variables socioeconómicas que se vinculan a este tipo de patrones. De esta manera, se ha tratado de remarcar que los patrones de evolución del parque automotor eléctrico son poco equilibrados a nivel territorial.

2. Introducción.

En la actualidad la transición energética se ha convertido en un elemento de vital importancia para las sociedades. Desde hace varios años se ha tenido presente que las fuentes energéticas fósiles, las más empleadas en la actualidad, están próximas a agotarse. Por ello, varias instituciones públicas y privadas se han visto obligadas a optar por soluciones que hagan uso de energías más sostenibles. Este es el caso del parque automovilístico. Incluso, en Barcelona como en otros territorios del ámbito nacional e internacional se han promovido una serie de programas que incentivan el uso del coche eléctrico. Varios de estos programas incluso subvencionan la compra de estos vehículos. Sin embargo, al parecer este proceso está promoviendo la segregación social y territorial. En este sentido, la transición energética tiende a relacionarse con el nivel socioeconómico, en el cual las rentas más altas logran acceder a energía más sostenible, mientras que las rentas bajas continúan empleando energías convencionales.

Ante esta problemática, se ha tratado primero de identificar si las diversas políticas y necesidades que la sociedad ha visto en los últimos años se han visto reflejadas en el número de vehículos eléctricos matriculados en relación con el resto de vehículos. Para ello, se ha aplicado unas técnicas de regresión sobre series temporales que permiten identificar la tendencia general y las proyecciones para los próximos meses. Igualmente debido a que los datos son fluctuantes entre los diversos meses se ha creído conveniente identificar los intervalos de confianza en el que se pueda visibilizar claramente la evolución de esta variable.

Además, tal como se ha mencionado, el patrón de evolución varía de acuerdo a cada territorio por lo que se ha identificado clúster en función de las series temporales. Con ello se logra agrupar comarcas en función de la evolución de su parque automotor eléctrico. Una vez obtenidos estos clúster se ha calculado la importancia de variables socioeconómicas.

3. State of Art

En España, al igual que en otros países, el camino hacia un sistema energético renovable es sumamente largo. Desde hace más de un siglo las sociedades han sido ampliamente dependientes de las fuentes fósiles. Por ello, en los últimos años se han implementado una serie de políticas y programas encaminadas a promover un cambio del modelo energético en prácticamente todos los ámbitos de la sociedad (Jonnes, 2004).

Ahora bien, por el momento que atravesamos, el tema de la dependencia energética se ha vuelto palpable y sumamente preocupante (ACER, 2019; EIA, 2020). Por ello, es necesario acceder a tecnologías sostenibles y locales (Renner & Giampietro, 2020; Schott, 2003). Teniendo en cuenta que, desde inicio del siglo XX, la población se ha vuelto sumamente dependiente de automóvil, este es uno de los aspectos clave para lograr este cambio energético. Además, el sector del transporte consume el 45% de la energía final. (MITECO, 2019) Así, se ha analizado varios modelos de movilidad en función de la sostenibilidad (Gutiérrez & Pérez-Pintor, 2019).

En base a esto son varios los análisis tendenciales que se han realizado para identificar los diversos escenarios futuros en relación al número de vehículos eléctricos (Robinson, 2018). En los cuales se entiende que estas tecnologías se incrementará notablemente. También resulta evidente que este nuevo modelo se implantará en una red urbana en la cual se han generado procesos de segregación y polarización (Checa & Nel-lo, 2021; Morales et al., 2019). Varios estudios han mostrado la relación entre la transición energética y las características socioeconómicas y residenciales (López, 2021; López Joan, 2021; Smil, 2010). Sin embargo, en estos análisis se emplea únicamente análisis tendenciales generales en los que no se muestra los comportamientos diferenciales entre territorios. Por lo tanto, se ha creído oportuno contribuir en esta temática que puede ser considerada de gran relevancia si se tiene en cuenta que cada ámbito tiene su propio proceso de evolución. En este sentido, la identificación de diversos patrones a través de series temporales resulta de gran ayuda para en un futuro tratar de definir líneas de acción que promuevan un desarrollo homogéneo en la región.

4. Metodología

4.1. Bases de datos

En primer lugar, a fin de contextualizar el estudio se han extraído datos mensuales de **la DGT – Dirección General de Tráfico** sobre los vehículos matriculados desde enero- 2019 a agosto del 2022. De esta manera se puede visibilizar la evolución del parque automotor general y contrastarlos con el patrón evolutivo de los vehículos eléctricos. De la base de datos disponible se extrajeron las siguientes variables.

Año	Provincia de matriculación del vehicle
Mes	Comarca de matriculació del vehicle
Clase de matricula	Codi postal de la localitat de matriculació del vehicle
Propulsion	Municipi de matriculació del vehicle
Servicio	Codificació del municipi segons l'Idescat
Tramitación	Classificació de la tipologia del vehicle, fins a 12 tipus diferents
Código postal	Presenta la informació de la marca comercial del vehicle.
Municipio	Model del vehicle, disponible a partir de 2020
Cod Municipio	Caracterització de la motorització del vehicle

Además, los datos analizados hacen referencia únicamente al ámbito de la provincia de Barcelona. Así se obtienen 605.241 registros.

Luego para el análisis focalizado en el cambio de modelo energético, se han empleado dos principales fuentes de información de organismos públicos. La primera hace referencia a los datos de vehículos eléctricos e híbridos publicados por el **ICAEN – Instituto Catalán de Energía**, los cuales se encuentran disponibles en la siguiente dirección.

<https://analisi.transparenciacatalunya.cat/es/Transport/Matriculacions-mensuals-de-vehicles-electrificats/-eds6-562k>

La base de datos contiene información sobre cada vehículo matriculado desde enero del 2017. Como parte de la información se disponen de 15 variables:

Provincia	Provincia de matriculación del vehicle
Comarca	Comarca de matriculació del vehicle
CPostal	Codi postal de la localitat de matriculació del vehicle
Municipi	Municipi de matriculació del vehicle
Codi IDESCAT	Codificació del municipi segons l'Idescat
Tipus Vehicle	Classificació de la tipologia del vehicle, fins a 12 tipus diferents
Marca	Presenta la informació de la marca comercial del vehicle.
Model	Model del vehicle, disponible a partir de 2020
Tecnologia	Caracterització de la motorització del vehicle
Client	Tipus de propietari, (Particular/Empresa)
Tipus alta	Modalitat d'adquisició o alta
Mes	Mes de referència del registre
Any	Any de referència del registre
Descripció	Informació descriptiva i d'ús del vehicle
Uts	Nombre de vehicles coincidents amb les característiques del registre

98925 rows × 15 columns

La base de datos consta de 98.925 registros. De estas se ha observado que un 0.09% registran inconsistencias en cuanto a la fecha de matriculación, por lo cual se han extraído únicamente las que registran la matriculación entre enero 2019 a agosto 2022. Además, del conjunto de datos emplearon aquellos que corresponden Servicio B00, aquellos vehículos destinados a un uso particular, de tramitación Ordinaria (1) y con una clase de matrícula Ordinaria (0). Con ello, se obtiene información referente a vehículos ordinarios y se descartan aquellos destinados a empresas y demás puesto que pueden tener un comportamiento distinto a la de la población general.

Cabe mencionar que la comarca 42 – Moianes no cuenta con información. Puede que este hecho se deba a que esta comarca es de nueva creación, ya que se configuró recién a partir del año 2015.

La segunda base de datos se extrajo del **Idescat – Estadística oficial de Cataluña**. De esta plataforma se obtuvo información referente a 6 variables:

RFDB (miles de euros)
RFDB por habitante (miles de euros)
Índex Catalunya=100 por habitante
Población
Superficie km²
Densidad

4.2. Librerías de análisis

Luego, a fin de graficar los datos se ha empleado las delimitaciones comarcales disponibles en la pagina del ICGC – Instituto Cartográfico y Geográfico de Cataluña. Cabe mencionar que para unir estas diferentes bases de datos se empleo como clave el código de comarca que tuvo que ser incorporado en la base de dato del ICAEN.

Una vez identificadas las bases de datos, se procedió a aplicar una regresión polinómica a fin de modelar un valor esperado en base a los datos temporales. Igualmente se obtuvieron las líneas referentes a los intervalos de confianza. Para ello las librerías empleadas fueron:

- sklearn.preprocessing /PolynomialFeatures
- bootstrap/ Bootstrap_ci

Luego para definir del numero de clúster y la identificación de los mismo se emplearon las siguientes librerías:

- tslearn.clustering/ TimeSeriesKMeans, silhouette_score
- kneed /KneeLocator
- sklearn.preprocessing /minmax_scale

Finalmente para identificar el posible vinculo entre los clúster y las variables socioeconómicas se empleo :

- sklearn.ensemble/ RandomForestClassifier

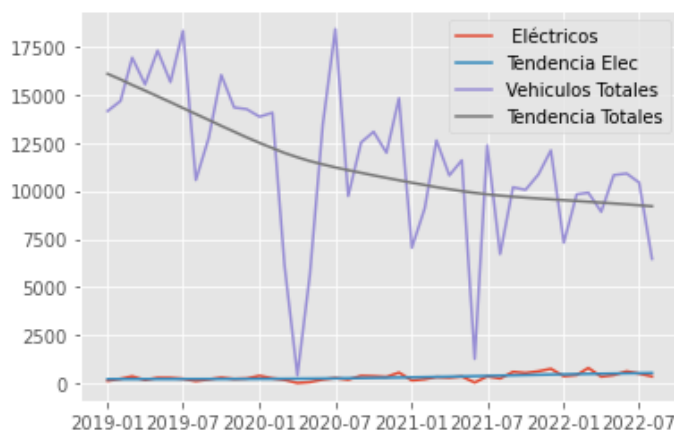
5. Resultados

5.1. Contextualización: Parque automotor general vs eléctrico.

Los datos muestran que por ejemplo, en la provincia de Barcelona, el numero total de coches matriculados a disminuido en un 35% entre el 2019 al 2021, pasando de 213 a 137 mil vehículos. Esta tendencia puede estar influenciada por los nuevos patrones originados por el COVID 19, la inestabilidad económica, el incremento del costo energético, políticas de movilidad. Sin embargo, en el caso de los vehículos eléctricos estos han tenido un proceso de evolución distinto. A pesar de que este grupo de vehículos apenas representaba un 1.4% del parque vehicular en el 2019, este ha registrado un incremento de un 60% hasta el 2021.

Así, en la siguiente grafica, por un lado, vemos la evolución del total de vehículos del parque automotor, cuya tendencia muestra una disminución del volumen de matriculación mensual, mientras que con valores muy por debajo se encuentran los coches eléctricos en donde se aprecia un tendencia en la cual incrementan su volumen.

Gráfico 1 . Evolución del parque vehicular general y eléctrico. Barcelona 2019-2022

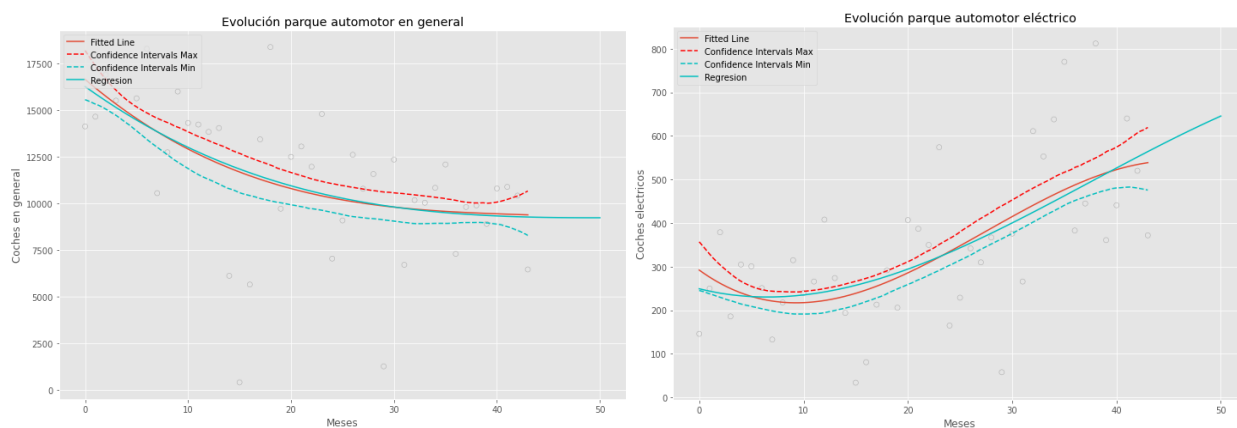


Fuente: autor

En este sentido, de acuerdo a la tendencia calculada se ha podido corroborar que el número de matriculaciones de los vehículos en general se mantendrá relativamente estable en los próximos meses, mientras que los vehículos eléctricos e híbridos se incrementará notablemente.

Sin embargo, tal como se aprecia en el gráfico anterior, el valor mensual varía considerablemente. Es decir que se pueden incrementar o disminuir de manera abrupta, por lo cual se han calculado las líneas tendenciales relativas a los intervalos de confianza. Al calcular la tendencia siempre hay un cierto grado de error, por lo que el intervalo de confianza nos permite identificar el valor entre los que se encuentra el valor tendencial que es el que se ha buscado obtener. Así, con un 95% de confianza podemos decir que la tendencia calculada se encuentra entre las dos líneas dibujadas.

Gráfico 2. Tendencia e intervalos de confianza de la evolución del parque vehicular general y eléctrico. Barcelona 2019-2022



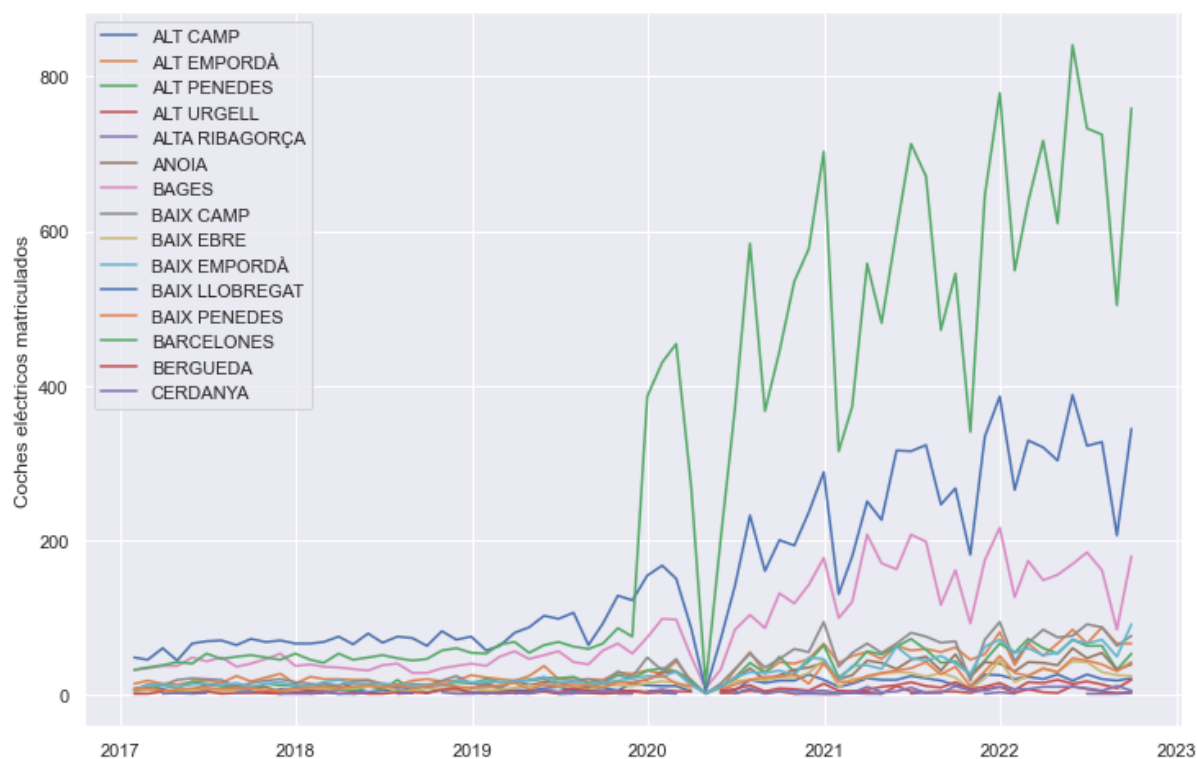
Fuente: autor

5.2. Agrupación (clúster) en base a series temporales

Ahora bien, esta mayor preferencia por los vehículos eléctricos, se produce con desigual intensidad en el territorio. Tal como se puede apreciar en el siguiente gráfico, el registro de los vehículos eléctricos cada mes varía considerablemente y aun más si se categoriza por comarcas.

Barcelona registra el mayor numero de vehículos matriculados mientras que Alt Camp registra valores inferiores.

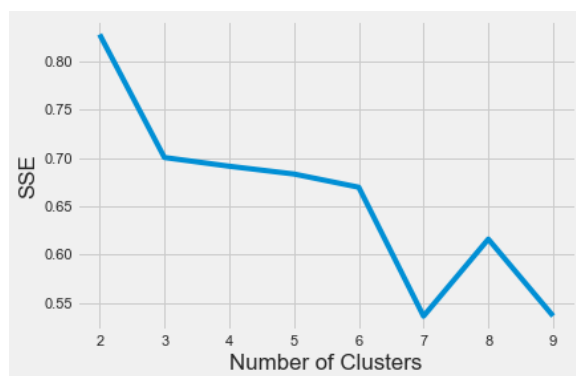
Gráfico 3. Serie temporal del numero de coches eléctricos e híbridos matriculadas por comarcas



Fuente: autor

En este sentido, debido a estas diferencias en los registros temporales se ha buscado categorizar los diversos territorios. En un primer momento se ha tratado de definir el numero ideal de clúster que se podrían obtener en base a las series temporales. Para ello, se ha empleado el análisis de la silueta que estudia la distancia de separación entre los grupos resultantes. El gráfico de silueta muestra una medida de qué tan cerca está cada punto en un grupo de puntos en los grupos vecinos. Esta medida tiene un rango de $[-1, 1]$. Los coeficientes de silueta cercanos a $+1$ indican que la muestra está lejos de los conglomerados vecinos. En este caso, a través de los coeficientes de silueta se pudo obtener que el punto donde el numero de clúster empieza a incrementar (kl.elbow) es el 4. Por lo tanto este fue definido como el numero idóneo de agrupaciones a obtener.

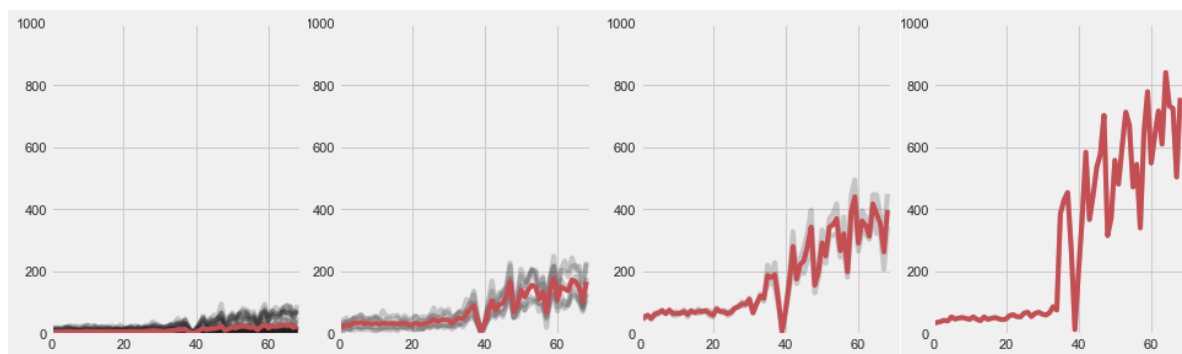
Gráfico 4. Silueta del numero de clúster posibles



Fuente: autor

Así, una vez determinado el número de clúster se procedió a aplicar un TimeSeriesKMeans, lo cual permitió agrupar las diversas series temporales relativas a cada comarca. Es decir, que a través de esta herramienta se ha clasificado los registros mensuales de matriculaciones de cada comarca y los ha agrupado en base a sus semejanza. Aquí, podemos apreciar que por ejemplo, en el primer grupo se encuentran todas aquellas comarcas cuyos incrementos del número de vehículos eléctricos ha sido muy limitado. Luego tenemos aquellas en las que se aprecia un cierto incremento de vehículos eléctricos. En el último clúster, encontramos únicamente a la comarca de Barcelona, seguramente debido a la hecho de que la tendencia de incremento del número de vehículos eléctricos es muy superior al de otras comarcas.

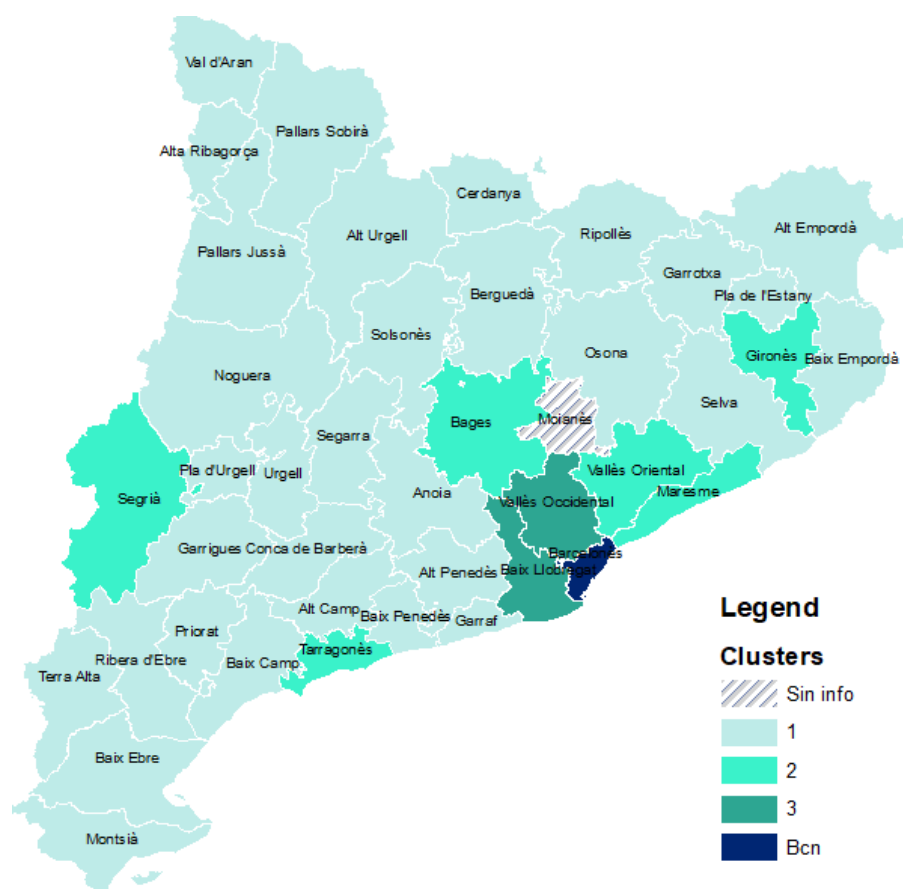
Gráfico 5. Clúster generado sen base a sus series temporales



Fuente: autor

Si observamos estas agrupaciones (clúster) en el territorio vemos como junto al Barcelonès se localizan la comarcas relativas al clúster 3, aquellas que le siguen en cuanto a concentración de vehículos eléctricos. Es decir que al parecer hay una concentración territorial de este tipo de vehículos. Luego también, en territorios más apartados, como las otras dos capitales de provincia, se han incrementado relativamente el número de vehículos. Mientras que las comarcas del interior en general, corresponden al clúster 1 que muestra un escaso cambio de modelo energético en cuanto al tema de movilidad.

Gráfico 6. Representación de grafica de las comarcas en base a los clúster generados.



Fuente: autor

Visto este patrón en el cual se aprecia claramente que Barcelona es un punto clave al momento de acceder a tecnologías mas sostenibles, se ha tratado de identificar las posibles variables que explicarían este fenómeno.

5.3. Relevancia de las variables socioeconómicas

Como se podría entender, son varios los factores que pueden influir en estos patrones, por lo que para este ejercicio hemos tratado de emplear aquellos que se ha creído que tienen mayor importancia. Así, se ha incorporado al análisis la variables extraídas del IDESCAT que contienen: Renta Familiar Disponible Bruta- RFDB en miles de euros y por habitante, la renta transformada en índice 100 con respecto Cataluña, la población, densidad y superficie. Además se incorporó el numero de vehículos totales matriculados en el 2021.

Entonces para evaluar la importancia de las siguientes variable en los clúster se ha empleado la herramienta RandomForest. Este proceso toma la variables extraídas del IDESCAT y las contrasta con los clúster definidos en el proceso anterior, y luego de analizarlas se obtienen índices de importancias a través de los cuales se deduce la relevancia de cada variable.

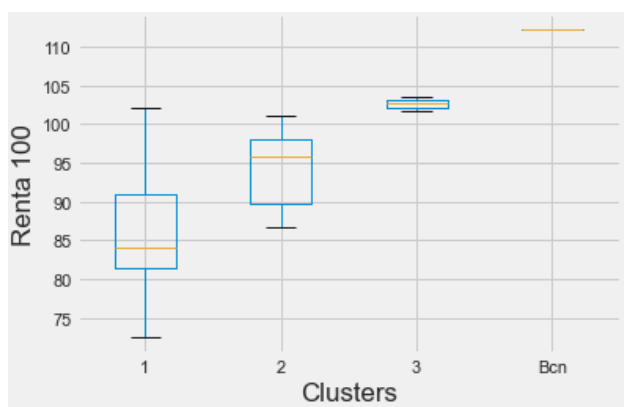
Tabla 1. Índices de importancia sobre el modelo de las variables socioeconómicas contempladas.

Variable: RFDB (miles de euros)	Importance: 0.36
Variable: total	Importance: 0.32
Variable: Población	Importance: 0.17
Variable: Densidad	Importance: 0.07
Variable: RFDB por habitante (miles de euros)	Importance: 0.04
Variable: renta 100	Importance: 0.04
Variable: Superficie km ²	Importance: 0.01

Fuente: autor

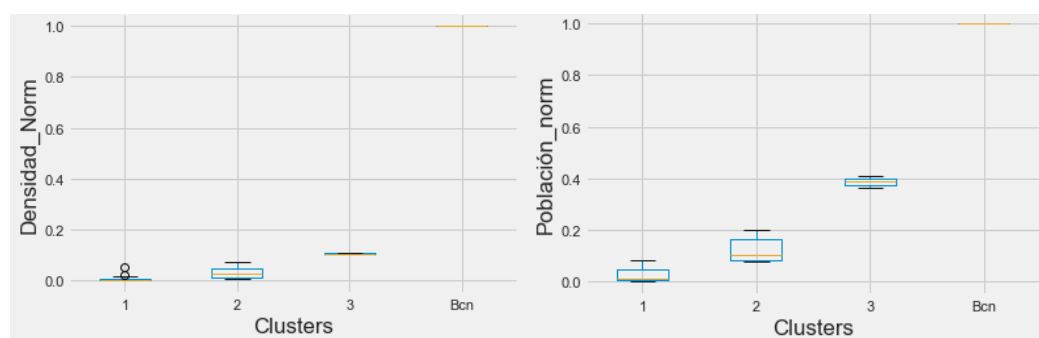
Como se puede apreciar la RFDB en miles de euros es la característica de mayor relevancia. Es decir que, la comarcas que se encuentran designadas a cada uno de los clúster guardan una cierta relación en cuanto a su renta. Tal como se observa en la siguiente gráfica, aquellas comarcas con las rentas más bajas corresponden al clúster que ha mostrado un menor incremento de vehículos eléctricos. Mientras que por el lado contrario, se encuentra el Barcelonès, cuya renta es la mas elevada de Cataluña y a su vez ha registrado el proceso de transición energética vehicular más intenso del ámbito de estudio.

Gráfico 7. Distribución de la renta por clúster



Fuente: autor

También se ha visto que otra variables logran caracterizar los clúster obtenidos. Vemos que los clúster se diferencian según la densidad y el numero de población. Al igual que lo que sucedía con la renta, la comarcas localizadas en el primer clúster, el de menor incremento de vehículos eléctricos, son las que tienen menor densidad y menor numero de habitantes, estos valores van incrementando según el volumen de vehículos eléctricos se intensifica.



6. Conclusiones

A través de los diversos procesos aplicados a lo largo del estudio se ha podido caracterizar la evolución del parque vehicular eléctrico. Es evidente que este sector, esta teniendo un gran impacto en la movilidad actual y que se alinea con las políticas globales referidas a la transición energética sostenible.

Sin embargo, se esta generando un brecha importante no solo a nivel territorial sino a nivel social. Es decir que se produce una paradoja en la cual, únicamente la población localizada en ciertas zonas y con cierto nivel socioeconómico está teniendo la oportunidad de acceder a tecnologías más sostenibles cuyo precio será más accesible, mientras que la población de bajas rentas, al parecer, seguirá haciendo uso de tecnologías convencionales cuyos fuentes energéticas cada vez incrementan más sus precios, por lo que tendrán que destinara cada vez recursos de su renta limitada a la movilización (López, 2018). Esta ampliación de brechas sociales se ha generado también en otro tipo políticas como la de los subsidios (Asensio et al., 2003). La problemática es aun más preocupante si se considera que los municipios de baja densidad y dispersos son los que consumen más combustible. Por ello, en un marco de un desarrollo homogéneo, las ayudas debería estar enfocadas en estos territorios y en aquellos grupos que tienen rentas mas bajas (Redondo, 2017)

Actualmente, se han implementado una serie de programas para incentivar la transición energética no solo en el campo de los vehículos, sino también en las edificaciones. Se pueden solicitar una serie de ayudas para la instalación de placas fotovoltaicas, mejoramiento de la eficiencia energética de las edificaciones, comprar una moto y coche eléctrico. En este sentido, y en base a los resultados obtenidos, se podría concluir que el cambio de modelo energético ha favorecido a la población con mejores rentas y que al parece los programas energéticos pueden estar influyendo en la ampliación de esta brecha territorial y social. En este sentido, quizá se podría pensar en direccionar dichas ayudas a los territorios y grupos sociales más vulnerables.

7. Referencias:

- ACER. (2019). *ACER Market Monitoring Report 2018 – Electricity and Gas Retail Markets Volume*. 2018, 46.
- Asensio, J., MATAS, A., & RAYMOND, J.-L. J.-L. (2003). Redistributive effects of subsidies to urban public transport in Spain. *Transport Reviews*, 23(4), 433-452. <https://doi.org/10.1080/0144164022000016658>
- Checa, J., & Nel-lo, O. (2021). Residential Segregation and Living Conditions. An Analysis of Social Inequalities in Catalonia from Four Spatial Perspectives. *Urban Science*, 5(2), 45. <https://doi.org/10.3390/URBANSOCI5020045>
- EIA. (2020). *Energy Technology Perspectives 2020*. Internacional Energy Agency. www.iea.org/t&c/
- Gutiérrez, J. A., & Pérez-Pintor, J. M. (2019). Movilidad Urbana Sostenible en Ciudades Medias. El caso del Campus de Cáceres. *Revista de Estudios Andaluces*, 37(37), 1-208. <https://doi.org/10.12795/rea.2019.i37>
- Jonnes, J. (2004). *Empires of light : Edison, Tesla, Westinghouse, and the race to electrify the world*. Random House.

- López, J. (2018). Consumo doméstico de electricidad y forma urbana en la región metropolitana de Barcelona. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 2018(76), 329-357. <https://doi.org/10.21138/bage.2525>
- López, J. (2021). Autoconsum d'energia per a tothom? Instal·lacions fotovoltaïques d'autoconsum i nivell de renda de la població. En *Làmines d'informació del Grup d'Estudis sobre Energia, Territori i Societat*.
- López Joan. (2021). El component territorial de la transició energètica a Catalunya. *Treballs de la Societat Catalana de Geografia*, 0(91), 117-142. <https://doi.org/10.2436/TSCG.V0I91.149560>
- MITECO. (2019). *Estrategia nacional contra la pobreza energética 2019-2024*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- Morales, A. J., Dong, X., Bar-Yam, Y., & Pentland, A. (2019). Segregation and polarization in urban areas. *Royal Society Open Science*, 6(10). <https://doi.org/10.1098/rsos.190573>
- Redondo, J. L. (2017). Daily mobility, fuel consumption and urban form in the metropolitan region of barcelona. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 63(2), 447-471. <https://doi.org/10.5565/rev/dag.347>
- Renner, A., & Giampietro, M. (2020). Socio-technical discourses of European electricity decarbonization: Contesting narrative credibility and legitimacy with quantitative story-telling. *Energy Research & Social Science*, 59, 101279. <https://doi.org/10.1016/J.ERSS.2019.101279>
- Robinson, D. (2018). Electric vehicles and electricity. *The Oxford Institute for Energy Studies*, June, 1-19.
- Schott, D. (2003). The City and the Electricity. En M. Hard & T. J. Misa (Eds.), *The Urban Machine. Recent Literature on European Cities in The 20th Century*. A «Tensions of Europe» electronic publication. www.iit.edu/misa/toe20/urban-machine/
- Smil, V. (2010). *Energy transitions: history, requirements, prospects*. 245. http://books.google.com/books?id=_1F4RAAACAAJ&pgis=1