



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

PLANIFICACIÓN DE LA LOGÍSTICA Y VIABILIDAD
ECONÓMICA DEL SERVICIO DE AEROTAXI ELÉCTRICO
EN MADRID

Autor: Laura Plaza Santacruz

Director: Dr. Antonio García y de Garmendia

Madrid

Julio de 2019

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESIS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor D^a. Laura Plaza Santacruz DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: PLANIFICACIÓN DE LA LOGÍSTICA Y VIABILIDAD ECONÓMICA DEL SERVICIO DE AEROTAXI ELÉCTRICO EN MADRID, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor CEDE a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.

- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 02 de Julio de 2019

ACEPTA



Fdo.: LAURA PLAZA SANTACRUZ

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
**PLANIFICACIÓN DE LA LOGÍSTICA Y VIABILIDAD ECONÓMICA DEL
SERVICIO DE AEROTAXI ELÉCTRICO EN MADRID**

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2018 - 2019 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es
plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada
de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Laura Plaza Santacruz

Fecha: 02/07/2019



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Dr. Antonio García y de Garmendia

Fecha: 02/07/2019





COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

PLANIFICACIÓN DE LA LOGÍSTICA Y VIABILIDAD
ECONÓMICA DEL SERVICIO DE AEROTAXI ELÉCTRICO
EN MADRID

Autor: Laura Plaza Santacruz

Director: Dr. Antonio García y de Garmendia

Madrid

Julio de 2019

PLANIFICACIÓN DE LA LOGÍSTICA Y VIABILIDAD ECONÓMICA DEL SERVICIO DE AEROTAXI ELÉCTRICO EN MADRID

Autor: Plaza Santacruz, Laura.

Director: García y de Garmendia, Dr. Antonio.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

RESUMEN DEL PROYECTO

En la actualidad existen numerosos problemas relacionados con el transporte en vehículo privado, entre los que destacan las emisiones contaminantes y el tráfico, especialmente en horas punta. En las grandes ciudades del mundo se intenta combatir constantemente estos dos problemas, intentando fomentar alternativas más sostenibles y menos perjudiciales para el medio ambiente, como el uso del transporte público o las restricciones de acceso a vehículos diésel o gasolina a determinados puntos de la ciudad. Consecuentemente, en los últimos años ha habido un crecimiento significativo de *start-ups* de *car-sharing* en España, como car2go o Zity, que han introducido el concepto de compartir vehículos eléctricos, reduciendo así las emisiones nocivas. Es en este contexto donde entra en juego el nuevo servicio de aerotaxi eléctrico sobre el que se ha realizado el proyecto.

La *start-up* alemana Lilium GmbH fue creada en 2015 con el objetivo de introducir un servicio innovador en el mercado en 2025: un aerotaxi eléctrico VTOL (*Vertical Take-Off and Landing*) con capacidad para hasta cuatro pasajeros, que realizara trayectos con una velocidad de hasta 300 kilómetros por hora, con cero emisiones y menor ruido. El servicio es similar a uno de un vehículo de transporte con conductor (VTC), por lo que se puede solicitar a través de una aplicación un servicio entre dos helipuertos o *pads*, y el trayecto puede ser compartido con otros usuarios. En este proyecto se pretende dar solución a la planificación logística de los *pads* de este servicio de Lilium Jet en Madrid, así como determinar si este proyecto es viable económicamente o no en la Comunidad de Madrid.

Es imprescindible en toda *start-up* entender e identificar a quién está enfocada la empresa, cómo se generan los ingresos, de donde provienen los costes, y qué relaciones se ha de

tener con autoridades. Por ello, se ha realizado un Business Model Canvas, en el que se ha determinado que el cliente objetivo de este proyecto es un trabajador que tenga que realizar trayectos largos entre su residencia y su lugar de trabajo, y que prefiera la utilización de este servicio por su comodidad y eficiencia, al uso particular de un vehículo.

Teniendo en cuenta este modelo de negocio, se ha realizado un estudio de un posible proyecto de implantación del Lillium Jet en la Comunidad de Madrid. Este estudio conlleva un análisis detallado de las características de la población por municipios, mediante una segmentación en base a diferentes criterios demográficos, sociales y económicos, que permite establecer en qué lugares geográficos se encuentra la mayor demanda del servicio, y por tanto dónde se deben localizar los *pads*. Además, se han establecido los recorridos más frecuentados por trabajadores entre municipios, lo que ha permitido saber cuál es el mercado potencial de pasajeros por motivos laborales, el escenario principal contemplado en este proyecto. El resultado de este análisis se divide en dos fases: la Fase I, estudiada en más detalle, con tres *pads* en municipios del norte y oeste de la Comunidad de Madrid, y otros tres *pads* dentro de la Ciudad de Madrid; y la Fase II, con otro *pad* en otro municipio del noroeste y tres *pads* adicionales en Madrid.

Así mismo, es necesario tener en cuenta cuántos y qué tipo de recursos son necesarios para poder ofrecer el servicio de aerotaxi eléctrico. Por tanto, se ha realizado una modelización mediante el software Arena de los flujos de pasajeros entre diferentes estaciones de la Fase I para optimizar el uso de recursos, mediante la teoría de colas. De este modo se ha definido un número de aerotaxis y de pilotos necesarios para poder realizar los diferentes trayectos entre *pads*, durante las ocho horas establecidas como las de mayor demanda (cuatro en las horas más frecuentes de entrada laboral y otras cuatro en las de salida).

Una vez obtenidos tanto la localización de los *pads*, como el flujo de pasajeros y los recursos necesarios, se ha procedido a realizar un modelo económico proyectando los ingresos y costes futuros de este proyecto, y descontándolos con una tasa de descuento, según el método de descuento de flujos de caja (DCF). Para realizar todas las hipótesis futuras de ingresos y costes, y debido a que no existen empresas similares actualmente en el mercado, se ha utilizado el informe presentado por Uber Elevate de un proyecto de aerotaxi eléctrico, Uber Air. De esta manera, se ha estimado un valor neto actual (VNA) del proyecto, que permite establecer que el proyecto es rentable económicamente.

Finalmente, la conclusión del estudio realizado es que, según las hipótesis elaboradas y las proyecciones esperadas, el servicio de Lillium Jet en la Comunidad de Madrid es realizable al tener una demanda sólida y que se espera aumente rápidamente en el corto y medio plazo, así como una rentabilidad económica prometedora que, con el acceso a tecnología más barata, y por ende de los precios, en un futuro cercano, atraiga tanto a los inversores como a todo tipo de clientes.

LOGISTICS PLANIFICATION AND ECONOMIC VIABILITY OF AN ELECTRIC AIR TAXI SERVICE IN MADRID

Author: Plaza Santacruz, Laura.

Director: García y de Garmendia, Dr. Antonio.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

PROJECT SUMMARY

Currently, there are numerous problems related to private vehicle transport, including polluting emissions and traffic, especially during peak hours. In the world's biggest cities there are measures being implemented constantly trying to combat these two issues, promoting more sustainable and less detrimental alternatives, such as the use of public transport or restrictions on access to gasoline and diesel vehicles to different parts of a city. Consequently, in recent years there has been a significant growth of new car-sharing companies in Spain, such as car2go or Zity, which have introduced electric car share, thus reducing harmful emissions. It is in this context that the new electric air taxi service on which this project has been based comes into play.

The German start-up Lilium GmbH was created in 2015 with the aim of introducing an innovative service in the market in 2025: an electric air taxi VTOL (vertical takeoff and landing) with capacity for up to four passengers, which will travel with a speed of up to 300 kilometers per hour, with zero emissions and reduced noise. The service is similar to one of a transportation network company (TNC), where a service between two heliports or pads can be requested through an application, and the journey can be shared with other users. This project aims to provide a solution to the logistics planning of the pads of this Lilium Jet service in Madrid, as well as to determine if this project is economically viable or not in the Community of Madrid.

It is essential in every start-up to understand and identify who is the company targeting, how revenues are obtained, where costs are incurred, and what relationships are important to maintain with different authorities. Therefore, a Business Canvas Model has been developed, where the target customer of this project has been portrayed as a business

worker who has to travel long distances between his home and his workplace, and who prefers the air taxi service for its confort and efficiency to travelling in a private vehicle.

Taking into account this business model, a study of a possible project for the introduction of the Lilium Jet in the Community of Madrid has been carried out. This study involves a detailed analysis of the characteristics of the population by municipalities, by means of a segmentation based on different demographic, social and economic criteria, which allows establishing which geographical locations have the greatest demand for the service, and therefore where the pads should be located. In addition, the routes between different municipalities most frequented by workers have been stipulated, which has allowed to assess the potential market of workers, which constitutes the main scenario contemplated in this project. The result of this analysis has been divided into two phases: Phase I, studied in more detail, with three pads in municipalities in the north and west of the Community of Madrid, and three other pads within the City of Madrid; and Phase II, with another pad in another northwest municipality and three additional pads in Madrid.

Likewise, it is necessary to consider how many and what type of resources are necessary to be able to offer the electric taxi service. Therefore, a model of the passenger flows between different stations of Phase I has been modeled with an Arena software to optimize the use of resources, using the queuing theory. Furthermore, a number of air taxis and pilots have been defined to be able to carry out the different journeys between pads, during the eight hours established as the ones with the highest demand (four in the most frequent hours of work entry and four in the hours of end of work).

Having obtained both the location of the pads, as well as the flow of passengers and the necessary resources, an economic model has been carried out, projecting the future revenues and costs of this project, and discounting them with a discount rate, according to the discounted cash flows method (DCF). To carry out all future revenue and cost scenarios, and since there are no similar companies currently in the market, the report presented by Uber Elevate of an electric air taxi project, Uber Air, has been used. In this way, a net present value (NPV) of the project has been estimated, which makes it possible to establish that the project is economically profitable.

Finally, the conclusion of the study is that, according to the hypotheses developed and the expected projections, the Lilium Jet service in the Community of Madrid is feasible because it has a solid demand which is expected to increase rapidly in the short and near

term, as well as a promising economic profitability that, with the availability of cheaper technology, and therefore of prices, in the future, will attract both investors and all types of customers.

Tabla de contenido

1. Introducción al siglo XXI en transporte privado	3
1.1. Evolución de las medidas medioambientales en la Comunidad de Madrid	3
1.2. Electricidad como solución a la contaminación	7
1.3. Oferta y problemática de los servicios de transporte privados existentes	9
1.1.1. Lucha entre VTC, taxi y el tráfico	9
1.3.1. Servicios aéreos bajo demanda	10
1.4. Métodos de caracterización existentes	13
1.5. Objetivos del proyecto enfocado en Madrid	13
1.6. Lilium, una start-up innovadora: objetivo 2025	15
1.7. Misión del proyecto	17
2. Caracterización de la demanda	19
2.1. Potenciales clientes: núcleos inflow y outflow	20
2.1.1. Distinción entre municipios e hipótesis generales	20
2.1.2. Caracterización de la Comunidad de Madrid	21
2.1.2.1. Zonas residenciales y empresariales	22
2.1.2.2. Ponderación económica	40
2.1.2.3. Zonas comerciales y de ocio	43
2.1.3. Caracterización del municipio de Madrid	46
2.1.3.1. Ponderación empresarial	46
2.1.3.2. Ponderación económica	50
2.1.3.3. Ponderación de población	53
2.1.3.4. Ponderación de edad	55
2.1.3.5. Zonas de transporte: estaciones de tren, autobús y aeropuerto	58
2.2. Estimación de conexiones entre nodos	59
2.2.1. Hipótesis realizadas	59
2.2.2. Estaciones Fase I	61
2.2.2.1. Estaciones fuera del municipio de Madrid	61
2.2.2.1.1. Helipuerto de Alcobendas	68
2.2.2.1.2. Helipuerto de Las Rozas	70
2.2.2.1.3. Helipuerto de Boadilla del Monte	72
2.2.2.2. Estaciones dentro del municipio de Madrid	74
2.2.2.2.1. Helipuerto de Moncloa	74
2.2.2.2.2. Helipuerto de Atocha	76
2.2.2.2.3. Helipuerto de Nuevos Ministerios	77
2.2.3. Estaciones Fase II	78
2.2.3.1. Estaciones fuera del municipio de Madrid	78
2.2.3.1.1. Helipuerto de Pozuelo de Alarcón	78
2.2.3.2. Estaciones dentro del municipio de Madrid	80
2.2.3.2.1. Helipuerto de Chamberí	81
2.2.3.2.2. Helipuerto de Salamanca	82
2.2.3.2.3. Helipuerto de Barajas	83
2.2.4. Resumen resultados localizaciones	85

3. Recursos logísticos necesarios.....	87
3.1. Teoría de Colas	89
3.1.1. Modelo del proceso de llegada de los clientes	89
3.2. Recursos: aerotaxis.....	90
3.2.1. Hipótesis realizadas en Arena	90
3.2.2. Resultados simulación Arena	93
3.3. Recursos: pilotos	94
4. ¿Aceptar o rechazar el proyecto? Estudio económico	95
4.1. Costes de inversión y operativos.....	95
4.1.1. Inversiones (CAPEX)	96
4.1.2. Costes operativos (OPEX).....	96
4.2. Ingresos por trayectos realizados.....	97
4.2.1. Número de pasajeros y trayectos al año.....	97
4.2.1.1. Días laborales utilizados en el modelo.....	97
4.2.1.2. Ingresos por pasajero y kilómetro	98
4.2.2. Comparativa con un vehículo propio	100
4.3. Rentabilidad económica	103
4.3.1. Hipótesis consideradas.....	103
4.3.1.1. Incremento de ventas	103
4.3.1.2. Inversiones (CAPEX) y depreciación.....	104
4.3.1.3. Descuento de Flujo de Caja (DFC).....	104
5. Proyecto Lilium en Madrid: conclusiones extraídas	109
6. Bibliografía.....	111

1. Introducción al siglo XXI en transporte privado

En los últimos años, se ha vivido un aumento exponencial de las plataformas y las compañías de servicios de transporte privado. Compañías como Uber o Cabify, han revolucionado el sistema de transporte tradicional del taxi en las ciudades, apelando a un público inmerso en la tecnología móvil, con aplicaciones fáciles de usar, rápidas y seguras, y todo ello proporcionando un servicio excelente. Sin embargo, la problemática de la contaminación global ha dejado su huella en las medidas especiales tomadas por algunas ciudades para tratar de reducir el uso de los automóviles e impulsar el transporte público. En Madrid, no hace mucho que se ha delimitado una “zona cero” alrededor del centro de la ciudad, en la que no tienen permitido circular los automóviles de altas emisiones, pero sí los coches eléctricos e híbridos. Además, el tráfico en las grandes ciudades supone muchas veces un impedimento más a la hora de desplazarse de un lugar a otro, llegando a duplicarse el tiempo estimado de trayecto en hora punta. Teniendo en cuenta estos factores, en este proyecto se plantea la distribución logística y la viabilidad económica de implantar en Madrid el servicio de aerotaxi eléctrico de la *start-up* Liliium.

1.1. Evolución de las medidas medioambientales en la Comunidad de Madrid

Desde hace varios años, la contaminación en las principales ciudades del mundo es un tema muy analizado a nivel político, y cada vez la población es más consciente de la seriedad de la polución ante la que nos hayamos y sus efectos adversos contra el medio ambiente a nivel mundial. El calentamiento global, la desaparición de hábitats y por tanto de especies, el aumento de partículas nocivas para la salud, son algunos de los peligrosos efectos del consumo de recursos por parte de los humanos. Por tanto, las autoridades pertinentes han decidido tomar ciertas medidas a nivel estatal, y otras a nivel regional, para reducir esta contaminación del planeta.

En el ámbito que concierne a este proyecto, la Comunidad de Madrid, se han decretado una serie de protocolos a nivel autonómico y municipal para reducir las emisiones de dióxido de nitrógeno, NO_2 , originado por la oxidación del óxido de nitrógeno, NO , que se genera en la combustión de los motores convencionales, causantes del 50% del total de las emisiones contaminantes. El NO_2 es, además impulsor de la creación de partículas $\text{PM}_{2.5}$ (partículas en suspensión de 2.5 micras), y, expuesto a la radiación ultravioleta, potencia la formación de ozono troposférico O_3 , uno de los principales causantes del “smog fotoquímico”. El NO_2 se

relaciona en la actualidad con numerosas enfermedades respiratorias, como bronquitis aguda o enfisema pulmonar, así como existen estudios que lo relacionan con problemas de atención en niños¹.

Por ello, se han establecido unos niveles de actuación mínimos denominados “escenarios” a nivel autonómico en función del nivel de partículas de NO₂ en cada municipio, que pueden ser ampliados en cada ayuntamiento. En el Ayuntamiento de Madrid se han concebido los siguientes niveles, con carácter acumulativo²:

- **Nivel de información y preaviso:** cuando dos estaciones de una misma zona obtengan más de 180 µg/m³ de NO₂ durante dos horas consecutivas, o cuando tres estaciones de cualquier zona superen ese nivel durante tres horas.
- **Escenario 1 – un día por encima de los límites:** limitación de la velocidad de la M-30 y accesos a Madrid a 70 km/h.
- **Escenario 2 – dos días por encima de los límites:** prohibición de la circulación a los vehículos sin distintivo ambiental por la M-30 y el interior, y prohibición del estacionamiento en la zona SER, exceptuando los vehículos con etiqueta ambiental CERO o ECO.
- **Escenario 3 – tres días por encima de los límites:** prohibición de la circulación en todo el término municipal a los vehículos sin distintivo ambiental.
- **Escenario 4 – cuatro días por encima de los límites:** prohibición de la circulación en todo el término municipal a los vehículos con distintivo ambiental B.
- **Escenario 5 – cuatro días por encima de los límites:** prohibición de la circulación en todo el término municipal a todos los vehículos excepto los de distintivo ambiental CERO y ECO, con estacionamiento en la zona SER sólo para los CERO.

Además de estas medidas, en el mes de noviembre de 2018, se estableció desde el Ayuntamiento de Madrid una nueva normativa, perteneciente al Plan A de Calidad del Aire y Cambio Climático, por la cual se establecía “Madrid Central”, una zona de bajas emisiones en la que los coches tendrán regulado la libre circulación y estacionamiento en la zona SER en función de su etiqueta ambiental. La zona comprendida por esta normativa se detalla en la Figura 1, y comprende también las cuatro Áreas de Prioridad Residencial (APR) efectivas hasta el momento

¹ Fundación para la Salud Geoambiental, “Dióxido de nitrógeno”, 2019.

² Ayuntamiento de Madrid, “Protocolo de actuación para episodios de contaminación por dióxido de nitrógeno en la ciudad de Madrid”, 2018.

de entrada en vigor de Madrid Central, donde se restringía el acceso y circulación a vehículos no residentes.

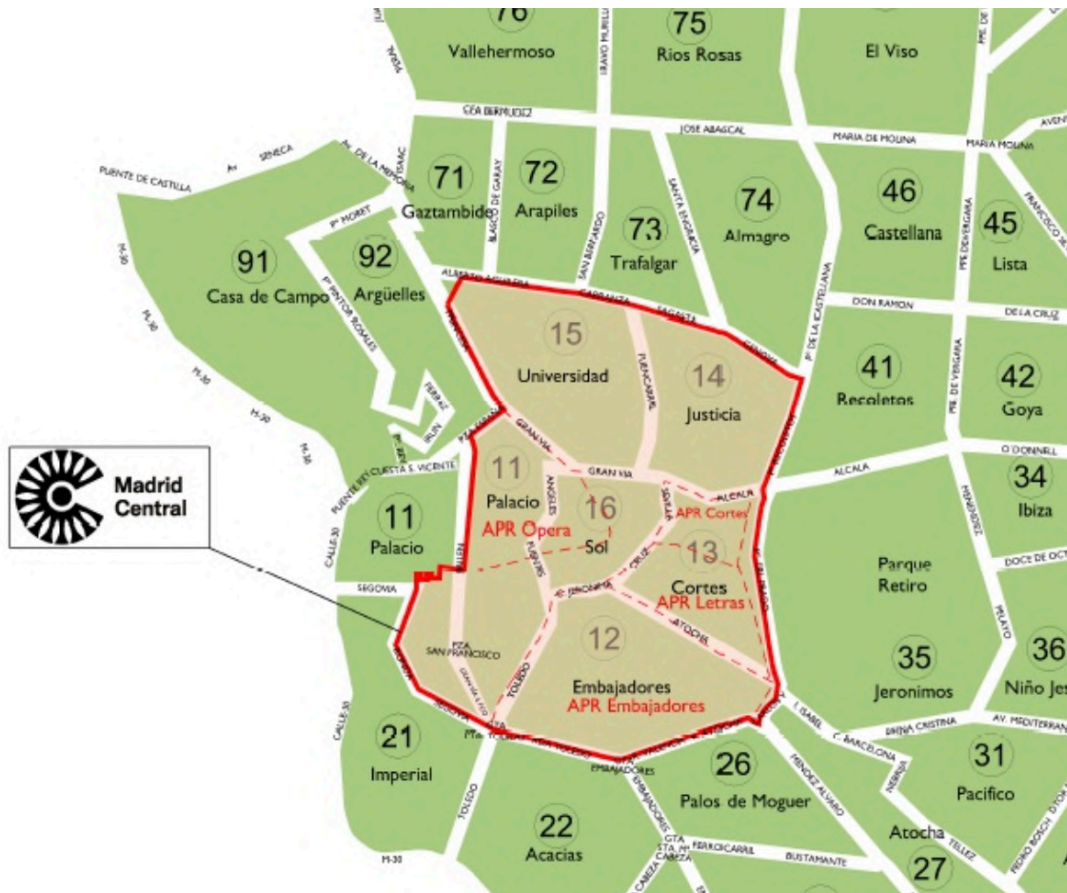


Figura 1: Zona delimitada por la normativa de Madrid Central.

Fuente: Ayuntamiento de Madrid.

Esta medida conlleva tres clasificaciones diferentes en función del barrio de residencia y las características de los vehículos:

- **Residentes y vehículos con etiquetas CERO emisiones** (vehículos eléctricos e híbridos enchufables con autonomía de más de 40 km) tendrán permitida la libre circulación y estacionamiento.
- **Vehículos con etiqueta ECO** (otros vehículos híbridos, propulsados por gas natural comprimido o gas licuado del petróleo) podrán estacionar durante dos horas.
- **Vehículos con etiqueta B o C** (vehículos de gasolina matriculados a partir de 2000 o diésel a partir de 2006) sólo podrán acceder a la zona si disponen de un aparcamiento privado o estacionan el vehículo en un aparcamiento público
- **Vehículos sin distintivo** (todos aquellos que no cumplen las condiciones citadas anteriormente) no podrán circular por la zona delimitada.

Las sanciones económicas por el incumplimiento de la normativa serán similares a las establecidas en las APR, es decir, 90 euros, reducida a 45 euros por pronto pago³.

Los beneficios que se esperan obtener con la implantación de esta medida, según un estudio de la Universidad Politécnica de Madrid, incluyen una reducción del 40% de las emisiones contaminantes de NO₂ en el área establecida, lo que conllevará a una reducción en el área total del municipio de Madrid del 23% de la emisión de NO₂. Además, se espera que se fomente la renovación de vehículos menos contaminantes, y por tanto reducir las emisiones también en otras zonas de la ciudad, por lo que estas medidas podrían ser aún más beneficiosas⁴.

Adicionalmente, se pretende continuar restringiendo el acceso a los vehículos más contaminantes, de manera que gradualmente se vayan eliminando los vehículos más antiguos con la prohibición de su circulación por todo el término municipal, de cara al año 2025⁵.

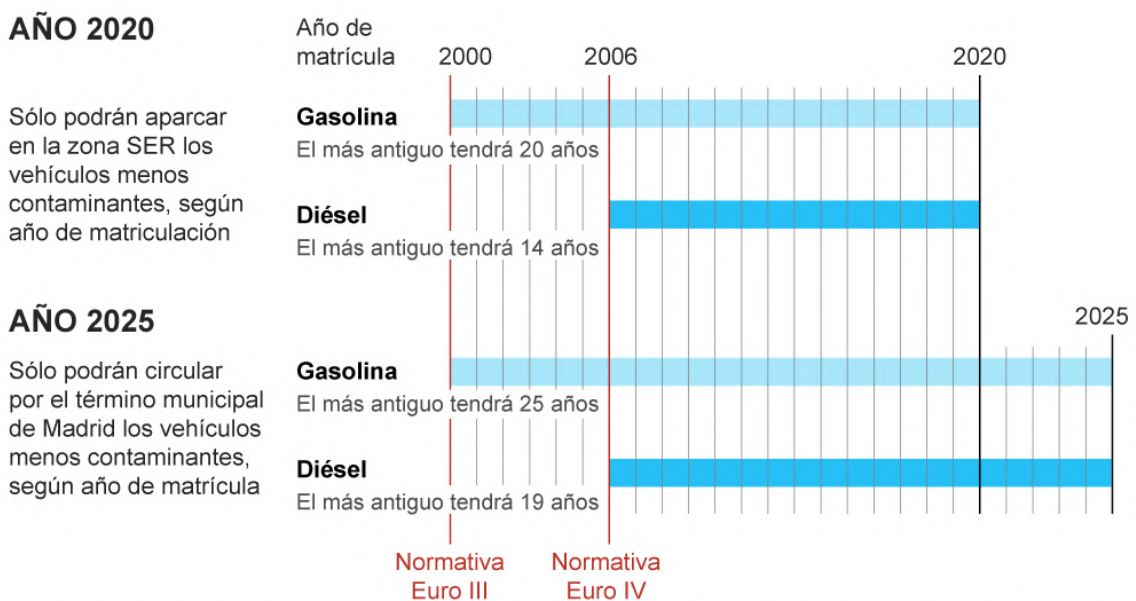


Figura 2: Prohibición de circulación de los vehículos de gasolina y diésel para el año 2020 y 2025.

Fuente: El Mundo Gráficos.

³ J. París, “Madrid Central: importe de las multas por incumplir las normas y protocolos”, 2019.

⁴ M.A. Medina, “Las emisiones contaminantes se reducen un 38% en Madrid Central”, 2019.

⁵ Ayuntamiento de Madrid, “Plan A: Plan de Calidad y Cambio Climático”, 2019.

1.2. Electricidad como solución a la contaminación

Desde hace más de un siglo se ha experimentado con los coches eléctricos e híbridos como alternativas a los más que establecidos motores de gasolina o diésel. Aunque los coches eléctricos iban evolucionando poco a poco, con un aumento de su potencia y autonomía, no tuvieron mucho éxito en el mercado debido a su capacidad evidentemente inferior a la de los motores convencionales. Los coches híbridos, por otro lado, empezaron a tomar fuerza a partir de 1997 cuando Toyota lanzó al mercado el conocido Toyota Prius. Este coche sí que tuvo relevancia, ya que permitía obtener lo mejor de ambas formas de motor: el motor de combustible para una conducción con mayor potencia y distancia, y el motor eléctrico para la conducción urbana. No obstante, su incremento en precio y menores prestaciones fueron una detracción para muchos usuarios, algo que sigue vigente hoy en día⁶.

Es interesante por tanto entender cuál es la diferencia en contaminación entre vehículos de gasolina o diésel y aquellos híbridos o eléctricos. Aunque existen ciertos escépticos en cuanto a la diferencia de contaminación entre los coches con motores de combustión interna (gasolina o diésel) y los vehículos eléctricos o híbridos, lo cierto es que los vehículos propulsados por baterías de electricidad generan menos emisiones contaminantes para el medio ambiente. En el caso de un vehículo híbrido frente a un vehículo de motor de combustión interna (MCI), el proceso comienza con la fuente de energía con la que se alimentan. En un vehículo híbrido, aunque la fuente que alimenta a los motores proviene de ciertos tipos de fuentes emisoras de dióxido de carbono, esta emisión supone aproximadamente un 30% de reducción en un coche híbrido con respecto a la de un motor de combustión interna. Así mismo, se reduce la emisión de monóxido de carbono en casi un 80%, y de NOx en un 93,3%. Todo ello demuestra que el uso en determinadas ocasiones del motor eléctrico en un vehículo híbrido supone una reducción muy significativa de CO₂, y casi total del resto de emisiones contaminantes. Y cabe destacar, que teniendo en cuenta estas cifras refiriéndose a un vehículo híbrido, que también hace uso de un MCI, si se trasladan a las emisiones de un vehículo 100% eléctrico, se reducen de forma todavía más pronunciada, algo que es de especial atención en la sociedad actual⁷.

En términos estadísticos, según la ANFAC (Asociación Española de Fabricantes de Automóviles y Camiones), de los 1,23 millones de turismos y todoterrenos matriculados en el 2017 en España, el 46,56 % fueron de gasolina, 48,34% de diésel, el 4,77% del total fueron vehículos híbridos y sólo el 0,33% fueron eléctricos. Es evidente por tanto que la venta de coches híbridos y

⁶ J. Costas, MotorPasión, "Historia del coche híbrido: la tecnología se perfecciona", 2009.

⁷ R. Bargalló, J. Llaverías, H. Martín, "El vehículo eléctrico y la eficiencia energética global", 2015.

especialmente eléctricos en España es un mercado pequeño en relación con los motores tradicionales, si bien crece a unos niveles extraordinarios: los coches eléctricos puros han aumentado un 95,71% sus matriculaciones en un año, así como los híbridos enchufables, que han visto un aumento del 121,18% en el mismo periodo. Esto muestra un claro interés por el público, de cara a una mayor preocupación por el medio ambiente y una regulación cada vez más estricta que trata de favorecer el uso de vehículos de cero emisiones y el transporte público⁸. Por otro lado, el gobierno tratará de favorecer una predilección por los coches híbridos y eléctricos, con subvenciones como el Plan VEA, con entrada en vigor hacia julio de 2019⁹.

Otro gran cambio en términos de transporte ha surgido a partir de la creación de empresas como car2go, EMOV, Wible o Zity, con su servicio de alquiler por minutos de vehículos eléctricos denominado “*carsharing*”, en áreas delimitadas que van desde el área de Madrid metropolitana a un radio de más de 10 km hacia el exterior de la M-30, dependiendo de la compañía. Estos vehículos, que también han supuesto una parte importante de las ventas y matriculaciones de vehículos eléctricos en los últimos años, proponen una alternativa más económica que un servicio convencional de taxi o VTC, a la par que menos contaminante¹⁰.



Figura 3: Vehículo eléctrico de la flota de car2go.

Fuente: Beltline transportation.

⁸ ANFAC, “El mercado de vehículos en 2018”, 2018.

⁹ J. Pastor, “Plan VEA: ayudas a la compra de coches eléctricos en España en 2018”, 2018.

¹⁰ G. Hornillos, “Movilidad urbana: motivaciones y barreras del consumidor en el carsharing”, 2018.

1.3. Oferta y problemática de los servicios de transporte privados existentes

1.1.1. Lucha entre VTC, taxi y el tráfico

Los servicios de transporte con conductor, como Cabify o Uber, se introdujeron en España en 2012 y 2014, pero no sin un sinnúmero de disputas legales contra las cooperativas de taxis¹¹. A día de hoy siguen en batallas legales por la supuesta competencia desleal en la que se apoyan mediante la denominación de VTC (vehículo de transporte con conductor), y el ratio de VTC contra taxis que pueda haber en cada ciudad, y estos conflictos han provocado huelgas, manifestaciones e incluso la suspensión del servicio de Uber durante dos años hasta 2016. Sin embargo, es interesante cómo, cada vez más, la población joven apuesta por las plataformas VTC antes que los taxis tradicionales¹².

La apuesta de este segmento de la población por las plataformas de servicio VTC es bastante inapelable: se aferran a un servicio más seguro (se sabe en todo momento quién conduce el vehículo, dónde se encuentra y a dónde se dirige), con una tarifa fija en el momento de contratar el servicio (frente a las tarifas en función del tiempo y desplazamiento que utilizan los taxímetros). Además, los vehículos más cuidados y en excelente estado, y el pago a través de la aplicación sin necesidad de pagar en efectivo o esperar a encender el datafono (sistema que hasta hace no mucho tiempo no era obligatorio tener instalado en los taxis tradicionales). Todo ello lleva a que la población joven que prefiere el transporte en vehículo frente al transporte público se decante cada vez más hacia los VTC.

¹¹ A.M. Martín, “Todas las claves para entender la guerra del taxi contra Uber y Cabify”, 2018.

¹² E. Cortés, “Los ‘millennials’ los prefieren Cabify”, 2017.



Figura 4: Imagen de un taxi y un VTC circulando por las calles de Madrid.

Fuente: EFE.

Sin embargo, algo que todavía no es posible gestionar en las grandes ciudades es el tráfico y el tiempo que se tarda en recorrerse una ciudad de una punta a otra. Por ejemplo, en el caso de Madrid, el trayecto entre Las Rozas a Las Tablas sin ser hora punta es de unos 25 minutos, mientras que a las nueve de la mañana o a las siete de la tarde se puede elevar hasta 1 hora y 20 minutos. Simplemente para llegar al aeropuerto desde Majadahonda, un trayecto con tráfico suave lleva entorno a 35 minutos. Esto ocurre en otras ciudades a mayor escala: México DF, Sao Paulo son tres de las ciudades desarrolladas con mayor congestión del mundo. En estas ciudades, el transporte en vehículo privado puede llevar más de una hora de una punta a la opuesta de la ciudad, algo que no es muy práctico en ninguna ocasión, especialmente en horario laboral, y que aumenta considerablemente el precio del trayecto. Para solucionar este problema, surgieron diferentes *start-ups* con servicios de traslado por aire en helicóptero, denominados VTOL (Vertical Take-off and Landing).

1.3.1. Servicios aéreos bajo demanda

Voom es una subsidiaria de Airbus creada en 2016, destinada a ofrecer un servicio de helicóptero bajo demanda. Ese mismo año se inició un periodo de un mes de prueba para determinar la demanda en la ciudad de Sao Paulo que resultó ser un éxito, con más de 1100 viajeros y 600 vuelos¹³. La compañía, por tanto, decidió lanzar un servicio permanente de vuelos

¹³ Airbus, "Voom's helicopter commuting service launches in Mexico City", 2018.

entre los cinco aeropuertos de la ciudad y cuatro helipuertos estratégicamente situados en el centro, con trayectos entre nueve y veintisiete minutos, y precios desde 80 hasta 140 euros. Este año, Voom se ha instaurado en México DF, conectando la ciudad entre cuatro puntos: Montes Urales, Interlomas, Aeropuerto Internacional de Ciudad de México y el Aeropuerto Internacional de Toluca. De esta forma, el trayecto habitual de dos a tres horas para cruzar la ciudad se redujo a diez minutos en helicóptero. Además, recientemente se ha creado una asociación entre Cabify y Voom en Sao Paulo, CabiFly, y en México DF, Cabify Air, que redirige la página de Cabify a la de Voom, ampliando además de la experiencia por aire también el trayecto de desplazamiento en tierra desde y hasta los helipuertos¹⁴.



Figura 5: Helicóptero de la flota de Voom en México.

Fuente: Voom.

No obstante, cada vez es más frecuente escuchar hablar de las polémicas de la contaminación en el mundo, el calentamiento global, y cómo afectan los gases de combustión de los vehículos y naves que utilizan combustible para funcionar. Se están imponiendo nuevas normativas cada vez más estrictas que limitan o prohíben el uso de los vehículos de combustión, y se promueve el uso de los vehículos híbridos o eléctricos por ser “cero emisiones”, es decir, no contaminantes.

Para dar una solución a este problema medioambiental, se están desarrollando tecnologías que utilicen motores eléctricos para su funcionamiento. Uber Air es un proyecto de la empresa Uber de cara a 2023, que pretende ofrecer un servicio de VTOL eléctrico en dos ciudades de Estados Unidos (Dallas, TX y Los Ángeles, CA) y una tercera todavía sin anunciar internacionalmente. Este

¹⁴ Cabify, 2019.

servicio se pretende implantar mediante un acuerdo con Airbus, y conectar los cuatro aeropuertos de la ciudad con cinco puntos de recogida en helipuertos en el centro¹⁵.

El vehículo que está siendo desarrollado por Lilium es un “jet” eléctrico con capacidad para hasta cuatro pasajeros y un piloto, en un largo plazo autopiloto, que pueda utilizarse como servicio de transporte privado a través de una aplicación móvil. Lilium propone un servicio de VTOL eléctrico similar al de Uber Air, con la ventaja competitiva de un menor coste y la mayor flexibilidad del servicio: un coste similar al de un trayecto en coche VTC, con un sistema de cero emisiones, menor ruido, mayor rapidez y menor coste operativo, accesible desde cualquier punto a cualquier punto de la ciudad. Esto es posible gracias a que los helipuertos necesarios pueden ser desarrollados por particulares, con las normativas pertinentes y financiación inicial de la empresa¹⁶.



Figura 6: Prototipo del aerotaxi eléctrico Lilium jet.

Fuente: Lilium.

¹⁵ Uber Elevate, “Fast-Forwarding to a Future of On-Demand Urban Air Transportation”, 2016.

¹⁶ Lilium, “The Jet”, 2019.

1.4. Métodos de caracterización existentes

Para poder definir la implantación en Madrid de este servicio, es necesaria una minuciosa segmentación de la demanda para determinar el número y la localización de los puntos requeridos de aterrizaje y despegue, así como del valor del proyecto estimado, que son el objeto de estudio de este proyecto.

En cuanto a las soluciones existentes hoy en día para dar sentido a la distribución logística de este tipo de servicios, dado que los aerotaxis eléctricos son un producto muy novedoso que de momento no está en uso, se han asimilado los modelos de transporte de otros servicios (trenes, aeropuertos, etc.) para poder dar una solución a la distribución de los diferentes helipuertos y rutas a implantar.

Para determinar el centro de los núcleos diferenciados de población, se utilizan las herramientas de “*clustering*”, con las que se determina el punto más favorable para representar a un determinado conjunto de datos; en este caso de población distribuida por zonas.

Según las teorías de optimización de redes, de acuerdo con la distribución reticular de las diferentes estaciones caracterizadas como “nodos” emisores y receptores, se utilizan la Teoría de Redes (*Network Analysis*), el Problema del Camino Más Corto (*Shortest Path*) y la Teoría de Colas (*Queuing Theory*) para dar con las rutas óptimas entre diferentes nodos de acuerdo con la demanda, así como para cuantificar el número de recursos y la rapidez que debe tener el sistema¹⁷.

1.5. Objetivos del proyecto enfocado en Madrid

Lilium es una *start-up* que depende de infinitos factores para tener éxito, siendo uno de ellos, y probablemente el más importante, que exista una demanda de clientes del servicio que estén dispuestos a utilizarlo y a pagar un precio por ello que sea beneficioso para la empresa. Es en este campo en donde se centra el proyecto: determinar si en la ciudad de Madrid, como ejemplo de ciudad grande y cosmopolita en España, existe una demanda sostenible e incremental del servicio de aerotaxi eléctrico desarrollado por Lilium. Teniendo en cuenta los nudos de demanda que puedan generarse en la ciudad, se pueden extraer conclusiones acerca de cómo implantar este sistema en función del número de helicópteros necesarios para suplirla, número de

¹⁷ W.L. Winston, “Operations research: applications and algorithms”, 2004.

helipuertos que haya que crear para dar servicio a los trayectos más demandados por los clientes, así como los recursos necesarios materiales y personales para gestionarlo, y por tanto realizar una planificación de la implantación del servicio de cara a 2025 en esta ciudad.

Así mismo, se tiene en cuenta que, aunque exista esta demanda creciente y se puedan obtener los recursos necesarios, un proyecto debe ser rentable a largo plazo para ser exitoso. Por tanto, es de crucial importancia conocer los beneficios que se puedan generar por los distintos canales de ingresos, así como los costes derivados del desarrollo, implantación y mantenimiento tanto de aeronaves y helipuertos como del servicio online o vía app proporcionado a los clientes. Este análisis es de vital importancia para determinar si es factible o no lanzar este producto en el mercado español.

Consecuentemente con todo lo citado anteriormente, los objetivos del trabajo son los siguientes:

1. Análisis de los núcleos de emisión y recepción de potenciales clientes: mediante la segmentación y caracterización de la población madrileña, a través de un sistema de ponderación de diferentes factores demográficos, sociales, culturales y económicos, se pretende conocer los hábitos de transporte de la población y poder diferenciar diferentes tendencias de desplazamiento más y menos frecuentes entre varios puntos de la capital.
2. Estimación de las conexiones entre nudos y el tamaño de mercado en Madrid del servicio de transporte aéreo bajo demanda: estudio de los trayectos principales que los clientes en los nudos de emisión y recepción realizan, el potencial número de ellos que querrían utilizar el servicio, así como lo que los clientes están dispuestos a pagar en base a servicios sustitutivos por el servicio de aerotaxi eléctrico.
3. Optimización de las rutas y estimación de los recursos necesarios para cubrir la demanda: optimización con métodos matemáticos de la conexión entre los nudos establecidos para determinar el recorrido de los helicópteros. Una vez determinados los trayectos más frecuentados y el número de clientes que podrían utilizar el servicio, se procede a determinar los recursos necesarios para suplir este servicio, en términos de cuántos vuelos se estimase van a realizar, qué número de aeronaves es necesario para llevarlos a cabo, cuántos helipuertos son necesarios en función de los núcleos de emisión y recepción, etc.

4. Análisis de los ingresos y costes de la implantación del proyecto en Madrid para determinar su viabilidad económica: estudio de los costes derivados del desarrollo de las aeronaves y helipuertos, su producción, mantenimiento, desarrollo de la plataforma tecnológica, marketing, así como demás costes operativos, y de los ingresos estimados por trayecto y persona, por publicidad y demás canales de cara al futuro, para realizar una valoración de la empresa y concretar si es económicamente viable o no su lanzamiento en España.

1.6. Lilium, una start-up innovadora: objetivo 2025

En 2015 nació Lilium GmbH, una *start-up* basada en Múnich fundada por cuatro amigos que querían cambiar la forma de transporte en el mundo. Su visión era poder crear un aerotaxi eléctrico, denominado Lilium Jet, un helicóptero con cero emisiones, menor ruido y mucho más rápido, que pudiera funcionar como un servicio de transporte entre diferentes helipuertos (o “pads”), y que estuviera al alcance de la sociedad. Todo ello los llevó a reclutar un equipo muy fuerte de ingenieros, inversores y capital humano, que tienen el objetivo de lanzar este servicio al mercado en 2025¹⁸.

El diseño del Lilium Jet es innovador y único. Está compuesto por dos alas, una principal y una secundaria, en la parte frontal y posterior de la nave. No tiene cola ni alerones, puesto que está dotada de treinta y seis motores eléctricos, más pequeños que los convencionales, situados en las dos alas, lo que le permite tener un control mucho más preciso y eficiente del movimiento del *jet*, así como aumentar la seguridad del vuelo¹⁹.

¹⁸ Lilium, “About Us”, 2019.

¹⁹ Lilium, “The Jet”, 2019.



Figura 7: Lilium Jet.

Fuente: Lilium.

En cuanto a las características de vuelo, está diseñado para que sólo utilice el 10% de la batería en un vuelo, ya que al llegar a la altura deseada de vuelo se produce el efecto *lift* con el que la aeronave puede mantenerse en vuelo prácticamente sin utilizar la batería eléctrica. Además, se pretende llegar a conseguir recorrer una distancia de hasta 300km en sólo 60 minutos²⁰, lo que posibilita el servicio de transporte dentro de la ciudad más rápido que cualquiera de los disponibles, con la clara ventaja de esquivar el tráfico actual en las grandes ciudades del mundo.

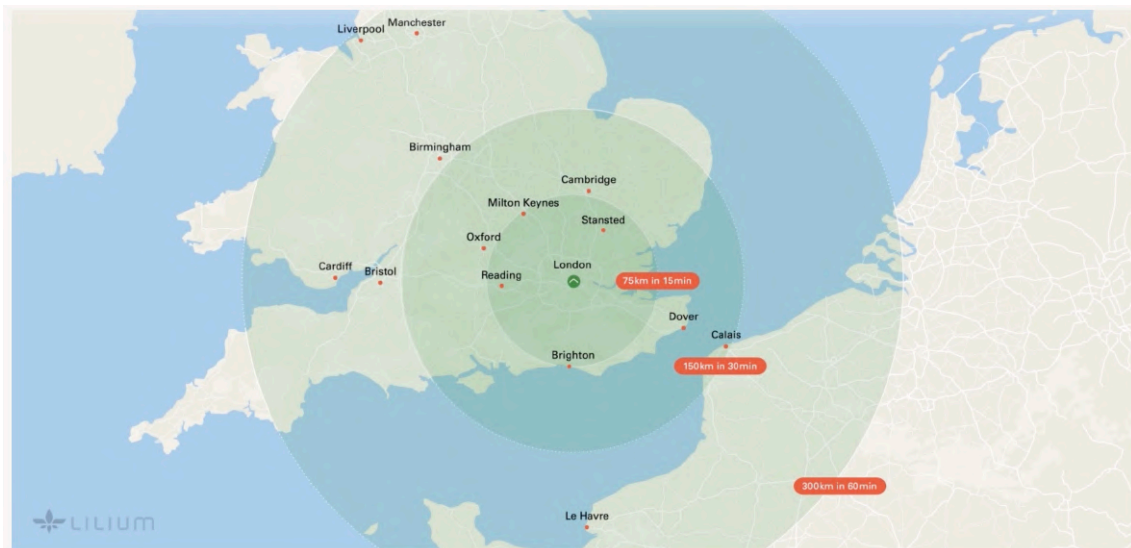


Figura 8: Mapa de las distancias y tiempos estimados de vuelo para la zona de Londres.

Fuente: Lilium.

²⁰ Lilium, "Our mission", 2019.

1.7. Misión del proyecto

Teniendo en cuenta esta misión de Liliium de conectar de forma eficiente, segura y sostenible diferentes puntos clave de una ciudad o ciudades entre sí, el proyecto de Liliium en España cobra sentido. Como es sabido por prácticamente todos los residentes españoles, hay una gran concentración de trabajo, ocio y puntos de conexión de transporte ferroviario o en avión en las capitales de las provincias (Madrid, Barcelona, Valencia, etc.). Esto conlleva que se generen multitud de atascos en las entradas o salidas de la ciudad en hora punta, vacaciones, festivos etc., lo que imposibilita el tránsito entre zonas más residenciales y otras zonas empresariales o comerciales. Además, existen ciudades españolas que no cuentan con infraestructuras de transporte adecuadas, y que sufren el abandono del turismo y negocio por esta razón (un caso muy notable es el que se sufre en Extremadura hoy en día).

Por ello, es de gran interés estudiar la posibilidad de instaurar el servicio de Liliium Jet en España para mejorar la comunicación entre ciudades, y también “intra” ciudades, es decir, entre diversos puntos de las provincias y la capital.

Dado que este proyecto es de un alcance demasiado ambicioso, sobre todo teniendo en cuenta que se trata de un servicio nuevo que requiere mucha inversión inicial y un tiempo de implantación elevado, se ha optado por reducir el alcance inicial del proyecto a la Comunidad de Madrid, al ser Madrid la capital del país y referente en cuanto a zona turística, de negocios y comercial. Sin embargo, si el proyecto fuera un éxito en Madrid, se podría expandir el alcance del servicio a otras ciudades clave como Barcelona o Valencia, y también realizar trayectos entre estas ciudades y otras del país.

Para sentar las bases del proyecto, los objetivos y los puntos de análisis se ha realizado un *Business Model Canvas* para la introducción del servicio de Liliium Jet en Madrid:

<p>Aliados Clave</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gobierno autonómico • Ayuntamientos • Inversores • Fabricantes de los diferentes materiales y equipos necesarios • Constructoras • Suministradores eléctricos • Servicios de transporte terrestre (desde/hasta helipuerto) • Plataformas online/Apps 	<p>Actividades Clave</p> <ul style="list-style-type: none"> • Búsqueda de financiación e inversores • Creación de prototipos finales • Planificación de rutas • Creación de helipuertos • Software de la aplicación • Contratación de personal • Mantenimiento • Atención al cliente 	<p>Propuesta de Valor</p> <ul style="list-style-type: none"> • Servicio de aerotaxi eléctrico con espacio para hasta 5 pasajeros, destinado a realizar el transporte entre diferentes helipuertos en el ámbito de la Comunidad de Madrid. • Servicio rápido y económico que sustituya el desplazamiento en vehículo personal, VTC, taxi o transporte público en esta ciudad. 	<p>Relación con el Cliente</p> <ul style="list-style-type: none"> • Experiencia diferente y única • Seguridad • Atención al cliente • Descuentos para clientes frecuentes • Apps y redes sociales 	<p>Segmentos de Clientes</p> <ul style="list-style-type: none"> • Trabajadores que requieran transportarse largas distancias para ir y volver del trabajo diariamente • Individuales que requieran realizar viajes desde/hasta el aeropuerto, estaciones de tren, etc., desde puntos lejanos de la ciudad • Individuales que quieran realizar trayectos largos puntuales entre zonas alejada del centro y éste.
<p>Recursos Clave</p> <ul style="list-style-type: none"> • Helicópteros eléctricos • Pilotos • Personal de administración • Técnicos • Patentes 	<p>Canales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Liliium.com • App • Redes sociales • Empresas VTC colaboradoras • Aeropuerto • Ayuntamiento 			
<p>Estructura de Costes</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inversión inicial (helicópteros y helipuertos) • Electricidad • Salarios • Impuestos • Depreciación • Mantenimiento • Alquiler oficinas/hangares 		<p>Estructura de Ingresos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Precio del trayecto por persona • Publicidad de servicios complementarios 		

Figura 9: BMC del proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

2. Caracterización de la demanda

Como se ha explicado anteriormente, este proyecto se ha realizado con el objetivo de determinar cómo sería la implantación del proyecto *Lilium* en ciudades de España, tanto a nivel logístico como económico. Para ello, es necesario conocer de antemano una estimación del tamaño de mercado que habría en el lugar de implantación del servicio, así como las características de este: la competencia que pueda surgir tanto de servicios sustitutivos como de iniciativas similares, los hábitos de consumo de la población estudiada, o la frecuencia de desplazamiento de un punto A a otro B en el área de enfoque. Es por ello necesario determinar inicialmente el alcance de este primer paso de entrada en un nuevo mercado.

Siguiendo el modelo estratégico utilizado por otros servicios de transporte similares, como las plataformas VTC, se ha optado en este proyecto por delimitar la implantación del aerotaxi a una comunidad autónoma concreta, la Comunidad de Madrid. Estas plataformas optaron por adentrarse primero en la capital española, para luego ir expandiéndose hacia otras grandes ciudades, como Barcelona, Valencia, Alicante, Sevilla o Málaga²¹.

La población madrileña es numerosa, con 6,6 millones de habitantes en toda la comunidad autónoma, y 3,2 millones en el municipio de Madrid²². Esto supone un 14,17% y un 6,9% de la población respectivamente, por lo que se convierte en una muestra representativa para probar la viabilidad del servicio en el país. Además, concretamente la ciudad de Madrid concentra una gran cantidad de turismo, comercio y trabajo, lo que hace que se convierta en un núcleo urbano muy interesante para los efectos de este análisis. Sin embargo, la distribución poblacional, económica o empresarial no es uniforme en ningún caso en esta comunidad autónoma, por lo que es necesaria una caracterización de la demanda exhaustiva y detallada que localice los focos más influyentes donde centrar el estudio.

Inicialmente, se va a proceder a hacer una estimación de la demanda potencial de clientes en la Comunidad de Madrid. Para ello, es necesario llevar a cabo un estudio minucioso y detallado sobre determinados parámetros poblacionales, económicos y geográficos de los 179 municipios que comprende la comunidad autónoma. Con ello se determinará la localización de los núcleos de clientes más propensos a utilizar el servicio del aerotaxi eléctrico, para poder modelar la distribución de los diferentes helipuertos y los recursos necesarios en cada zona.

²¹ Histografías.com, “La historia de Cabify convertida en infografía”, 2017.

²² Instituto de Estadística, “Población por municipios y zonas estadísticas”, 2018.

El proceso de caracterización de nudos poblacionales requiere una recopilación de datos de la población extensa. Por ello, se ha recurrido a numerosas fuentes de información estadística tanto nacionales como autonómicas, detalladas en la bibliografía.

2.1. Potenciales clientes: núcleos inflow y outflow

La distribución logística de un servicio de transporte bajo demanda, en especial uno en el que se requieren diferentes infraestructuras de helipuertos (*pads*, como se refiere a ellos la empresa Liliium, de ahora en adelante), implica que el servicio de subida y bajada de clientes debe realizarse desde determinados puntos fijos en el territorio que se ha establecido previamente. No hay posibilidad, por tanto, de utilizar un servicio similar a los VTC, donde el punto de partida y destino pueden ser prácticamente cualquier punto de la ciudad, sino que tiene que haber un análisis importante acerca de los puntos clave en los que invertir en la creación de los *pads*, que se determinen mediante la localización de los nudos emisores y receptores de pasajeros potenciales. Estos nodos se han caracterizado estudiando diferentes características sociales, demográficas y económicas, así como el estado existente de la red de transporte público y privado entre diferentes nodos.

2.1.1. Distinción entre municipios e hipótesis generales

Los datos sobre los que se basa este estudio son datos oficiales del Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid (filial autonómica del Instituto Nacional de Estadística, INE), y del Ayuntamiento de Madrid, que varían en año de publicación entre finales de 2017 y finales de 2018, en función del área de estudio. Se han realizado diferentes hipótesis, que se han decidido clasificar en dos áreas diferenciadas: por un lado, la caracterización de los 179 municipios de la Comunidad de Madrid, y por otro lado la caracterización de los 21 barrios del municipio de Madrid. Este municipio se ha escogido debido a que es el municipio que cuenta con casi la mitad de la población total, mayores flujos de personas ya sea por cuestiones laborales, comerciales, de ocio o turismo, al ser la capital de la provincia.

Adicionalmente, es muy necesario conocer a qué tipo de cliente va destinado el servicio, para poder segmentar la población. Se ha realizado el estudio teniendo en cuenta que, dado que es un servicio no estrictamente necesario, con un coste en principio mayor que el del transporte convencional, se debe enfocar en clientes adultos en edad laboral y con una renta un poco

mayor a la media, es decir, trabajadores o clientes puntuales que estén un rango de edad entre 35 – 50 años aproximadamente y que puedan permitirse disponer de un servicio que facilita mucho su transporte a costa de un precio un poco más elevado.

En el mundo de las *start-ups* es sabido que el porcentaje de fracaso de nuevas empresas es muy elevado, llegando a un 96%²³. Es por ello por lo que muchas compañías optan por introducir sus productos o servicios de forma escalonada, asentando bien sus bases antes de lanzarse a un mercado mayor, para no derrochar inversión ni tiempo si el proyecto está destinado al fracaso.

Dado que, como se ha comentado anteriormente, este proyecto es muy novedoso, requiere una elevada inversión inicial y la entrada en un mercado completamente nuevo, se ha determinado que la implantación del servicio se puede hacer en diferentes fases. Así, la primera fase no debe contar con más de 6 pads distribuidos en el área de interés, mientras que, si esta fase fuera exitosa, se procedería a ampliar el número de puntos de recogida a 10 en una segunda fase. Siguiendo esta línea, en la tercera fase se procedería a introducir el servicio de conexión entre Madrid y otras ciudades cercanas, como Toledo o Guadalajara, con una posible expansión hacia otras zonas de España.

2.1.2. Caracterización de la Comunidad de Madrid

La Comunidad de Madrid cuenta con 179 municipios, en los que hay un total de 6.578.079 residentes (datos de diciembre de 2018). Entre ellos hay características muy dispares: mientras que Madarcos cuenta con un total de 47 habitantes, en Madrid residen 3.223.334, muy por encima del segundo municipio más poblado, Móstoles, con 207.095. Esto demuestra la gran desigualdad de densidad de población en las diferentes zonas, que también se traslada a una concentración de zonas más pobladas y menos, zonas que tienen más o menos comercio y negocio, y zonas que se utilizan como residenciales, llegando a las llamadas “ciudades dormitorio”, cuyos residentes habitualmente trabajan en otras zonas de la ciudad. Es por ello por lo que es necesario segmentar las zonas geográficas en base a las condiciones más favorables para la implantación del servicio de aerotaxi eléctrico²⁴.

Es cierto también que, dado que la mayor parte del negocio y ocio se encuentran en el municipio de Madrid, muchos de los trayectos para los que se va a utilizar el servicio deben ser para conectar el resto de municipios con el municipio de Madrid. Para determinar cuáles de estos

²³ E. Ries, “The Lean Start-up”, 2008.

²⁴ Instituto de Estadística, “Población por municipios y zonas estadísticas”, 2018.

municipios son los más interesantes para llevar a cabo el proyecto, se han determinado características diferentes, mediante un proceso similar metodológico de razonamiento analítico:

1. Determinación de la característica de la zona geográfica a utilizar.
2. Determinación de los datos necesarios para poder analizar críticamente el criterio.
3. Análisis estadístico de la muestra de datos, diferenciando los *outliers* si los hubiera, y estudiando los rangos, mediana y media del conjunto.
4. Índice de ponderación de 1 – 4 o de 1 – 5, dividiendo los datos en base a las medidas estadísticas citadas, siendo 1 el menos favorable a formar parte de esa característica y 5 el más favorable, para formar un criterio de segmentación. En los casos en los que se han utilizado varios índices para formar un único criterio, se ha llevado a cabo el mismo proceso, pero se han tenido en cuenta diferentes ponderaciones para cada índice para formar el criterio de segmentación.

2.1.2.1. Zonas residenciales y empresariales

Se ha denominado “zonas residenciales” a los municipios en los que existe un mayor número de población en edad laboral, pero que cuentan con mayor número de residentes que de trabajadores, es decir, que hay más habitantes que se desplazan fuera del municipio para trabajar que los que se quedan. Por tanto, se determina como “zona empresarial” al caso contrario a una zona residencial, esto es, cuando existe más población que se desplaza a esta zona por motivos laborales que la que realmente habita allí.

El criterio de segmentación escogido tiene en cuenta dos índices diferenciados:

1. Índice de ponderación residencial

El índice de ponderación residencial pretende determinar las zonas y municipios más poblados por habitantes que tienen que salir de ese municipio a otros por trabajo. Por tanto, pretende determinar las zonas de la Comunidad de Madrid en las que hay más trabajadores habitantes en ese municipio que los que trabajan allí.

Los datos recabados para la obtención de este índice se basan en las estadísticas recogidas en el Instituto Nacional de Estadística y el Banco de Datos Municipal del Instituto de Estadística, con estudios realizados en los últimos años completos, 2017 y 2018, dependiendo de cada fuente.

Este índice tiene en cuenta tres factores diferentes, que se han analizado por separado en un primer momento: la población, la edad media de la población y el porcentaje de viviendas principales que existen en el municipio.

- **Población:** se ha trabajado con la hipótesis de que, al existir tantos municipios y muchos de ellos con una población muy reducida, no tiene cabida para este estudio centrarse en los que resulten muy pequeños, pues económicamente no sería viable invertir grandes cantidades de capital en la construcción y mantenimiento de *pads* que no tuvieran suficiente demanda como para cubrir estos gastos. Por tanto, se ha realizado un estudio de los estadísticos descriptivos de la muestra de datos, mediante la herramienta XL-STAT en Excel, para identificar los posibles *outliers*, rango de datos, cuartil primero y tercero y mediana y media. Para ello, se han estudiado 178 de los 179 municipios, pues se ha excluido el municipio de Madrid al ser claramente un *outlier* y distorsionar mucho los resultados estadísticos, y teniendo en cuenta que este municipio se va a tener en cuenta posteriormente de forma más detallada. Los resultados de este análisis y el gráfico tipo “Boxplot” resultante se muestran en la siguiente tabla y figura²⁵:

Estadístico	X1
No. de observaciones	178
Mínimo	47
Máximo	207095
1° Cuartil	909
Mediana	3716
3° Cuartil	12593
Media	18847
Varianza (n-1)	1590784002
Desviación típica (n-1)	39885

Tabla 1: Resultados del análisis de estadísticos descriptivos de la población.

Fuente: Elaboración propia.

²⁵ Instituto de Estadística, “Población por municipios y zonas estadísticas”, 2018.

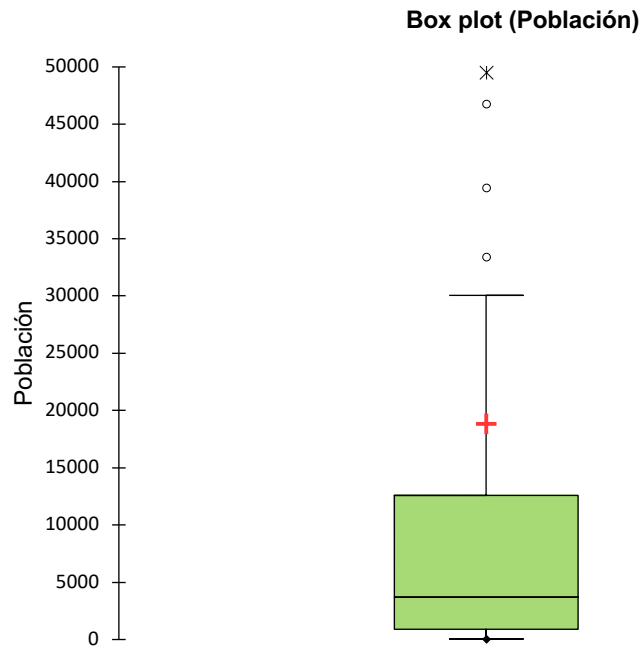


Gráfico 1: Boxplot de los estadísticos descriptivos de la población.

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta estos resultados, resulta obvio que existen varios municipios que se han descartado como *outliers* en el cálculo de los estadísticos, pues, como se puede ver, están muy por encima de la media y mediana de los datos. Así mismo, es destacable ver que la mediana de los datos es significativamente inferior a la media, debido precisamente a que existen muchos municipios con poblaciones significativamente mayores que otros. De este modo, la media de estos datos para segmentar los datos carece de sentido, al ser muy influida por muy pocos municipios y no dar un criterio estadístico fiable acerca de la distribución de estos datos.

Según estos resultados, se ha decidido proceder a segmentar estos datos en cinco intervalos:

- 1 – Del primer cuartil a la mediana: de 909 a 3.716 habitantes.
 - 2 – De la mediana al tercer cuartil: de 3.717 a 12.593 habitantes.
 - 3 – Del tercer cuartil al máximo (sin *outliers*): de 12.594 a 30.052 habitantes.
 - 4 – Del máximo al último *outlier*: por encima de 30.052 habitantes.
- “NO” – Municipios con población inferior a 909 habitantes.

Se han tenido en cuenta estos intervalos debido a que es más interesante de cara al estudio del mercado municipios con poblaciones mayores, para poder captar un mayor número de clientes, por lo que los municipios con poblaciones inferiores a 909 habitantes se han considerado como

“NO”, es decir, no reciben una ponderación, al no corresponder con las características de zona con población suficientemente grande.

Teniendo en cuenta los resultados de los municipios, hay un total de 46 municipios con ponderaciones altas, de 3 o 4, que tienen una población por encima del tercer cuartil del total de los datos, relevantes para el proyecto. No obstante, dado la gran cantidad de municipios con ponderación 4, se ha optado por filtrar directamente con esta ponderación, dando lugar a 26 municipios.

Código	Municipio	Población	Ponderación Población
28005	Alcalá de Henares	193.751	4
28006	Alcobendas	116.037	4
28007	Alcorcón	169.502	4
28013	Aranjuez	59.037	4
28014	Arganda del Rey	54.554	4
28022	Boadilla del Monte	52.626	4
28047	Collado Villalba	63.074	4
28042	Colmenar del Arroyo	49.498	4
28049	Coslada	81.860	4
28058	Fuenlabrada	193.586	4
28061	Galapagar	33.379	4
28065	Getafe	180.747	4
28074	Leganés	188.425	4
28079	Madrid	3.223.334	4
28080	Majadahonda	71.785	4
28092	Móstoles	207.095	4
28106	Parla	128.256	4
28113	Pinto	51.541	4
28115	Pozuelo de Alarcón	86.172	4
28123	Rivas-Vaciamadrid	85.893	4
28127	Rozas de Madrid (Las)	95.550	4
28130	San Fernando de Henares	39.466	4
28134	San Sebastián de los Reyes	87.724	4
28148	Torrejón de Ardoz	129.729	4
28903	Tres Cantos	46.750	4
28161	Valdemoro	74.745	4
Total general		5.764.116	4

Tabla 2: Resultados de las poblaciones con ponderación 4.

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que el total de los 26 municipios con ponderación 4 es un 87,6% de la población total, teniendo en cuenta el municipio de Madrid, lo que demuestra de nuevo esta desigualdad entre una gran cantidad de municipios con una población pequeña y unos pocos con poblaciones muy superiores.

- **Edad:** teniendo en cuenta el tipo de servicio explicado en el Business Model Canvas, y el tipo de cliente al que está enfocado, se ha procedido a realizar un estudio de estadísticos descriptivos similar en los datos referentes a la edad media de los habitantes de cada municipio. Este servicio, como se ha establecido, está enfocado a grupos de personas entre 35 - 50 años, por lo que se ha buscado una ponderación mayor en los municipios cuyas edades estuvieran entre esos rangos de acuerdo con los estadísticos destacados²⁶.

Estadístico	Edad media
No. de observaciones	179
Mínimo	31,990
Máximo	59,680
1° Cuartil	38,373
Mediana	40,875
3° Cuartil	43,155
Media	41,335
Varianza (n-1)	20,736
Desviación típica (n-1)	4,554

Tabla 3: Resultados del análisis de estadísticos descriptivos de la edad media.

Fuente: Elaboración propia.

²⁶ Instituto de Estadística, “Edad media de la población”, 2018.

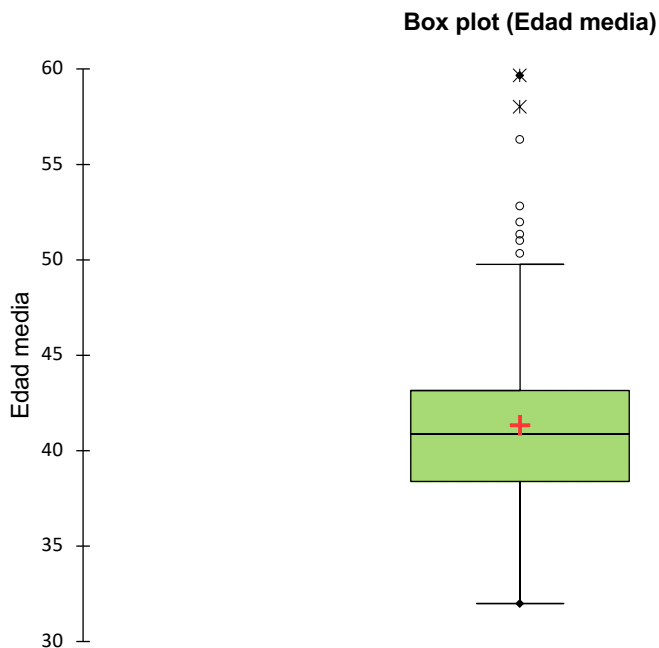


Gráfico 2: Boxplot de los estadísticos descriptivos de la edad media.

Fuente: Elaboración propia.

Tras observar los resultados del análisis de los estadísticos descriptivos, se puede observar que existe un rango muy amplio de diferentes edades, entre 32 y 60 años de media, lo que demuestra que diferentes municipios atraen a personas más jóvenes o de mayor edad en función de los recursos que ofrezcan, cercanía o lejanía del lugar del trabajo, precio de la vivienda, etc. Puesto que, en este caso, es más atractivo para una población más joven el servicio propuesto, se han tenido en cuenta los siguientes intervalos de ponderación:

4 – Del mínimo al primer cuartil: de 31,99 a 38,37 años.

3 – Del primer cuartil a la mediana: de 38,38 a 40,88 años.

2 – De la mediana al tercer cuartil: de 40,89 a 43,16 años.

1 – Del tercer cuartil al máximo (sin *outliers*): 43,17 a 49,76.

“NO” – Municipios con edad superior a 49,77 años.

Estos segmentos caracterizan la edad media de toda la población del municipio, y no sólo del rango de edad comprendido entre 35 – 50 años y trabajador activo en el que se enfoca el proyecto. Además, un hecho relevante de la población española es el envejecimiento de esta en las últimas décadas, con cifras que demuestran que en la actualidad, más del 17% de la población española es mayor de 65 años, y un 25% de ellas es mayor de 80 años. La esperanza de vida aumenta, inversamente a la natalidad. Por tanto, es razonable extrapolar que, en una edad

media poblacional, haya más influencia de la población mayor, que no es tan relevante para este estudio, y desvirtúa la caracterización de los datos. Se ha optado entonces por extraer los segmentos de menor edad posibles a raíz del análisis de estadísticos descriptivos, con la hipótesis de que las poblaciones de los municipios se distribuyan de forma similar (misma probabilidad de que se dé una edad u otra), y por tanto, cuanto más joven sea la edad media de un municipio, más población joven habitará allí.

Se han encontrado un total de 44 municipios con la mayor ponderación, es decir, con edades medias comprendidas entre los 31,99 y 38,37 años, que se muestra en la siguiente tabla:

Código	Municipio	Población	Edad media	Ponderación edad
28002	Ajalvir	4.559	37,88	4
28009	Algete	20.473	38,03	4
28012	Anchuelo	1.272	38,28	4
28014	Arganda del Rey	54.554	37,69	4
28022	Boadilla del Monte	52.626	36,37	4
28023	Boalo (El)	7.399	37,82	4
28026	Brunete	10.596	37,68	4
28032	Camarma de Esteruelas	7.226	36,67	4
28036	Casarrubuelos	3.707	35,80	4
28041	Cobeña	7.280	35,68	4
28044	Colmenarejo	9.124	37,47	4
28050	Cubas de la Sagra	6.310	36,40	4
28053	Daganzo de Arriba	10.061	34,65	4
28056	Fresnedillas de la Oliva	1.554	37,66	4
28057	Fresno de Torote	2.181	38,14	4
28073	Humanes de Madrid	19.587	34,49	4
28075	Loeches	8.673	35,34	4
28083	Meco	13.959	35,80	4
28084	Mejorada del Campo	23.241	38,06	4
28086	Molar (El)	8.666	37,72	4
28096	Navalcarnero	28.305	36,65	4
28104	Paracuellos de Jarama	24.521	33,34	4
28106	Parla	128.256	36,26	4
28108	Pedrezuela	5.746	36,55	4
28113	Pinto	51.541	37,72	4
28116	Pozuelo del Rey	1.120	35,89	4
28119	Quijorna	3.357	37,08	4
28123	Rivas-Vaciamadrid	85.893	35,59	4
28127	Rozas de Madrid (Las)	95.550	37,77	4
28129	San Agustín del Guadalix	13.273	35,71	4
28132	San Martín de la Vega	8.318	36,17	4

28137	Santos de la Humosa (Los)	2.542	35,91	4
28141	Sevilla la Nueva	9.095	36,71	4
28145	Talamanca de Jarama	3.725	37,98	4
28150	Torrejón de Velasco	8.582	37,76	4
28149	Torrejón de la Calzada	4.298	36,41	4
28152	Torrelodones	23.361	38,37	4
28161	Valdemoro	74.745	35,63	4
28162	Valdeolmos-Alalpardo	4.039	36,03	4
28167	Velilla de San Antonio	12.193	36,34	4
28172	Villalbilla	13.421	35,80	4
28175	Villamantilla	1.420	37,37	4
28176	Villanueva de la Cañada	1.547	36,98	4
28177	Villanueva del Pardillo	17.127	34,12	4
Total general		895.023	36,63	4,00

Tabla 4: Resultados de las edades con ponderación 4.

Fuente: Elaboración propia.

Se puede concluir que los municipios con menores edades medias no se corresponden sistemáticamente con aquellos de mayores poblaciones, sino que en ciertos municipios muy pequeños en población, existe una media de edad muy joven, probablemente debido a que las familias jóvenes se trasladan a municipios más alejados de la capital en los que la vivienda es más asequible.

- **Porcentaje de viviendas principales:** según los datos del INE, se ha extraído para los diferentes municipios el porcentaje de viviendas principales con respecto al total de viviendas, así como el número de viviendas total que existen en cada municipio. Estos datos permiten establecer cuál es el porcentaje de residentes en cada municipio que vive de forma permanente en el municipio, respecto a los que tienen en ese municipio su segunda residencia o una residencia temporal, aunque estén empadronados allí (por ejemplo, el caso de los estudiantes o personas con empleos en otras ciudades)²⁷.

²⁷ Instituto de Estadística, “Porcentaje de viviendas principales”, 2018.

Estadístico	X1
No. de observaciones	179
Mínimo	0,198
Máximo	0,981
1° Cuartil	0,447
Mediana	0,625
3° Cuartil	0,816
Media	0,620
Varianza (n-1)	0,048
Desviación típica (n-1)	0,218

Tabla 5: Resultados del análisis de estadísticos descriptivos de las viviendas principales.

Fuente: Elaboración propia.

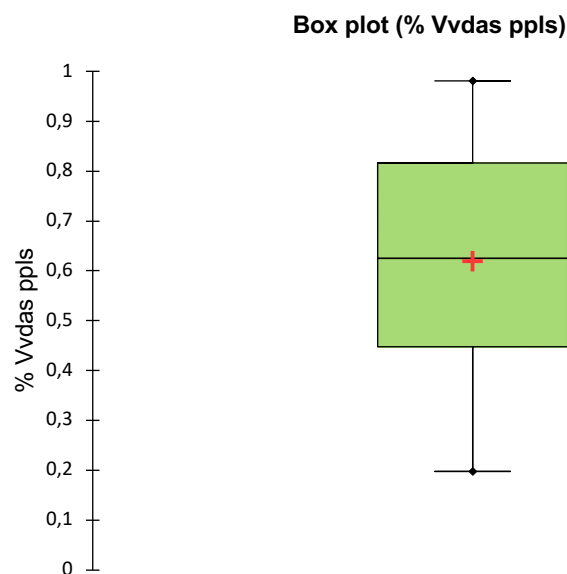


Gráfico 3: Boxplot de los estadísticos descriptivos de las viviendas principales.

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar como, en este caso, por ser datos porcentuales y distribuidos según una Normal, no se ha encontrado ningún *outlier* entre los datos, lo que da lugar a los siguientes intervalos de ponderación:

- 1 – Del mínimo al primer cuartil: de 19,8% a 44,7% viviendas principales.
- 2 – Del primer cuartil a la mediana: de 44,8% a 62,5% viviendas principales.
- 3 – De la mediana al tercer cuartil: de 62,6% a 81,6% viviendas principales.
- 4 – Del tercer cuartil al máximo: por encima de 81,7% viviendas principales.

Como se puede comprobar, existen municipios con un porcentaje de viviendas principales muy bajo, lo que corresponde con municipios que tienen residencias que no son habituales, y por tanto no son tan influyentes en el estudio de este mercado, en cuanto a trayectos frecuentes por trabajo. De esta manera, se considera que, para establecer el índice de ponderación residencial, es necesario tratar con municipios que tengan un mayor porcentaje de viviendas principales. Los resultados de una ponderación 4 para los municipios se exponen en la siguiente tabla:

Código	Municipio	Población	% Viviendas Ppales	Ponderación viviendas
28002	Ajalvir	4.559	98,08%	4
28005	Alcalá de Henares	193.751	91,07%	4
28006	Alcobendas	116.037	94,95%	4
28007	Alcorcón	169.502	93,24%	4
28009	Algete	20.473	82,64%	4
28014	Arganda del Rey	54.554	92,50%	4
28022	Boadilla del Monte	52.626	88,55%	4
28026	Brunete	10.596	83,23%	4
28032	Camarma de Esteruelas	7.226	83,48%	4
28036	Casarrubuelos	3.707	86,69%	4
28040	Ciempozuelos	24.087	82,39%	4
28045	Colmenar Viejo	7.902	83,88%	4
28049	Coslada	81.860	96,59%	4
28053	Daganzo de Arriba	10.061	87,13%	4
28058	Fuenlabrada	193.586	94,10%	4
28065	Getafe	180.747	90,61%	4
28066	Griñón	10.178	82,09%	4
28073	Humanes de Madrid	19.587	90,88%	4
28074	Leganés	188.425	93,95%	4
28079	Madrid	3.223.334	86,26%	4
28080	Majadahonda	71.785	93,61%	4
28083	Meco	13.959	83,72%	4
28084	Mejorada del Campo	23.241	89,35%	4
28086	Molar (El)	8.666	85,67%	4
28089	Moraleja de Enmedio	5.021	91,29%	4
28092	Móstoles	207.095	94,17%	4
28104	Paracuellos de Jarama	24.521	96,27%	4
28106	Parla	128.256	92,81%	4
28113	Pinto	51.541	88,35%	4
28115	Pozuelo de Alarcón	86.172	89,71%	4
28123	Rivas-Vaciamadrid	85.893	97,20%	4
28127	Rozas de Madrid (Las)	95.550	84,42%	4

28129	San Agustín del Guadalix	13.273	89,90%	4
28130	San Fernando de Henares	39.466	95,36%	4
28132	San Martín de la Vega	8.318	89,15%	4
28134	San Sebastián de los Reyes	87.724	91,51%	4
28148	Torrejón de Ardoz	129.729	90,59%	4
28149	Torrejón de la Calzada	4.298	89,77%	4
28152	Torrelodones	23.361	84,31%	4
28154	Torres de la Alameda	7.760	87,93%	4
28903	Tres Cantos	46.750	92,01%	4
28161	Valdemoro	74.745	90,00%	4
28167	Velilla de San Antonio	12.193	94,39%	4
28178	Villanueva de Perales	21.000	81,82%	4
28177	Villanueva del Pardillo	17.127	91,35%	4
Total general		5.860.242	89,71%	4

Tabla 6: Resultados de la ponderación 4 del porcentaje de viviendas principales.

Fuente: Elaboración propia.

Existen por tanto 45 de 179 municipios con una tasa alta de viviendas principales, lo que permite que sean considerados en el índice de ponderación residencial. Aquellos que no aparecen tienen un porcentaje de viviendas principales demasiado bajo que concluye que los habitantes de esos municipios no son residentes habituales y por tanto están fuera del alcance de esta ponderación. Es interesante además resaltar que el municipio con mayor porcentaje de viviendas principales es Ajalvir, un municipio con una población muy pequeña, mientras que el segundo y tercero son Rivas-Vaciamadrid y Coslada, con poblaciones muy superiores en torno a los 80.000 habitantes, lo que determina que esta ponderación debe utilizarse en conjunto con las otras dos mencionadas para sacar resultados congruentes en relación al mercado potencial de clientes, puesto que por sí sola puede llegar a desvirtuar el objetivo.

Teniendo en cuenta los tres factores descritos (población, edad y viviendas principales), se ha desarrollado un índice de ponderación residencial, teniendo en cuenta diferentes ponderaciones para cada uno de los tres aspectos y realizando el mismo procedimiento de descripción de estadísticos y segmentación.

El criterio de ponderación de los tres aspectos se entiende como la importancia relativa de cada uno de los aspectos dentro del índice de ponderación residencial, que permita caracterizar de la manera más óptima los datos para realizar un estudio realista del mercado. Así, se han relativizado los tres aspectos en función de su relevancia, de esta manera:

1. Población: es el aspecto más relevante de los tres. Que exista o no una población suficientemente grande es un factor determinante en el plan logístico de distribución de los helipuertos, así como en la optimización de las rutas y establecimiento de los recursos. Aunque los otros dos criterios sean favorables a una ponderación elevada, si no existe una población suficientemente grande no es rentable ni eficiente suponer que ese municipio deba ser considerado como nudo emisor o receptor, dado que no va a tener el tránsito suficiente para rentabilizarlo. Por tanto, este aspecto es considerado extremadamente relevante y se ha ponderado con mayor peso que la edad o el porcentaje de las viviendas principales. El factor elegido de peso es de tres veces el de los otros criterios, puesto que se considera un factor determinante, y por tanto, aunque los municipios ponderen 4 tanto en edad como en viviendas principales, es necesario que queden en una ponderación inferior si no cumplen con la ponderación superior de población.
2. Edad: como se ha mencionado previamente, el factor de la edad de la población de cada municipio es relevante en cuanto comprenda mayor o menor cantidad de población objetivo de este estudio, de entre 35 – 50 años. Como se ha comprobado, aunque es un estimador sesgado teniendo en cuenta el envejecimiento poblacional, se ha asumido que, a menor edad media de la población, más relevancia tendrá esta población en la caracterización de la demanda. Sin embargo, este criterio por sí sólo no es determinante, ya que, aunque la edad media de un municipio sea muy joven, no implica que esta población sea relevante en cuanto al estudio de los nudos emisores y receptores. De esta forma, se pondera con menor peso que la población.
3. Porcentaje de viviendas principales: de igual manera que con el criterio de la edad, es un criterio relativo que no puede sostenerse por sí mismo, dado que puede surgir, por ejemplo, el caso en el que sea un municipio con un porcentaje alto de viviendas principales pero una edad media muy elevada que lo excluya del planteamiento del aerotaxi como transporte. Igualmente, por tanto, se pondera inferiormente al factor de población.

En conclusión, la fórmula que se ha utilizado para ponderar los criterios en un solo índice de población residencial denominado P es la siguiente:

$$P = 3 \cdot P_{poblacion} + P_{edad} + P_{viviendas}$$

Además, se han excluido de las ponderaciones los municipios que en cualquiera de los tres criterios ponderaban “NO”, dado que se considera necesario que se cumplan los tres requisitos con una ponderación suficiente, de 3 como mínimo, para ser significativos en el índice total.

Se ha realizado el mismo criterio para segmentar este nuevo índice que el anterior: estudio de los estadísticos descriptivos, y segmentación entre los diferentes parámetros para conseguir un resultado final con ponderaciones de 1 a 4 para el índice total, que se muestra a continuación.

Estadístico	datos
No. de observaciones	133
Mínimo	5,000
Máximo	20,000
1° Cuartil	9,000
Mediana	12,000
3° Cuartil	16,000
Media	12,421
Varianza (n-1)	19,427
Desviación típica (n-1)	4,408

Tabla 7: Resultados del análisis de estadísticos descriptivos del índice de población residencial.

Fuente: Elaboración propia.

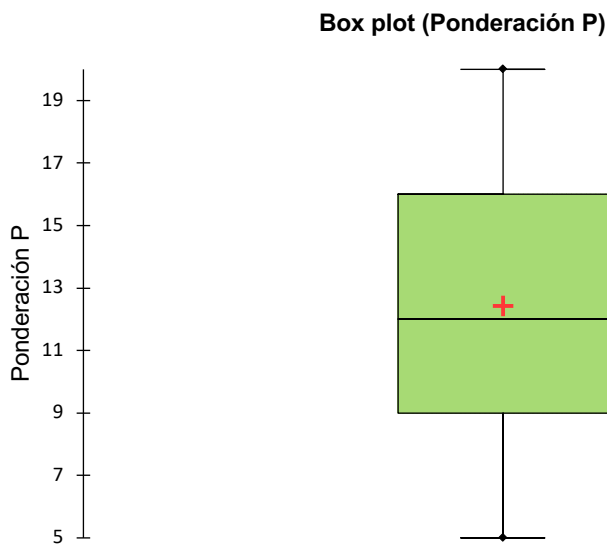


Gráfico 4: Boxplot de los estadísticos descriptivos del índice de población residencial.

Fuente: Elaboración propia.

La segmentación final en ponderaciones de 1 a 4 se ha llevado a cabo según el mismo procedimiento que en los tres criterios descritos anteriormente:

- 1 – Del mínimo al primer cuartil: P de 5 a 9.
- 2 – Del primer cuartil a la mediana: P de 10 a 12.
- 3 – De la mediana al tercer cuartil: P de 13 a 16.
- 4 – Del tercer cuartil al máximo: P por encima de 16.

Se muestran a continuación los resultados para los índices de población residencial más altos.

Código	Municipio	Población	3*Pob x Edad x Vvdas	Ponderación Residencial
28005	Alcalá de Henares	193.751	18	4
28006	Alcobendas	116.037	19	4
28007	Alcorcón	169.502	18	4
28009	Algete	20.473	17	4
28013	Aranjuez	59.037	18	4
28014	Arganda del Rey	54.554	20	4
28022	Boadilla del Monte	52.626	20	4
28040	Ciempozuelos	24.087	16	4
28047	Collado Villalba	63.074	18	4
28042	Colmenar del Arroyo	49.498	16	4
28049	Coslada	81.860	18	4
28058	Fuenlabrada	193.586	19	4
28061	Galapagar	33.379	18	4
28065	Getafe	180.747	18	4
28073	Humanes de Madrid	19.587	17	4
28074	Leganés	188.425	18	4
28079	Madrid	3.223.334	17	4
28080	Majadahonda	71.785	19	4
28083	Meco	13.959	17	4
28084	Mejorada del Campo	23.241	17	4
28092	Móstoles	207.095	18	4
28096	Navalcarnero	28.305	16	4
28104	Paracuellos de Jarama	24.521	17	4
28106	Parla	128.256	20	4
28113	Pinto	51.541	20	4
28115	Pozuelo de Alarcón	86.172	19	4
28123	Rivas-Vaciamadrid	85.893	20	4
28127	Rozas de Madrid (Las)	95.550	20	4
28129	San Agustín del Guadalix	13.273	17	4
28130	San Fernando de Henares	39.466	19	4
28134	San Sebastián de los Reyes	87.724	19	4
28148	Torrejón de Ardoz	129.729	19	4
28152	Torrelodones	23.361	17	4

28903	Tres Cantos	46.750	19	4
28161	Valdemoro	74.745	20	4
28172	Villalbilla	13.421	16	4
28178	Villanueva de Perales	21.000	16	4
28177	Villanueva del Pardillo	17.127	17	4
Total general		6.006.471	18	4

Tabla 8: Resultados de la ponderación 4 del índice de población residencial.

Fuente: Elaboración propia.

A la vista de estos resultados se pueden extraer dos conclusiones. En primer lugar, se establecen estos municipios como los que aglomeran más población, con una edad media joven y en las que residen de forma habitual gran parte de sus poblaciones, por lo que se constituyen como los principales potenciales nudos emisores de población a tener en cuenta en el análisis de la implantación de los *pads* en esta comunidad autónoma. Esto se corrobora con la inclusión entre los resultados de municipios como Alcalá de Henares, Alcorcón, Getafe, Pozuelo de Alarcón o Las Rozas, que tradicionalmente se han considerado municipios a las afueras de Madrid que aglomeran población residencial.

En segundo lugar, el total de la población que habita en estos 38 municipios comprende el 91,3% de la población total de la Comunidad, un hecho que es de especial relevancia si se tiene en cuenta que sólo se está tratando con aproximadamente el 20% del total de municipios, luego los nodos que aglomeran a la población están bien caracterizados. Esto es significativo también en el estudio de potenciales desplazamientos ajenos al tránsito laboral, ocasionales por ocio o necesidad, ya que está siendo considerada la mayor parte de la población en un área geográfica mucho mas reducida.

2. Índice de ponderación empresarial

El índice de ponderación empresarial se ha realizado con el fin de poder determinar las zonas geográficas con más aglomeración de centros de trabajo, para poder determinar los nudos de recepción y emisión de pasajeros (en función de las horas del día – de recepción al comienzo de la jornada laboral y de emisión al final de esta).

Los datos recabados para la consecución de este índice se basan en dos criterios de afiliación a la Seguridad Social española; uno de ellos determina el número de afiliados a la Seguridad Social en base al municipio donde residen los trabajadores²⁸, y el otro determina el número de afiliados

²⁸ Instituto de Estadística, “Afiliados en alta a la Seguridad Social: por municipio de residencia”, 2018.

a la Seguridad Social que trabajan en cada municipio²⁹. Estos datos están recogidos en el Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid.

Para poder establecer conclusiones en base a estos datos, se ha establecido un ratio, denominado “ratio T/T Res”, que compara ambos datos en cada municipio según la siguiente fórmula:

$$\text{Ratio} \frac{T}{T_{\text{res}}} = \frac{\text{Trabajadores afiliados por centro de trabajo}}{\text{Trabajadores afiliados residentes}}$$

De esta manera, se consigue un ratio mayor o igual que 0, con las siguientes características:

- De 0 a 1: existe un mayor número de trabajadores que se desplazan fuera del municipio para trabajar que los que trabajan en él. Se podría considerar un factor que demuestra que este municipio es **emisor**.
- 1: el número de trabajadores que viven y trabajan en el municipio es similar. Podría ser tanto un municipio emisor como receptor, dependiendo de si los trabajadores residentes también trabajan en el mismo municipio o si hay muchos trabajadores que entran o salen de él.
- Mayor que 1: existe un núcleo laboral en el municipio que hace que haya desplazamientos desde otros municipios para trabajar, puesto que hay más trabajadores que trabajan en esos centros de trabajo que los que residen en el municipio. Se podría considerar un municipio **receptor**.

Sin embargo, dado la complejidad de analizar uno a uno los resultados de cada municipio al ser números muy dispares, se ha optado por utilizar un procedimiento similar al descrito en el índice de ponderación residencial, en el cual se han tratado estos ratios a través de estadísticos descriptivos y se han segmentado en base a ponderaciones.

²⁹ Instituto de Estadística, “Afiliados en alta a la Seguridad Social: por centro de trabajo”, 2018.

Estadístico	Ratio T/TRes
No. de observaciones	179
Mínimo	0,283
Máximo	4,000
1° Cuartil	0,480
Mediana	0,625
3° Cuartil	0,818
Media	0,760
Varianza (n-1)	0,233
Desviación típica (n-1)	0,482

Tabla 9: Resultados del análisis de estadísticos descriptivos del ratio T/TRes.

Fuente: Elaboración propia.

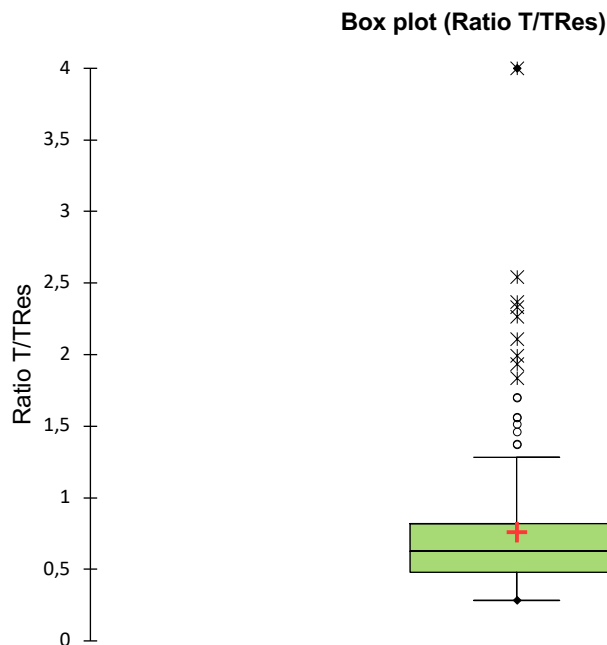


Gráfico 5: Boxplot de los estadísticos descriptivos del ratio T/TRes.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en el gráfico, el rango de datos es muy extenso, variando entre 0,283 y 4, lo que demuestra que hay municipios con una gran cantidad de residentes que no trabajan necesariamente en ese municipio, y otros que reciben a multitud de trabajadores diariamente. Por tanto, existen muchos *outliers* que se distancian mucho de los datos, como se puede observar en el gráfico. No obstante, en el sentido de este índice de tratar de buscar las zonas más receptoras de trabajadores, es mucho más relevante tener estos *outliers* en cuenta puesto que suponen las zonas que más desplazamientos laborales entre municipios tienen.

Por tanto, se han tenido en cuenta las ponderaciones siguientes:

- 1 – Del primer cuartil a la mediana: ratio de 0,480 a 0,625.
 - 2 – De la mediana al tercer cuartil: ratio de 0,626 a 0,818.
 - 3 – Del tercer cuartil al máximo (sin *outliers*): ratio de 0,819 a 1,282.
 - 4 – Del máximo al último *outlier*: ratio por encima de 1,282.
- “NO” – Municipios con ratio inferior a 0,480.

Los resultados por tanto para los municipios más receptores de trabajadores, considerados empresariales en este estudio, son:

Código	Municipio	Afiliados SS CT	Afiliados SS Res	Ratio T/TRes	Ponderación Ratio T/TRes
28002	Ajalvir	4.281	1.683	2,54	4
28006	Alcobendas	117.952	50.518	2,33	4
28022	Boadilla del Monte	30.378	19.413	1,56	4
28025	Brea de Tajo	401	190	2,11	4
28055	Estremera	838	420	2,00	4
28066	Griñón	5.817	3.836	1,52	4
28069	Hiruela (La)	16	4	4,00	4
28073	Humanes de Madrid	10.655	7.735	1,38	4
28079	Madrid	1.994.578	1.363.946	1,46	4
28083	Meco	6.143	4.790	1,28	4
28088	Montejo de la Sierra	167	91	1,84	4
28115	Pozuelo de Alarcón	78.817	34.796	2,27	4
28127	Rozas de Madrid (Las)	64.330	37.788	1,70	4
28128	Rozas de Puerto Real	162	104	1,56	4
28143	Somosierra	37	27	1,37	4
28149	Torrejón de la Calzada	5.216	3.070	1,70	4
28903	Tres Cantos	36.515	18.892	1,93	4
28167	Velilla de San Antonio	11.961	5.050	2,37	4
Total general		2.368.264	1.552.353	1,94	4,00

Tabla 10: Resultados de la ponderación 4 del ratio T/Tres.

Fuente: Elaboración propia.

Se aprecia que los municipios con mayor ratio ponderación tiene un número bastante reducido de afiliados a la Seguridad Social residentes, lo que concuerda con municipios como La Hiruela o Ajalvir, que tienen poblaciones reducidas y la mayor parte de sus trabajadores tienen que irse a municipios vecinos o a la capital de la comunidad autónoma para trabajar.

Sin embargo, y con el mismo planteamiento que en índice anterior, es más relevante de cara a este estudio centrarse en municipios con ratios altos y números elevados también de afiliaciones residentes, puesto que el flujo de pasajeros es mucho mayor.

Los resultados de ambos índices son concordantes con el tráfico más habitual de entrada y salidas en horas punta, especialmente hacia o desde la capital³⁰. También es destacable en este primer análisis de las zonas residenciales y empresariales que las ponderaciones de ambas no son mutuamente excluyentes, es decir, que hay municipios que pueden ser considerados zonas residenciales al tener una aglomeración de población joven y residente habitual, pero también tener un ratio alto de T/TRes al tener una alta acumulación de centros de trabajo que hacen que haya un flujo de entrada de trabajadores a ese municipio.

2.1.2.2. Ponderación económica

El criterio económico es un factor fundamental en el análisis de este mercado, puesto que se estima que evidentemente sea un servicio no necesario (ya que existen otros métodos de transporte entre los diferentes municipios de estudio) y, en el corto plazo, hipotéticamente más caro que el desplazamiento en transporte público o vehículo privado, si se va a utilizar de manera habitual.

En la Comunidad de Madrid existen diferentes tarifas de abono de transporte público en base a las zonas a las que se pueda acceder con este abono. En el caso del alcance de la Comunidad de Madrid, la zona máxima desde la que habría que acceder si se tienen en cuenta municipios colindantes con Toledo o Guadalajara sería la C2. Esta tarifa máxima tiene una mensualidad de €99,30 en una tarifa normal, pero en la tarifa joven se reduce a €20 euros. Por tanto, la diferencia de precio con el transporte en vehículo propio es muy elevada, lo que hace que se descarte el reemplazo del transporte público (en la totalidad del trayecto) con el servicio de aerotaxi, principalmente por cuestiones económicas³¹.

Otro tema de interés es el transporte en vehículo propio, puesto que influyen numerosos factores: el coste del vehículo, el seguro, la gasolina, y principalmente, el tiempo en los atascos. Es por ello por lo que la población a la que va dirigido este estudio es aquella que tenga preferencia por la comodidad y la eficiencia que por las cuestiones puramente económicas. Por ello, se ha establecido un criterio económico que identifique las zonas geográficas con mayor

³⁰ DGT, 2019.

³¹ Consorcio Regional de Transportes de Madrid, “Abonos y tarifas”, 2019.

renta, lo que da lugar a personas con mayor poder adquisitivo y que por ende estén más interesadas en contratar los servicios de Liliium Jet en su día a día.

Para poder comparar los datos económicos entre los municipios, se han utilizado los datos de la “Renta Disponible Bruta Municipal” per cápita (en adelante RDBM per cápita)³². Este dato recoge la renta disponible por habitante, teniendo en cuenta el pago del impuesto sobre la renta fija o patrimonio y las cotizaciones sociales. Por tanto, es un buen estimador de la capacidad adquisitiva de una determinada población. Cuanto mayor sea esta cifra, mayor será el poder adquisitivo de la media de los habitantes de una región y por tanto estos habitantes serán candidatos más favorables para utilizar el servicio.

Para ponderar los municipios en base a este criterio se ha seguido la misma metodología explicada previamente.

Estadístico	RDBM pc
No. de observaciones	179
Mínimo	10085,470
Máximo	35663,780
1° Cuartil	12559,300
Mediana	14242,610
3° Cuartil	16457,860
Media	15147,583
Varianza (n-1)	14386984,419
Desviación típica (n-1)	3793,018

Tabla 11: Resultados del análisis de estadísticos descriptivos de la RDBM per cápita.

Fuente: Elaboración propia.

³² Instituto de Estadística, “Indicador de Renta Disponible Bruta Municipal per cápita (Base 2010)”, 2017.

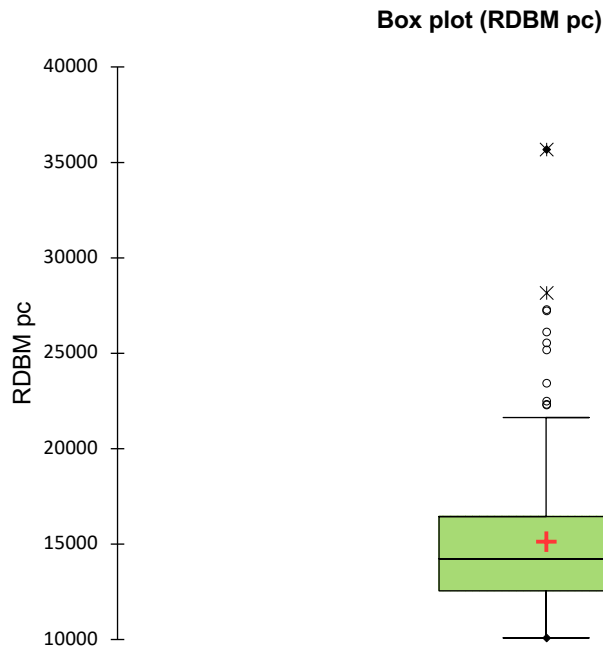


Gráfico 6: Boxplot de los estadísticos descriptivos de la RDBM per cápita.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en el gráfico, existen numerosos municipios que tienen rentas muy por encima de la media y mediana del resto de datos, por lo que son presentados como *outliers*. La RDBM per cápita media excluyendo a los *outliers* es de €15.146, algo por encima de la media española de €14.781, sin embargo, teniendo en cuenta estos municipios con rentas muy elevadas, la media llegaría a €18.855, un 27,5% más alta, lo que implica que es necesario estudiar estos municipios con la ponderación más elevada, al disponer de más medios económicos para utilizar los servicios de aerotaxi.

De esta manera, los criterios de ponderación escogidos son:

- 1 – Del primer cuartil a la mediana: RDBM per cápita de 12.559 a 14.242.
 - 2 – De la mediana al tercer cuartil: RDBM per cápita de 14.243 a 16.457.
 - 3 – Del tercer cuartil al máximo (sin *outliers*): RDBM per cápita de 16.458 a 21.629.
 - 4 – Del máximo al último *outlier*: RDBM per cápita por encima de 21.629.
- “NO” – Municipios con RDBM per cápita inferior a 12.559.

Los resultados de la máxima ponderación se muestran a continuación:

Código	Municipio	Población	RDBM pc	Ponderación Económica
28006	Alcobendas	116.037	25.550,64	4
28022	Boadilla del Monte	52.626	28.174,96	4
28080	Majadahonda	71.785	27.299,57	4
28115	Pozuelo de Alarcón	86.172	35.663,78	4
28127	Rozas de Madrid (Las)	95.550	27.222,00	4
28129	San Agustín del Guadalix	13.273	22.329,80	4
28152	Torrelodones	23.361	26.112,07	4
28903	Tres Cantos	46.750	23.450,81	4
28169	Venturada	2.081	22.507,10	4
28176	Villanueva de la Cañada	21.000	25.168,35	4
28181	Villaviciosa de Odón	27.596	22.309,48	4
Total general		556.231	25.980,78	4

Tabla 12: Resultados de la ponderación 4 de la RDBM per cápita.

Fuente: Elaboración propia.

Es interesante observar que sólo hay once municipios con rentas muy elevadas, que destacan y se diferencian demasiado con respecto al resto de los municipios. Además, según el estudio realizado por el INE en mayo de 2019, titulado “Indicadores Urbanos”, Pozuelo de Alarcón, Boadilla del Monte y Las Rozas son los municipios con más de 20.000 habitantes con mayores rentas a nivel nacional³³. Si además se tiene en cuenta que son municipios localizados entre 15 y 25 km a las afueras de la capital, se puede concluir que estos municipios son muy relevantes y deben tenerse en cuenta en el planteamiento de los helipuertos para el proyecto.

2.1.2.3. Zonas comerciales y de ocio

Adicionalmente a los flujos de pasajeros que se generen por el tránsito laboral, existen otros factores relevantes para caracterizar la demanda, como aquellos puntos en la comunidad autónoma que sean foco de una gran cantidad de público, no necesariamente de municipios cercanos, por su gran oferta de comercios y actividades de ocio. Estos son los centros comerciales, situados generalmente en los municipios de exterior, que atraen a todo tipo de clientes, especialmente en los festivos.

Actualmente en la Comunidad de Madrid existen 89 centros comerciales, 28 de ellos situados en el municipio de Madrid³⁴. Como en este caso existen muchos municipios que no tienen

³³ INE, “Indicadores urbanos, edición 2019”, 2019.

³⁴ Centro-comercial.org, “Directorio de centros comerciales por provincia”, 2018.

centros comerciales, y por tanto son irrelevantes en esta ponderación, se ha cogido sólo aquellos datos de los 26 municipios que sí cuentan con al menos un centro comercial para realizar los estadísticos descriptivos. Además, dado que los 28 centros comerciales de Madrid desvirtúan mucho los datos por ser mucho mayor que el siguiente más alto, 6, se han eliminado en el cálculo de los estadísticos.

Estadístico	X1
No. de observaciones	26
Mínimo	1,000
Máximo	28,000
1° Cuartil	1,000
Mediana	2,000
3° Cuartil	3,000
Media	2,440
Varianza (n-1)	3,340
Desviación típica (n-1)	1,828

Tabla 13: Resultados del análisis de estadísticos descriptivos de los centros comerciales.

Fuente: Elaboración propia.

Las ponderaciones se han calculado siguiendo la metodología y quedan de la siguiente manera:

- 1 – Del primer cuartil a la mediana: 1 centro comercial.
- 2 – De la mediana al tercer cuartil: 2 centros comerciales.
- 3 – Del tercer cuartil al máximo (sin *outliers*): 3 centros comerciales.
- 4 – Del máximo al último *outlier*: 4 o más centros comerciales.
- “NO” – Municipios sin centros comerciales.

Los municipios que sí cuenta con centros comerciales se muestran a continuación con sus respectivas ponderaciones:

Código	Municipio	Población	Centros comerciales	Ponderación Comercial
28005	Alcalá de Henares	193.751	6	4
28006	Alcobendas	116.037	7	4
28007	Alcorcón	169.502	2	2
28013	Aranjuez	59.037	1	1
28015	Arroyomolinos	30.052	1	1
28022	Boadilla del Monte	52.626	1	1
28047	Collado Villalba	63.074	2	2
28045	Colmenar Viejo	49.498	1	1
28049	Coslada	81.860	1	1
28058	Fuenlabrada	193.586	3	3
28065	Getafe	180.747	4	4
28074	Leganés	188.425	3	3
28079	Madrid	3.223.334	28	4
28080	Majadahonda	71.785	3	3
28092	Móstoles	207.095	1	1
28104	Paracuellos de Jarama	24.521	1	1
28106	Parla	128.256	2	2
28113	Pinto	51.541	1	1
28115	Pozuelo de Alarcón	86.172	5	4
28127	Rozas de Madrid (Las)	95.550	6	4
28130	San Fernando de Henares	39.466	1	1
28134	San Sebastián de los Reyes	87.724	3	3
28148	Torrejón de Ardoz	129.729	2	2
28152	Torreloanes	23.361	1	1
28903	Tres Cantos	46.750	2	2
28161	Valdemoro	74.745	1	1
Total general		5.668.224	89	2

Tabla 14: Resultados de las ponderaciones para los centros comerciales.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, Alcalá de Henares, Alcobendas, Pozuelo de Alarcón y Las Rozas son los que mayor número de centros comerciales tienen, con la excepción de Madrid, por lo que son zonas geográficas relevantes a la hora de atraer clientes puntuales en determinadas fechas o momentos de la semana como los fines de semana, festivos o las vacaciones de verano y Navidad.

2.1.3. Caracterización del municipio de Madrid

El municipio de Madrid capital, o Ciudad de Madrid, tiene una población de 3.221.824 habitantes tiene a su vez 21 distritos diferentes³⁵, que se segmentan en muchos barrios distintos. Estos distritos comprenden una superficie de 604 km², y se sitúa aproximadamente en el centro del territorio de la Comunidad de Madrid³⁶. Al ser el municipio con mayor actividad empresarial y contar con una oferta muy amplia de restauración u ocio, es un destino muy frecuentado por la mayoría de los habitantes de otros municipios colindantes.

Entre los 21 distritos del municipio existen muchas diferencias: como en todas las ciudades, cada distrito y sus respectivos barrios tienen particularidades, como el tipo de población residente, la actividad y el turismo, la edificación clásica o moderna, o la diversidad de precios de alquiler. Así, nos encontramos con el distrito de Salamanca siendo el más caro en cuanto a superficie, con más de €6.000/m², mientras que en Hortaleza es de €1.600/m²³⁷. Además, zonas como Moncloa son muy frecuentes entre los estudiantes de otras partes del país para residir, debido a la cercanía a las diferentes universidades, y sin embargo Chamberí cuenta con una población más mayor. Todo ello hace necesario caracterizar los distritos con criterios similares a los establecidos en la Comunidad de Madrid, para poder determinar en qué zonas estratégicas es más relevante ubicar los helipuertos.

No obstante, el análisis de caracterización en la ciudad de Madrid tiene un enfoque diferente al realizado con la Comunidad, pues no es tan relevante en sí la población de los distritos o su edad, que son bastante similares en general en los 21 distritos, sino la ubicación de estos y las actividades que se puedan realizar alrededor, además de las conexiones que tengan con otros medios de transporte. Esto se debe a que, por lo menos en las primeras fases del proyecto, éste no está pensado para realizar vuelos cortos dentro del mismo municipio, salvo idas y vueltas a las estaciones de tren o el aeropuerto.

2.1.3.1. Ponderación empresarial

Con esta ponderación se han segmentado los distritos que tienen mayores concentraciones de puestos de trabajo y por tanto pueden ser puntos muy estratégicos para la entrada de pasajeros provenientes de otros municipios. De la misma forma que en la Comunidad de Madrid, se ha

³⁵ Banco de Datos, "Indicadores demográficos por Distrito", 2018.

³⁶ Ayuntamiento de Madrid, "Superficie, Población y Densidad de los Distritos y Barrios de la Ciudad de Madrid", 2018.

³⁷ Banco de Datos, "Evolución del precio de la vivienda de segunda mano por Distrito", 2018.

establecido el “ratio T/TRes”, que en este caso determina si hay más trabajadores del distrito que se desplazan fuera del mismo o del municipio, o si por el contrario hay más afluencia de trabajadores entrantes.

$$\text{Ratio} \frac{T}{T\text{Res}} = \frac{\text{Trabajadores afiliados por centro de trabajo en el distrito}}{\text{Trabajadores afiliados residentes en el distrito}}$$

De forma análoga se interpretan entonces los resultados de este ratio de la siguiente forma:

- De 0 a 1: existe un mayor número de trabajadores que se desplazan fuera su distrito de residencia para trabajar que los que trabajan en él. Se podría considerar un factor que demuestra que este municipio es **emisor**.
- 1: el número de trabajadores que viven y trabajan en el distrito es similar. Podría ser tanto una zona emisora como receptora.
- Mayor que 1: existe un núcleo laboral en el distrito que hace que haya desplazamientos desde otros distritos o municipios para trabajar, puesto que hay más trabajadores que trabajan en esos centros de trabajo que los que residen en el distrito. Se podría considerar un municipio **receptor**.

El resultado del análisis de estadísticos descriptivos se muestra a continuación:

Estadístico	Ratio T/TRes
No. de observaciones	21
Mínimo	0,26
Máximo	3,25
1° Cuartil	0,57
Mediana	1,24
3° Cuartil	2,28
Media	1,45
Varianza (n-1)	0,93
Desviación típica (n-1)	0,97

Tabla 15: Resultado del análisis de estadísticos descriptivos del ratio T/Tres de la Ciudad de Madrid.

Fuente: Elaboración propia.

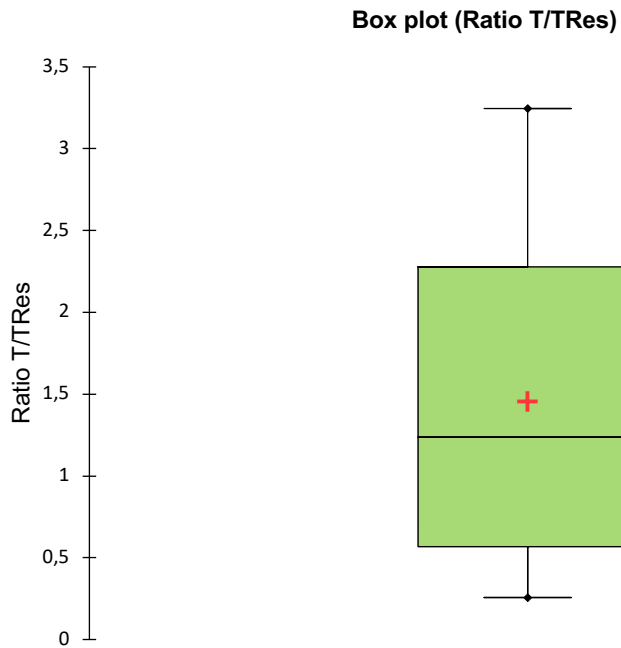


Gráfico 7: Boxplot del ratio T/TRes de la Ciudad de Madrid.

Fuente: Elaboración propia.

Del gráfico se extrae la conclusión que se había supuesto antes, que, en efecto, las diferencias entre los datos que se van a analizar entre los distintos distritos de Madrid son mucho menores que las observadas entre los municipios, y por tanto no existen *outliers*. También se observa que el rango de datos es muy amplio, teniendo distritos con un ratio de hasta 3,25, es decir, hay un 325% más trabajadores que trabajan en ese distrito que los que viven, mientras que hay otros en los que sólo un 25% del número de trabajadores residentes tiene su centro de trabajo en ese distrito.

Para el caso de estudio, es importante establecer dónde hay más aglomeración de zonas laborales, por lo que se han establecido las siguientes ponderaciones:

- 1 – Del mínimo al primer cuartil: ratio entre 0,26 y 0,57.
- 2 – Del primer cuartil a la mediana: ratio entre 0,58 y 1,24.
- 3 – De la mediana al tercer cuartil: ratio entre 1,25 y 2,28.
- 4 – Del tercer cuartil al máximo: ratio superior a 2,28.

Los resultados de estas ponderaciones por distrito se muestran en la siguiente tabla:

Código	Distrito	Población	Afiliados SS Trab	Afiliados SS Residentes	Ratio Emp/Res	Pond Ratio
01	Centro	132.352	139.696	56.027	2,49	4
02	Arganzuela	152.907	87.638	63.801	1,37	3
03	Retiro	119.011	93.075	45.141	2,06	3
04	Salamanca	145.268	177.674	54.741	3,25	4
05	Chamartín	144.894	158.458	55.329	2,86	4
06	Tetuán	155.967	138.800	62.319	2,23	3
07	Chamberí	138.418	132.944	53.275	2,50	4
08	Fuencarral-El Pardo	242.928	99.858	93.376	1,07	2
09	Moncloa-Aravaca	117.835	99.054	43.488	2,28	3
10	Latina	235.785	29.516	85.984	0,34	1
11	Carabanchel	248.220	36.570	93.515	0,39	1
12	Usera	136.978	28.441	50.100	0,57	2
13	Puente de Vallecas	230.488	30.650	87.066	0,35	1
14	Moratalaz	94.261	11.889	34.434	0,35	1
15	Ciudad Lineal	214.463	101.026	81.781	1,24	2
16	Hortaleza	183.930	82.540	72.193	1,14	2
17	Villaverde	145.523	44.659	53.781	0,83	2
18	Villa de Vallecas	107.649	30.117	45.364	0,66	2
19	Vicálvaro	70.962	7.312	28.481	0,26	1
20	San Blas-Canillejas	156.149	109.905	62.503	1,76	3
21	Barajas	47.836	49.014	19.154	2,56	4
Total general		3.221.824	1.688.836	1.241.853	1,45	2,48

Tabla 16: Resultados de la ponderación de los distritos según el ratio T/TRes.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, hay sólo 5 distritos con afluencia muy elevada de trabajadores (ratio por encima de 2,28): Centro, Salamanca, Chamartín, Chamberí y Barajas. Estos resultados coinciden con la visión popular de los centros empresariales en la ciudad como Plaza de Castilla (Chamartín), el eje del Paseo de la Castellana (Chamberí, Salamanca y Chamartín), y las zonas más alejadas del centro de la ciudad por la carretera de Burgos en dirección al aeropuerto (Barajas). Además, es de especial importancia el hecho de que uno de estos distritos sea el distrito Centro, puesto que es ahí donde más restricciones se han puesto últimamente respecto al transporte tradicional aun teniendo una recepción muy alta de trabajadores de otros lugares, lo cual puede ser muy interesante para plantear la localización de *pads* en algún área cercana.

2.1.3.2. Ponderación económica

El criterio económico per cápita de cada distrito es un factor relevante a la hora de establecer de qué medios dispone la población de media para poder utilizar estos servicios. Puede considerarse el factor más relevante que, junto con el criterio empresarial de cada distrito, determina dónde se pueden poner los helipuertos dentro de la ciudad de Madrid para aquellos trabajadores que se desplazan fuera de su distrito, incluso a otro municipio, por motivos laborales.

Los datos que se han utilizado para resolver esta segmentación son los datos publicados en los “Anexo gráfico del panel de indicadores 2017” publicado por el Ayuntamiento de Madrid³⁸. Sin embargo, los datos, aunque publicados en diciembre de 2017 y siendo este el último informe oficial disponible en el momento de la realización del proyecto, se refieren a datos de final de 2014 en término de Renta Bruta Disponible per cápita (donde se entiende este término en la misma manera que en los datos explicados en la RDBM per cápita de la comunidad autónoma). Por tanto, para actualizar los datos a final de 2018 (último año completo), se ha tomado el valor de estos datos de final de 2014 y se han proyectado teniendo en cuenta la variación del Índice de Precios de Consumo (IPC) en la Comunidad de Madrid entre esas dos fechas, de 4.4%³⁹.

$$RBD \text{ per cápita } 2018 = RBD \text{ per cápita } 2014 \cdot (1 + 0,044)$$

De esta manera se obtienen datos mucho más precisos en cuanto a la renta disponible de la población madrileña, puesto que la variación de la inflación y del IPC influyen de manera muy severa en la diferencia de precios entre un momento u otro, y debe tenerse en cuenta en la renta que ingresa un trabajador, así como en el gasto que genera.

Teniendo en cuenta estos datos, se muestra el análisis de estadísticos descriptivos de la RBD per cápita de los distritos de Madrid:

³⁸ Ayuntamiento de Madrid, “Anexo gráfico del panel de indicadores 2017”, 2017.

³⁹ INE, “Cálculo de variaciones del Índice General por Comunidad Autónoma”, 2019.

Estadístico	RBD pc 2018
No. de observaciones	21
Mínimo	16389
Máximo	28775
1° Cuartil	19174
Mediana	21584
3° Cuartil	25794
Media	22501
Varianza (n-1)	17741909
Desviación típica (n-1)	4212

Tabla 17: Resultado del análisis de estadísticos descriptivos de la RBD per cápita de los distritos.

Fuente: Elaboración propia.

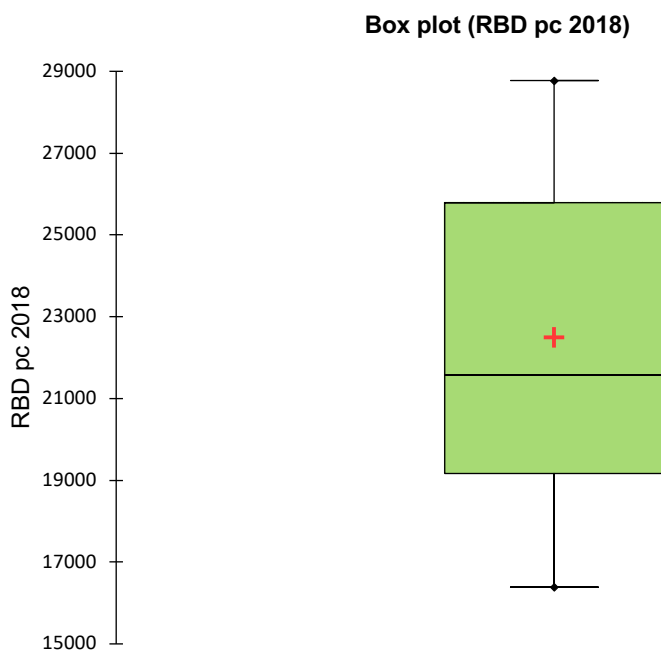


Gráfico 8: Boxplot de la RDB per cápita de los distritos.

Fuente: Elaboración propia.

Es interesante observar que existe un intervalo muy grande, entre la mediana y el tercer cuartil, lo que muestra que hay más dispersión de datos en el tercer cuartil de la muestra, que van desde €21.584 hasta €25.794. Si se comparan estos datos con los encontrados en el análisis de los municipios, puede extraerse la conclusión de que las rentas son más altas en el municipio de Madrid que en muchos de los otros 178 de la Comunidad de Madrid.

Siguiendo la metodología establecida se han determinado los siguientes intervalos de ponderación:

- 1 – Del mínimo al primer cuartil: RBD pc entre 16.389 y 19.174 euros.
- 2 – Del primer cuartil a la mediana: RBD pc entre 19.175 y 21.584 euros.
- 3 – De la mediana al tercer cuartil: RBD pc entre 21.585 y 25.794 euros.
- 4 – Del tercer cuartil al máximo: RBD pc superior a 25.794 euros.

Código	Distrito	Población	RBD pc 2014	RBD pc 2018	Pond Renta
01	Centro	132.352	23.768	24.814	3
02	Arganzuela	152.907	22.878	23.885	3
03	Retiro	119.011	26.806	27.985	4
04	Salamanca	145.268	27.560	28.773	4
05	Chamartín	144.894	27.562	28.775	4
06	Tetuán	155.967	20.627	21.535	2
07	Chamberí	138.418	27.119	28.312	4
08	Fuencarral-El Pardo	242.928	22.469	23.458	3
09	Moncloa-Aravaca	117.835	25.918	27.058	4
10	Latina	235.785	18.366	19.174	2
11	Carabanchel	248.220	17.097	17.849	1
12	Usera	136.978	15.698	16.389	1
13	Puente de Vallecas	230.488	15.931	16.632	1
14	Moratalaz	94.261	20.430	21.329	2
15	Ciudad Lineal	214.463	20.674	21.584	3
16	Hortaleza	183.930	23.059	24.074	3
17	Villaverde	145.523	15.926	16.627	1
18	Villa de Vallecas	107.649	18.877	19.708	2
19	Vicálvaro	70.962	18.043	18.837	1
20	San Blas-Canillejas	156.149	19.086	19.926	2
21	Barajas	47.836	24.707	25.794	4
Total general		3.221.824	21.552	22.501	2,57

Tabla 18: Resultados de las ponderaciones de la RBD per cápita de los distritos.

Fuente: Elaboración propia.

Como puede comprobarse, existe mucha diferencia entre unos distritos y otros en términos de Renta Bruta Disponible. Así, los distritos de Salamanca, Chamartín y Retiro son los que mayor renta disponible perciben, lo que los hace más favorables para la implantación del servicio. Es destacable que, pese a que Moncloa es tradicionalmente una zona de estudiantes o personas de mayor edad (que en general o no tienen renta o es muy baja), comprende el barrio de Aravaca. Aravaca es una zona a las afueras de Madrid conocida por sus casas muy bien valoradas

y las altas rentas de sus habitantes, y por tanto Moncloa-Aravaca pertenece también al grupo de ponderación 4, por lo que es necesario una introspección más detallada en algunos de los distritos para no confundir los diferentes barrios, que pueden ser muy diferentes entre sí.

2.1.3.3. Ponderación de población

Si bien en un primer momento, en cuanto a transporte laboral, el factor de la población no es tan relevante a la hora de segmentar la Ciudad de Madrid, sí es muy importante en cuanto se tienen en cuenta otro tipo de viajes, como pueden ser los que se realizan a estaciones de tren, al aeropuerto, o en ocasiones puntuales que tengan que realizarse recorridos más largos y entre los que el transporte público sea poco conveniente. Por ello, se ha llevado a cabo la segmentación de la población de cada distrito, suponiendo que es más probable que se den este tipo de viajes en poblaciones mayores⁴⁰.

Estadístico	Población
No. de observaciones	21
Mínimo	47836
Máximo	248220
1° Cuartil	119011
Mediana	145268
3° Cuartil	183930
Media	153420
Varianza (n-1)	3076330705
Desviación típica (n-1)	55465

Tabla 19: Resultado del análisis de estadísticos descriptivos de la población de la Ciudad de Madrid.

Fuente: Elaboración propia.

⁴⁰ Banco de Datos, “Indicadores demográficos por Distrito”, 2018.

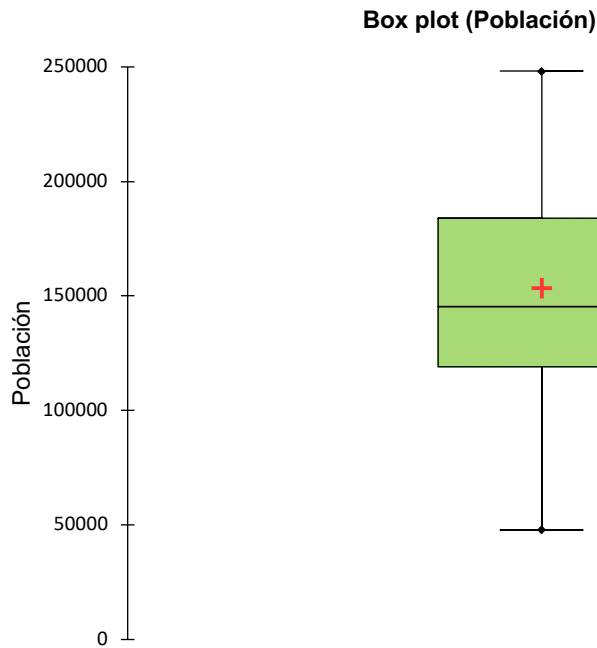


Gráfico 9: Boxplot de la población de la Ciudad de Madrid.

Fuente: Elaboración propia.

El gráfico muestra cómo los datos están distribuidos de forma muy uniforme en los dos extremos del rango (las patas de los extremos son de longitudes similares), pero sin embargo el rango intercuartílico es menor, lo que aproxima esta población a una distribución Normal.

Según estos resultados se han determinado las siguientes ponderaciones:

- 1 – Del mínimo al primer cuartil: población entre 47.836 y 119.011.
- 2 – Del primer cuartil a la mediana: población entre 119.012 y 145.268.
- 3 – De la mediana al tercer cuartil: población entre 145.269 y 183.930.
- 4 – Del tercer cuartil al máximo: ratio superior a 183.930.

Las ponderaciones por distritos se muestran a continuación:

Código	Distrito	Población	Pond Pob
01	Centro	132.352	2
02	Arganzuela	152.907	3
03	Retiro	119.011	2
04	Salamanca	145.268	2
05	Chamartín	144.894	2
06	Tetuán	155.967	3
07	Chamberí	138.418	2
08	Fuencarral-El Pardo	242.928	4
09	Moncloa-Aravaca	117.835	1
10	Latina	235.785	4
11	Carabanchel	248.220	4
12	Usera	136.978	2
13	Puente de Vallecas	230.488	4
14	Moratalaz	94.261	1
15	Ciudad Lineal	214.463	4
16	Hortaleza	183.930	3
17	Villaverde	145.523	3
18	Villa de Vallecas	107.649	1
19	Vicálvaro	70.962	1
20	San Blas-Canillejas	156.149	3
21	Barajas	47.836	1
Total general		3.221.824	2,48

Tabla 20: Resultados de las ponderaciones de población para los distritos de Madrid.

Fuente: Elaboración propia.

El mayor distrito por población es Carabanchel, muy popular como lugar de residencia por estar a las afueras del centro, lo que da lugar a viviendas con precios mucho menores. También destaca Fuencarral-El Pardo, que pese a tener más del 50% de su superficie comprendida por el Monte de El Pardo, engloba barrios como el Pilar, Mirasierra o El Goloso, de mucho atractivo en los últimos años para familias jóvenes con muchos niños por el precio de la vivienda y la oferta de parques y otras actividades para niños⁴¹.

2.1.3.4. Ponderación de edad

El criterio de ponderación de edad es relevante en cuanto al segmento de población sobre el que se enfoca este servicio, de 35 a 50 años. Sin embargo, se puede comprobar que en el caso

⁴¹ Banco de Datos, “Características generales: Fuencarral-El Pardo”, 2018.

del municipio de Madrid, la edad media de todos los municipios es muy semejante, variando en dos o tres años a lo sumo, con una desviación típica de 2,28 años, lo que implica que los datos están muy concentrados entorno a los 43 o 45 años, todos dentro del rango de edad que se utiliza como objetivo.

Estadístico	Edad media
No. de observaciones	21
Mínimo	38,57
Máximo	47,38
1° Cuartil	42,33
Mediana	44,09
3° Cuartil	45,79
Media	43,86
Varianza (n-1)	5,21
Desviación típica (n-1)	2,28

Tabla 21: Resultado del análisis de estadísticos descriptivos para la edad de los distritos.

Fuente: Elaboración propia.

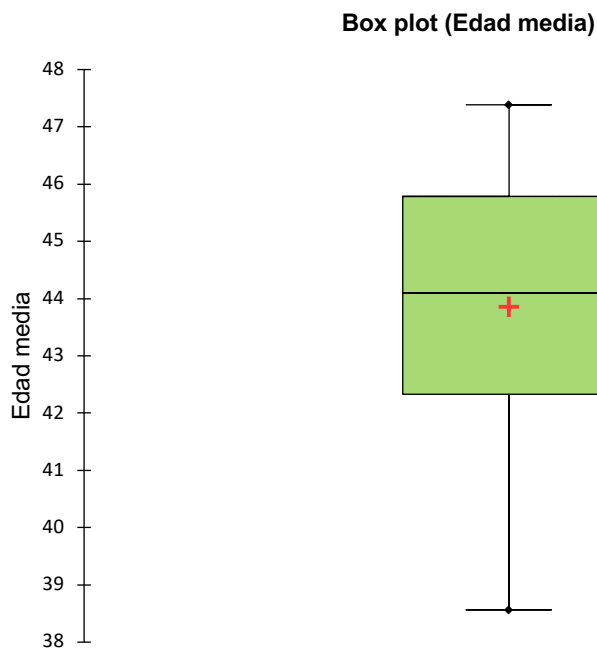


Gráfico 10: Boxplot de la edad media de los distritos.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede comprobar, estos resultados muestran que la mediana y la media están muy próximas, así como el intervalo de cada cuartil y entre el tercer cuartil y el máximo es muy similar, dando lugar a una distribución muy uniforme de las edades medias, sin *outliers*. Cabe

destacar que la mitad inferior entre el mínimo y el primer cuartil es superior en tamaño, lo que implica que hay más distancia entre los datos en este primer 25% de la muestra. Se han considerado los intervalos de ponderación de acuerdo a una ponderación mayor cuanto menor es la edad media:

4 – Del mínimo al primer cuartil: edad entre 38,57 y 42,33.

3 – Del primer cuartil a la mediana: edad entre 42,34 y 44,09.

2 – De la mediana al tercer cuartil: edad entre 44,10 y 45,79.

1 – Del tercer cuartil al máximo: edad superior a 45,79.

Código	Distrito	Población	Edad media	Pond edad
01	Centro	132.352	44,09	2
02	Arganzuela	152.907	44,35	2
03	Retiro	119.011	46,92	1
04	Salamanca	145.268	46,25	1
05	Chamartín	144.894	45,31	2
06	Tetuán	155.967	44,17	2
07	Chamberí	138.418	46,45	1
08	Fuencarral-El Pardo	242.928	42,74	3
09	Moncloa-Aravaca	117.835	44,49	2
10	Latina	235.785	46,47	1
11	Carabanchel	248.220	43,47	3
12	Usera	136.978	42,33	3
13	Puente de Vallecas	230.488	43,30	3
14	Moratalaz	94.261	47,38	1
15	Ciudad Lineal	214.463	45,79	1
16	Hortaleza	183.930	42,27	4
17	Villaverde	145.523	42,11	4
18	Villa de Vallecas	107.649	38,57	4
19	Vicálvaro	70.962	40,46	4
20	San Blas-Canillejas	156.149	42,56	3
21	Barajas	47.836	41,48	4
Total general		3.221.824	43,86	2,43

Tabla 22: Resultados de las ponderaciones de edad media por distrito.

Fuente: Elaboración propia.

Se muestra por tanto que los distritos con edades medias más jóvenes son Villa de Vallecas y Vicálvaro. Sin embargo, dado que los resultados no distan en mucha medida con ninguna de las edades medias de los distritos, es un criterio muy relativo y menos relevante que en la

caracterización de los diferentes municipios, al no haber prácticamente diferencias entre los 21 distritos.

2.1.3.5. Zonas de transporte: estaciones de tren, autobús y aeropuerto

En Madrid existen dos estaciones de tren de media y larga distancia, Atocha y Chamartín, así como estaciones de cercanías, como Nuevos Ministerios, y el aeropuerto de Barajas, además de estaciones de autobús como Moncloa o Méndez Álvaro⁴². Estos puntos de conexión son extremadamente relevantes, teniendo en cuenta el flujo de pasajeros que los visitan diariamente, y deben ser estudiados como posibles localizaciones para un *pad* de Liliium.

- Estaciones de tren de media y larga distancia: Puerta de Atocha y Chamartín son las dos estaciones en Madrid de media y larga distancia de transporte ferroviario, además de contar también con trenes de cercanías. En la primera, existe un tráfico de 2.500.000 pasajeros anuales, mientras que en Chamartín hay 1.800.000 pasajeros⁴³. Esto implica que es necesario considerar estas estaciones, puesto que muchos pasajeros que vayan a realizar un viaje de media y larga distancia pueden recurrir a los aerotaxis para transportarse hasta las estaciones.
- Estaciones de tren de cercanías: estaciones como Atocha Cercanías, Chamartín o Nuevos Ministerios tienen un flujo diario de pasajeros que se desplazan desde sus municipios de residencia hasta sus lugares de trabajo. En Atocha Cercanías, hay 4.250.000 pasajeros mensuales, aproximadamente 142.000 al día⁴⁴, lo que supone que los pasajeros que se desplacen entre municipios lejanos y el municipio de Madrid con varios trasbordos, podrían objeto de estudio para realizar parte del trayecto en el aerotaxi de Liliium, disminuyendo considerablemente el tiempo de desplazamiento. Además, las estaciones de cercanías están muy bien conectadas con otros puntos clave de la ciudad mediante transporte público (Metro o EMT), lo que da lugar a que sean un centro de idas y venidas de pasajeros muy relevante y práctico.

⁴² Ayuntamiento de Madrid, “Movimientos mensuales de Viajeros de Cercanías por Estación”, 2019.

⁴³ Ayuntamiento de Madrid, “RENFE - Tráfico mensual de viajeros de Media distancia convencional y Alta velocidad-Media distancia”, 2019.

⁴⁴ Ayuntamiento de Madrid, “RENFE - Movimientos mensuales de Viajeros de Cercanías por Estación”, 2019.

- Aeropuerto Adolfo Suárez: el aeropuerto de Madrid se sitúa en el distrito de Barajas, a 17 km del centro de la ciudad. Tiene un flujo de 50.400.000 pasajeros anuales⁴⁵, que vienen o salen de Madrid a través de él. El hecho de que esté situado a las afueras de la ciudad implica que la gran mayoría de estos pasajeros necesita llegar hasta algún punto más cercano al centro, o bien desplazarse a otros lugares, lo que podría ser un factor clave para utilizar un transporte tan rápido como Liliium. Sin embargo, es necesario establecer bien qué rutas son las óptimas desde o hasta el aeropuerto, pues éste está ya conectado mediante una línea de Metro a Nuevos Ministerios, y autobuses desde Atocha.

2.2. Estimación de conexiones entre nodos

2.2.1. Hipótesis realizadas

Una vez obtenidos los municipios más relevantes dentro del ámbito de desplazamientos laborales en la Comunidad de Madrid, es necesario determinar cuáles son las rutas más concurridas para poder así establecer recorridos de distancias elevadas y con tráfico, necesarios para los clientes que pudieran utilizar el servicio de Liliium Jet.

Para poder establecer de manera extremadamente precisa estos datos, es necesario disponer de un estudio de mercado de inmenso tamaño, adquirido a través de una investigación profunda, que tenga en cuenta una población suficientemente grande como para trazar las rutas más frecuentadas. El Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid realizó en el año 2017 un “Atlas de la movilidad residencia-trabajo”, en el que recopilaron la información de los afiliados residentes y cruzarla con sus respectivos puntos de trabajo, de modo que crearon una matriz y una serie de gráficos explicativos de los movimientos intramunicipales⁴⁶.

Sin embargo, existe hoy en día una gran movilidad de empleos, por ejemplo, por tratarse de empleos temporales, o cambio de residencias habituales, que dificultan la vista a largo plazo de lo que pueden ser los trayectos predominantes para las personas en la Comunidad de Madrid. Por tanto, se ha procedido a realizar una serie de hipótesis para caracterizar estos recorridos recogidos en el Atlas.

⁴⁵ Ayuntamiento de Madrid, “Tráfico de Pasajeros, Operaciones y Carga en el Aeropuerto de Adolfo Suárez Madrid-Barajas”, 2017.

⁴⁶ Banco de Datos, “Atlas de movilidad residencia-trabajo”, 2017.

- 1) Se ha asumido que la población ha crecido de forma uniforme entre 2017 y 2018, y por tanto también ha sido uniforme el crecimiento de los trabajadores residentes y sus respectivos destinos de trabajo, a finales de 2018.
- 2) Para la caracterización de los datos, sólo se han tenido en cuenta los tres primeros destinos de trabajo más frecuentados por los trabajadores de cada municipio, pues estos tres primeros destinos eran lo suficientemente explicativos en la mayoría de los municipios, y el flujo de trabajadores a los siguientes destinos era muy inferior, algo que no es objeto de este proyecto.
- 3) Todos los datos que se han recopilado muestran el total de los pasajeros entre municipios, algo que no es relevante en las primeras fases de una nueva empresa, puesto que la cuota de mercado que se va a obtener es muy pequeña al inicio. Por tanto, se ha establecido que de todas las rutas que se muestran en el Atlas, la cuota de mercado potencial inicial de Lilium sería de un 2%, esto es, que el 2% de las personas que se desplacen entre dos puntos por motivos laborales estarían interesados en cambiar su modo de transporte habitual por utilizar Lilium.

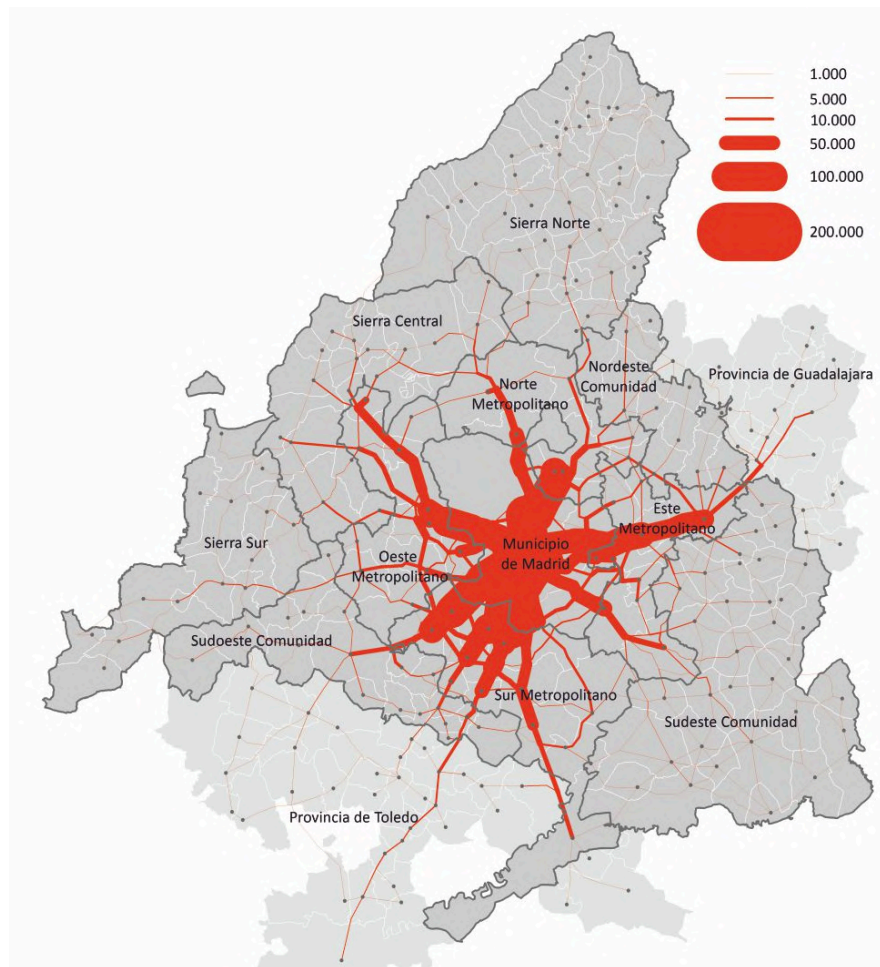


Figura 10: Flujos intermunicipales de trabajadores en la Comunidad de Madrid 2016.

Fuente: Atlas de movilidad residencia-trabajo, 2017.

2.2.2. Estaciones Fase I

Como se ha podido comprobar según el análisis realizado, hay ciertos municipios y distritos de la ciudad de Madrid que son preferibles por determinados criterios que otros para implantar los helipuertos. En la Fase I se han calculado seis *pads* en total en la Comunidad de Madrid, tres situados fuera del municipio de Madrid y tres dentro de él, que se interconectan. El proceso de elección se ha realizado en base a los resultados obtenidos de la caracterización de las distintas zonas, así como de las rutas existentes por otros tipos de transporte.

2.2.2.1. Estaciones fuera del municipio de Madrid

En primer lugar, se ha trabajado con la ponderación económica, al ser la más restrictiva, como se muestra en la Tabla 23.

Código	Municipio	Pond Residencial	Pond Ratio T/TRes	Pond CC	Pond RBDM pc
28006	Alcobendas	4	4	4	4
28009	Algete	4	3	NO	3
28010	Alpedrete	3	1	NO	3
28015	Arroyomolinos	NO	3	1	3
28018	Becerril de la Sierra	2	1	NO	3
28022	Boadilla del Monte	4	4	1	4
28023	Boalo (El)	3	1	NO	3
28026	Brunete	3	1	NO	3
28041	Cobeña	3	1	NO	3
28046	Collado Mediano	2	1	NO	3
28045	Colmenar Viejo	4	1	1	3
28044	Colmenarejo	3	1	NO	3
28053	Daganzo de Arriba	3	3	NO	3
28054	Escorial (El)	3	NO	NO	3
28061	Galapagar	4	NO	NO	3
28068	Guadarrama	3	1	NO	3
28072	Hoyo de Manzanares	2	2	NO	3
28079	Madrid	4	4	4	3
28080	Majadahonda	4	3	3	4
28082	Manzanares el Real	2	NO	NO	3
28085	Miraflores de la Sierra	2	1	NO	3
28087	Molinos (Los)	2	NO	NO	3
28090	Moralzarzal	3	1	NO	3
28093	Navacerrada	1	1	NO	3
28100	Nuevo Baztán	2	1	NO	3
28101	Olmeda de las Fuentes	NO	3	NO	3
28104	Paracuellos de Jarama	4	2	1	3
28108	Pedrezuela	3	1	NO	3
28115	Pozuelo de Alarcón	4	4	4	4
28123	Rivas-Vaciamadrid	4	2	NO	3
28127	Rozas de Madrid (Las)	4	4	4	4
28129	San Agustín del Guadalix	4	2	NO	4
28131	San Lorenzo de El Escorial	3	2	NO	3
28134	San Sebastián de los Reyes	4	3	3	3
28144	Soto del Real	2	2	NO	3
28152	Torrelodones	4	2	1	4
28903	Tres Cantos	4	4	2	4
28160	Valdemorillo	3	1	NO	3
28162	Valdeolmos-Alalpardo	3	2	NO	3
28169	Venturada	1	2	NO	4
28172	Villalbilla	4	1	NO	3
28176	Villanueva de la Cañada	4	3	NO	4
28177	Villanueva del Pardillo	4	1	NO	3
28179	Villar del Olmo	1	NO	NO	3
28181	Villaviciosa de Odón	3	3	NO	4
Total general		3	2,08	2	3

Tabla 23: Resultados de las ponderaciones para una ponderación de RBDM per cápita superior o igual a 3.

Fuente: Elaboración propia.

Se han descartado por tanto los municipios que no cumplen con una ponderación superior a 3 o igual a 3, es decir, los municipios cuya RBDM per cápita es inferior a la mediana de los datos, dado que, como se ha ido explicando, el servicio ofrecido no es uno necesario para la población, sino que implica poder priorizar el confort y la conveniencia personal por encima del coste del trayecto. Además, se puede observar cómo esta ponderación engloba a municipios tanto emisores como receptores de pasajeros, grandes y pequeños, que es necesario estudiar para determinar los tres puntos óptimos para la Fase I.

Es necesario por tanto conocer los flujos de trabajadores en estos municipios. Por ello se ha realizado un análisis de la matriz elaborada en el “Atlas de Movilidad” en 2016, y se han proyectado los datos siguiendo el patrón de crecimiento de la población entre 2016 y 2018. De esta forma, se ha calculado el porcentaje de los afiliados residentes que se desplazaban en 2016 a cada municipio, y se ha aplicado este porcentaje al correspondiente dato de afiliación de diciembre de 2017.

Los resultados de los flujos de pasajeros potenciales (en base a un 2% del total) a los tres primeros destinos de estos 45 municipios se muestran en la Tabla 24:

Código	Municipio	Trabajo 1	Distancia a 1 (km)	Flujo población	Trabajo 2	Distancia a 2 (km)	Flujo población	Trabajo 3	Distancia a 3 (km)	Flujo población
28006	Alcobendas	28079	14,9	1.098,4	28006	0,0	838,7	28134	1,3	225,7
28009	Algete	28079	25,7	163,6	28009	0,0	76,4	28006	13,3	53,0
28010	Alpedrete	28079	38,7	111,4	28010	0,0	33,4	28047	3,0	32,9
28015	Arroyomolinos	28079	25,6	198,8	28015	0,0	57,2	28092	7,7	54,3
28018	Becerril de la Sierra	28079	41,5	39,4	28018	0,0	17,8	28047	7,8	5,4
28022	Boadilla del Monte	28079	15,9	437,3	28022	0,0	156,8	28115	6,3	86,3
28023	Boalo (El)	28079	38,3	51,7	28023	0,0	17,7	28903	22,0	7,8
28026	Brunete	28079	26,0	65,6	28026	0,0	30,7	28022	10,1	17,8
28041	Cobeña	28079	22,9	58,0	28041	0,0	17,9	28006	11,8	15,2
28044	Colmenarejo	28079	31,7	74,1	28044	0,0	18,8	28127	14,2	15,3
28045	Colmenar Viejo	28079	43,2	383,1	28045	0,0	301,5	28903	61,1	128,9
28046	Collado Mediano	28079	41,5	52,7	28046	0,0	19,6	28047	6,0	9,6
28053	Daganzo de Arriba	28079	24,3	76,9	28053	0,0	27,8	28005	10,7	16,0
28054	Escorial (El)	28079	41,4	112,2	28054	0,0	55,8	28131	1,8	26,4
28061	Galapagar	28079	31,7	273,3	28061	0,0	91,2	28127	14,4	69,4
28068	Guadarrama	28079	43,8	106,9	28068	0,0	70,3	28047	8,7	24,9
28072	Hoyo de Manzanares	28079	29,0	65,0	28072	0,0	27,2	28127	14,6	11,3
28079	Madrid	28079	0,0	55.419,9	28006	14,9	1.864,9	28115	10,5	1.417,5
28080	Majadahonda	28079	16,4	692,8	28080	0,0	322,4	28127	2,3	109,5
28082	Manzanares el Real	28079	37,2	60,7	28082	0,0	22,1	28903	19,2	13,8
28085	Miraflores de la Sierra	28079	44,3	39,0	28085	0,0	23,5	28045	84,7	7,2
28087	Molinos (Los)	28079	46,1	31,7	28087	0,0	14,4	28038	3,3	5,4
28090	Moralzarzal	28079	37,3	89,3	28090	0,0	37,9	28047	4,1	21,2
28093	Navacerrada	28079	43,9	17,8	28093	0,0	13,4	28047	9,4	2,7
28100	Nuevo Baztán	28079	38,6	45,7	28100	0,0	13,5	28005	16,4	9,6
28101	Olmeda de las Fuentes	28079	40,3	2,6	28101	0,0	1,2	28100	1,8	0,4
28104	Paracuellos de Jarama	28079	16,6	231,2	28104	0,0	49,6	28006	10,4	32,1
28108	Pedrezuela	28079	37,0	33,7	28108	0,0	11,8	28006	22,2	11,5
28115	Pozuelo de Alarcón	28079	10,5	955,6	28115	0,0	410,4	28127	8,3	55,0
28123	Rivas-Vaciamadrid	28079	14,2	978,9	28123	0,0	314,8	28014	11,0	76,4
28127	Rozas de Madrid (Las)	28079	17,5	934,3	28127	0,0	446,1	28115	8,3	109,4
28129	San Agustín del Guadalix	28079	29,5	94,3	28129	0,0	48,8	28006	14,7	30,4
28131	San Lorenzo de El Escorial	28079	43,2	128,3	28131	0,0	94,9	28054	1,8	17,0
28134	San Sebastián de los Reyes	28079	15,3	792,7	28134	0,0	430,6	28006	1,3	355,8
28144	Soto del Real	28079	38,0	66,8	28144	0,0	36,4	28045	79,3	12,4
28152	Torrelodones	28079	26,6	200,5	28152	0,0	62,3	28127	10,3	38,2
28160	Valdemorillo	28079	33,2	83,7	28160	0,0	41,7	28127	16,5	15,3
28162	Valdeolmos-Alalpardo	28079	29,7	24,4	28162	0,0	8,5	28006	16,8	7,8
28169	Venturada	28079	42,6	14,7	28169	0,0	4,9	28134	27,9	3,1
28172	Villalbilla	28079	33,4	80,1	28005	7,7	66,2	28172	0,0	24,5
28176	Villanueva de la Cañada	28079	35,7	148,2	28176	0,0	77,5	28080	24,0	23,7
28177	Villanueva del Pardillo	28079	24,4	133,7	28177	0,0	47,1	28127	7,6	42,0
28179	Villar del Olmo	28079	39,8	17,1	28100	3,3	3,6	28179	0,0	3,3

28181	Villaviciosa de Odón	28079	19,1	200,9	28181	0,0	94,1	28092	5,1	46,3
28903	Tres Cantos	28079	20,0	434,3	28903	0,0	275,5	28006	8,3	80,4
Total general			30,36	1451,59		0,58	148,81		14,22	74,93

Tabla 24: Resultados de los flujos de trabajadores potenciales para los municipios con ponderación económica superior o igual a 3.

Fuente: Elaboración propia.

Es notable que el primer destino de centro de trabajo de cada uno de estos 45 municipios es Madrid (código 28079), y el segundo destino suele ser el municipio de residencia, luego en estos casos no existe un desplazamiento. Este patrón sólo se modifica en el municipio de Madrid, puesto que obviamente el primer destino de trabajo de sus habitantes es la ciudad de Madrid. Además, como se ha establecido que sólo se considere flujo un 2% del total, los flujos de pasajeros en aquellos municipios con poblaciones más pequeñas son muy escasos.

Teniendo estos datos preliminares, se ha procedido a seleccionar aquellos municipios con ponderaciones residenciales altas (que impliquen mayor número de trabajadores afiliados y por tanto mayor número de pasajeros potenciales), que tengan mucho flujo de pasajeros entrando o saliendo de la capital (emisores o receptores). De esta forma, se están segmentando los municipios exteriores a Madrid que tengan un número elevado de trabajadores que se desplacen a Madrid por motivos laborales. Se han establecido por tanto los criterios de **ponderación residencial 4**, y **ponderación económica 4**. Los resultados de esta segmentación se muestran en la Tabla 25 y Tabla 26:

Código	Municipio	Población	Pond Residencial	Pond Ratio Emp	Pond Económica
28006	Alcobendas	116.037	4	4	4
28022	Boadilla del Monte	52.626	4	4	4
28080	Majadahonda	71.785	4	3	4
28115	Pozuelo de Alarcón	86.172	4	4	4
28127	Rozas de Madrid (Las)	95.550	4	4	4
28129	San Agustín del Guadalix	13.273	4	2	4
28152	Torrelodones	23.361	4	2	4
28176	Villanueva de la Cañada	21.000	4	3	4
28903	Tres Cantos	46.750	4	4	4
Total general		526.554		3,33	4,00

Tabla 25: Resultados de las ponderaciones 4 residenciales y económicas.

Fuente: Elaboración propia.

Municipio	Trabajo 1	Distancia a 1 (km)	Flujo población	Trabajo 2	Distancia a 2 (km)	Flujo población	Trabajo 3	Distancia a 3 (km)	Flujo población
Alcobendas	28079	14,9	439,4	28006	0,0	335,5	28134	1,3	90,3
Boadilla del Monte	28079	15,9	174,9	28022	0,0	62,7	28115	6,3	34,5
Majadahonda	28079	16,4	277,1	28080	0,0	128,9	28127	2,3	43,8
Pozuelo de Alarcón	28079	10,5	382,3	28115	0,0	164,2	28127	8,3	22,0
Rozas de Madrid (Las)	28079	17,5	373,7	28127	0,0	178,4	28115	8,3	43,7
San Agustín del Guadalix	28079	29,5	37,7	28129	0,0	19,5	28006	14,7	12,2
Villanueva de la Cañada	28079	35,7	59,3	28176	0,0	31,0	28080	24,0	9,5
Tres Cantos	28079	20,0	173,7	28903	0,0	110,2	28006	8,3	32,1
Total general		20,05	239,76		0,00	128,81		9,17	36,01

Tabla 26: Resultados de los desplazamientos para los municipios de la Tabla 25..

Fuente: Elaboración propia.

Resulta interesante observar que la gran mayoría de estos municipios se encuentran en la zona Norte u Oeste de la ciudad de Madrid, y además, son los municipios que tienen frontera con el municipio de Madrid. No obstante, teniendo en cuenta la localización de los municipios, es necesario determinar en cuáles de ellos se van a establecer los tres helipuertos.

trabajadores. Sin embargo, es un municipio que considerar para una futura expansión del proyecto.

2.2.2.1.1. Helipuerto de Alcobendas

Finalmente se ha optado por Alcobendas, dado que tiene un flujo de pasajeros elevado con la capital, lo que podría considerarse como un criterio emisor. Sin embargo, según los resultados, se puede comprobar que el ratio T/TRes del municipio tiene un valor muy alto, lo que lleva a determinar que Alcobendas es también, y en mayor medida, un nudo receptor. Además, si se tiene en cuenta el flujo de pasajeros desde la ciudad de Madrid, el segundo destino después de los que trabajan en el mismo municipio es Alcobendas, con un flujo de pasajeros potenciales de 746 personas, se puede resolver que es el lugar más adecuado de cara al éxito del proyecto para instalar un helipuerto en la zona Norte de Madrid. Adicionalmente, Alcobendas cuenta con una ponderación comercial de 4, lo que significa que tiene muchas zonas de ocio y comercio, generando un desplazamiento adicional de pasajeros.

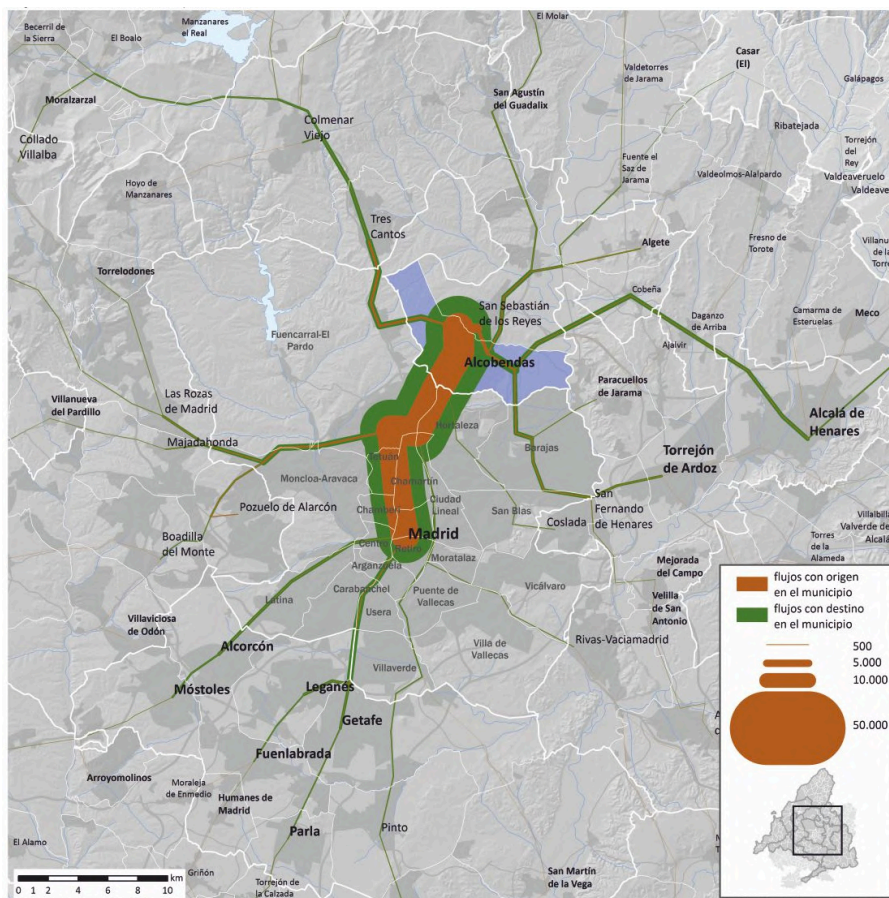


Figura 12: Mapa de flujos con origen y destino en el municipio de Alcobendas (2016).

Fuente: Atlas de movilidad residencia-trabajo, 2017.

Teniendo en cuenta estos factores, se ha determinado una zona preliminar donde establecer el helipuerto, o helipuertos, en función de los recursos disponibles y el número de pasajeros que se necesiten. La zona debe ser suficientemente grande como para permitir la instalación del *pad*, preferiblemente en un parque o una azotea grande, pero también debe estar situada en una zona bien conectada con el resto del municipio o con otros medios de transporte para permitir que los pasajeros lleguen a su destino final. Por tanto, se ha determinado que una localización posible para el helipuerto sería la que muestra la Figura 13.

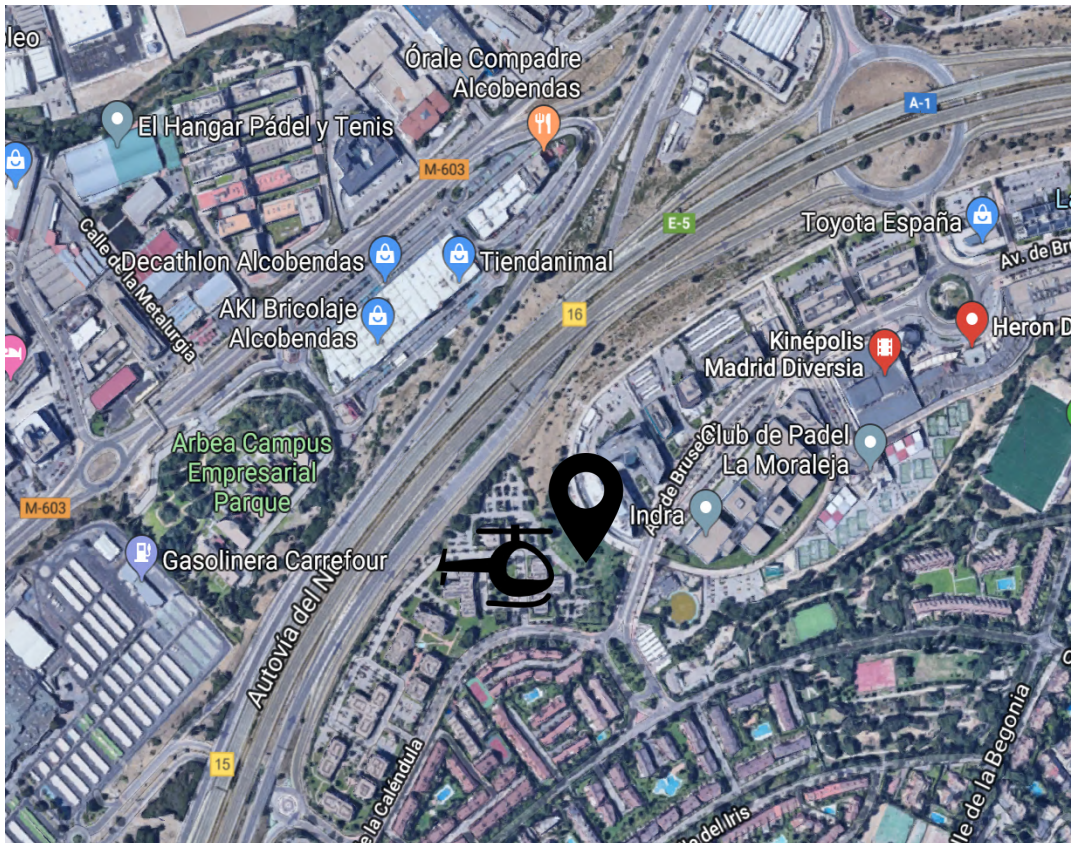


Figura 13: Vista aérea de la localización del helipuerto de Alcobendas.

Fuente: Google Maps.

En cuanto a los municipios situados al oeste de Madrid destacan los municipios de Las Rozas, Boadilla del Monte, Majadahonda y Pozuelo de Alarcón. Teniendo en cuenta únicamente el tráfico de pasajeros, es notable Pozuelo como el municipio que mayor flujo tiene. Además, es un municipio tanto emisor como receptor, pues tiene una ponderación muy alta en el ratio T/TRes, y en la lista de destinos de Madrid aparece como el tercer destino más frecuente desde la capital, además de ser económicamente el municipio con las rentas más altas a nivel nacional. Adicionalmente, es muy significativo que la distancia que lo une al centro de Madrid según la tabla es de 10 km, que aparentemente no es una distancia muy larga, pero esta distancia se refiere al centro de la ciudad tomado como la Plaza del Sol. Si se consideran zonas empresariales

como Nuevos Ministerios, Plaza de Castilla o el barrio de Salamanca, la distancia aumenta considerablemente hasta los 17 km⁴⁷. Sin embargo, un factor muy importante a considerar es el hecho de que actualmente existe una línea de metro, la línea 10, que conecta Plaza de Castilla, Bernabéu y Nuevos Ministerios con Colonia Jardín⁴⁸, a 5 minutos en coche de zonas residenciales de Pozuelo de Alarcón como Somosaguas⁴⁹. Teniendo en cuenta este factor, es necesario estudiar mejor el resto de municipios como pertenecientes a la Fase I, aunque indudablemente Pozuelo de Alarcón debe pertenecer a una de las siguientes fases.

2.2.2.1.2. Helipuerto de Las Rozas

Las Rozas tiene un comportamiento parecido al de Pozuelo: cuenta con parques empresariales, además de otras zonas comerciales, lo que conlleva que, aunque tenga un gran ratio de emisión de residentes a la capital, también funciona como nudo receptor. Además, el transporte desde este municipio hacia el centro es mucho más difícil, con cercanías, autobús o vehículo propio, superando una hora de trayecto en realizar 20 km⁵⁰. Si bien no es el que más flujo de pasajeros tiene, es notable porque está más alejado del centro, pero en el mismo trayecto que otros municipios como Majadahonda o Pozuelo, lo que podría suponer una “escala” en este municipio en fases posteriores. Como criterio comercial, Las Rozas es un municipio con muchas zonas comerciales como Las Rozas Village o Heron City⁵¹, lo que supone también un flujo adicional de pasajeros. Con 934 pasajeros diarios, además de unas ponderaciones muy altas en todos los criterios seleccionados, es el municipio seleccionado para establecer uno o más helipuertos en la fase inicial.

⁴⁷ Google Maps, 2019.

⁴⁸ Metro de Madrid, 2019.

⁴⁹ Google Maps, 2019.

⁵⁰ Google Maps, 2019.

⁵¹ Centro-comercial.org, “Directorio de centros comerciales por provincia”, 2018.

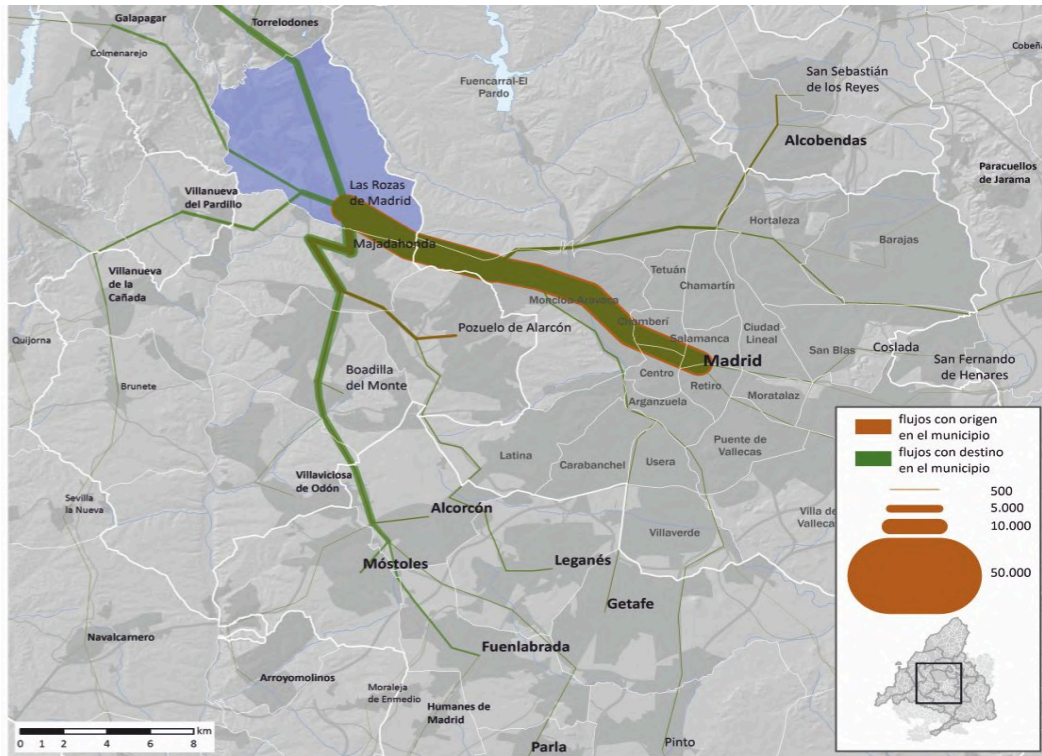


Figura 14: Mapa de flujos con origen y destino en el municipio de Las Rozas.

Fuente: Atlas de movilidad residencia-trabajo, 2017.

Es notable que existe una frontera muy cercana entre la zona empresarial de Las Rozas y aquella de Majadahonda, a ambos lados de la M-505, lo que supone que se haya identificado esa zona limítrofe para la localización del helipuerto.

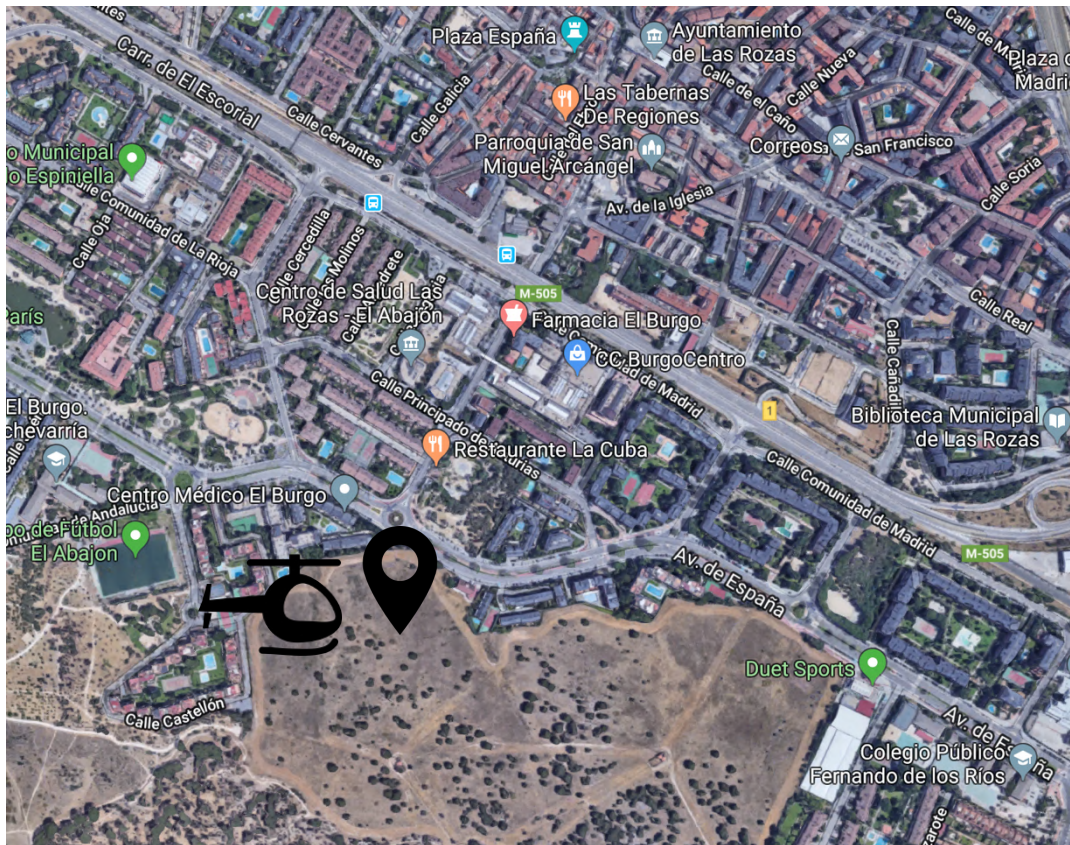


Figura 15: Vista aérea de la localización del helipuerto de Las Rozas.

2.2.2.1.3. Helipuerto de Boadilla del Monte

Por últimos se ha seleccionado Boadilla del Monte como el tercer municipio donde localizar uno de los helipuertos, ya que, aunque no es el que más flujo de pasajeros conlleva, está a una distancia de Madrid considerable (27 km), y cumple con los requisitos de manera excepcional. También es nudo emisor y receptor, como Las Rozas, y cuenta con parques empresariales como la Ciudad Financiera del Grupo Santander, que aglomera un número muy elevado de trabajadores. Además, el recorrido en vuelo hasta zonas de Madrid como Retiro o Salamanca, pasa por zonas como Somosaguas o Aravaca, lugares a tener en cuenta en fases posteriores del proyecto como posibles “escalas” de subida y bajada de pasajeros.

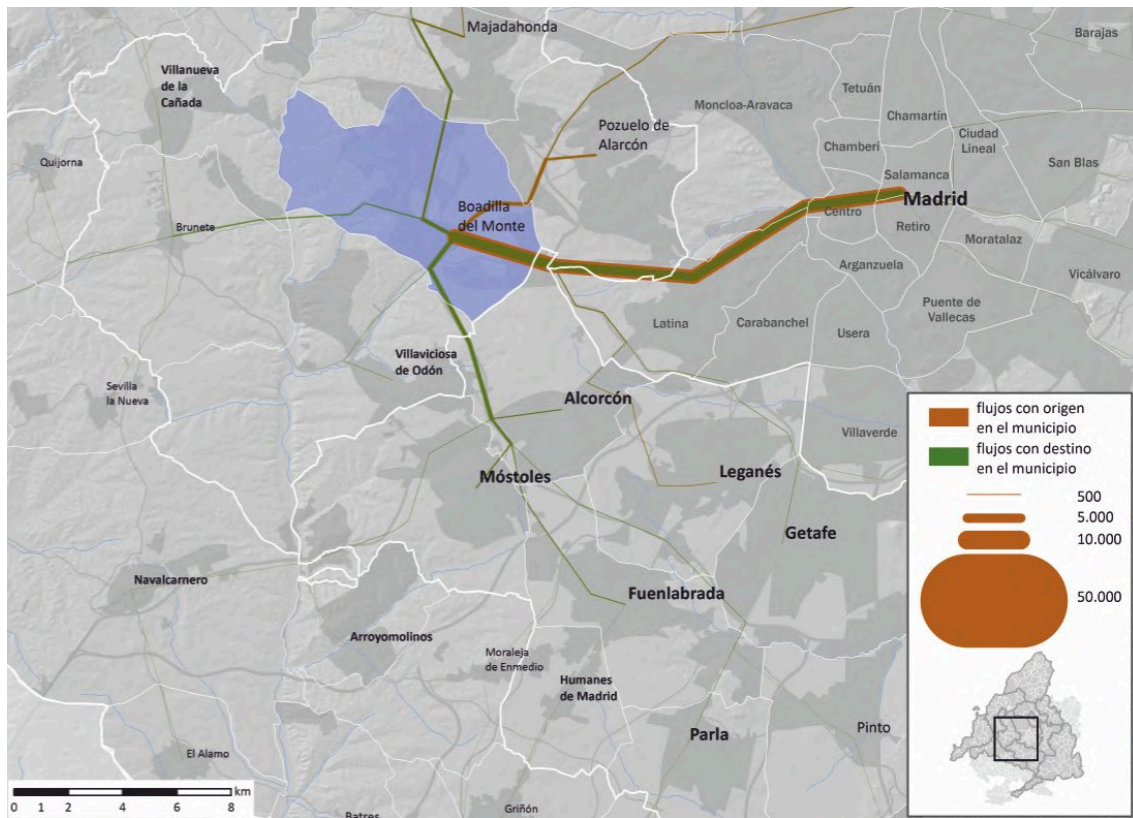


Figura 16: Mapa de flujos de origen y destino del municipio de Boadilla del Monte.

Fuente: Atlas de movilidad residencia-trabajo, 2017.

La localización del helipuerto se ha seleccionado en función a su distancia con respecto a las zonas empresariales, pero teniendo en cuenta que este municipio es también muy emisor y por tanto debe estar cerca de las aglomeraciones residenciales.

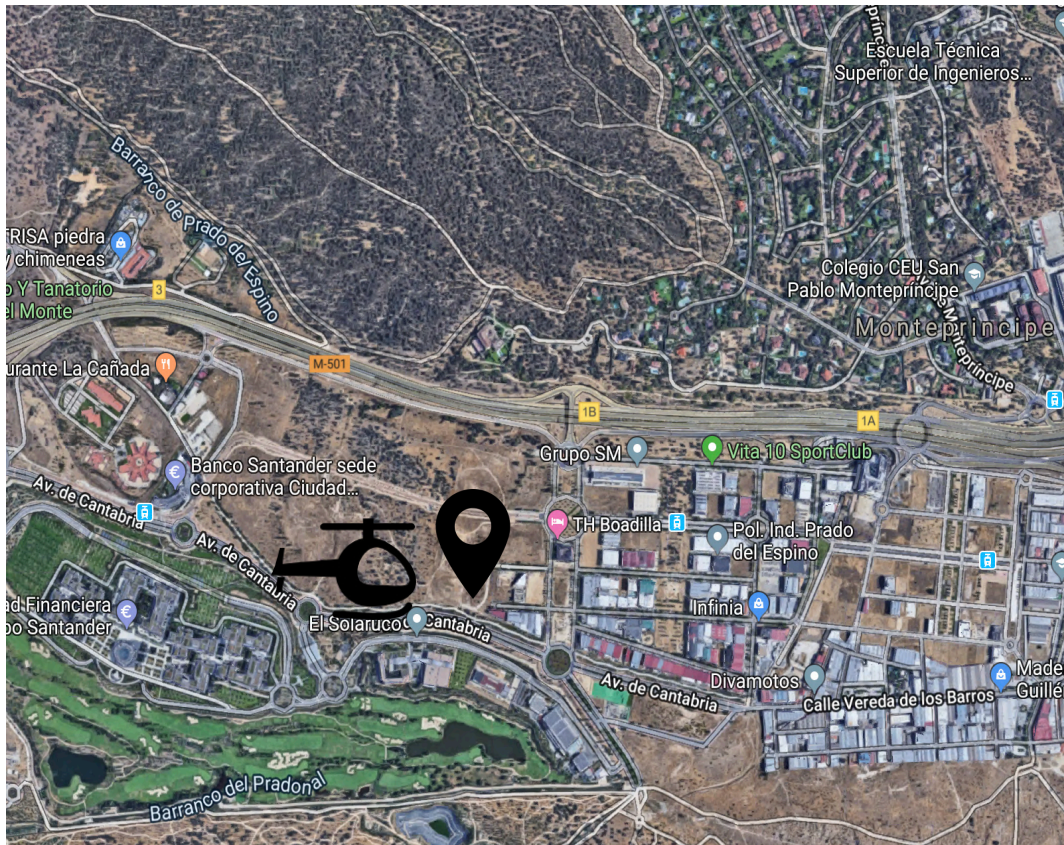


Figura 17: Vista aérea de la localización del helipuerto de Boadilla del Monte.

Fuente: Google Maps.

2.2.2.2. Estaciones dentro del municipio de Madrid

Inicialmente, sólo se han considerado tres helipuertos adicionales a los que se han explicado en la ciudad de Madrid. De esta forma, se han seleccionado helipuertos cuya funcionalidad en cuanto a conectar las diferentes zonas de Madrid sea fundamental. Es por ello por lo que se han escogido para la Fase I, estaciones en Moncloa, Atocha y Nuevos Ministerios.

2.2.2.2.1. Helipuerto de Moncloa

El intercambiador de Moncloa es el más concurrido en la zona Oeste para entrar y salir de la capital⁵², y además cuenta con numerosas líneas de autobús y metro que conectan Moncloa con el resto de la ciudad de Madrid⁵³. Por ejemplo, Moncloa y Nuevos Ministerios están conectadas

⁵² Ayuntamiento de Madrid, “RENFE - Movimientos mensuales de Viajeros de Cercanías por Estación”, 2019.

⁵³ EMT y Metro de Madrid, 2019.

con la línea Circular de Metro, así como desde Argüelles, a 5 minutos a pie desde Moncloa, se puede encontrar la línea 4 hasta el barrio de Salamanca.

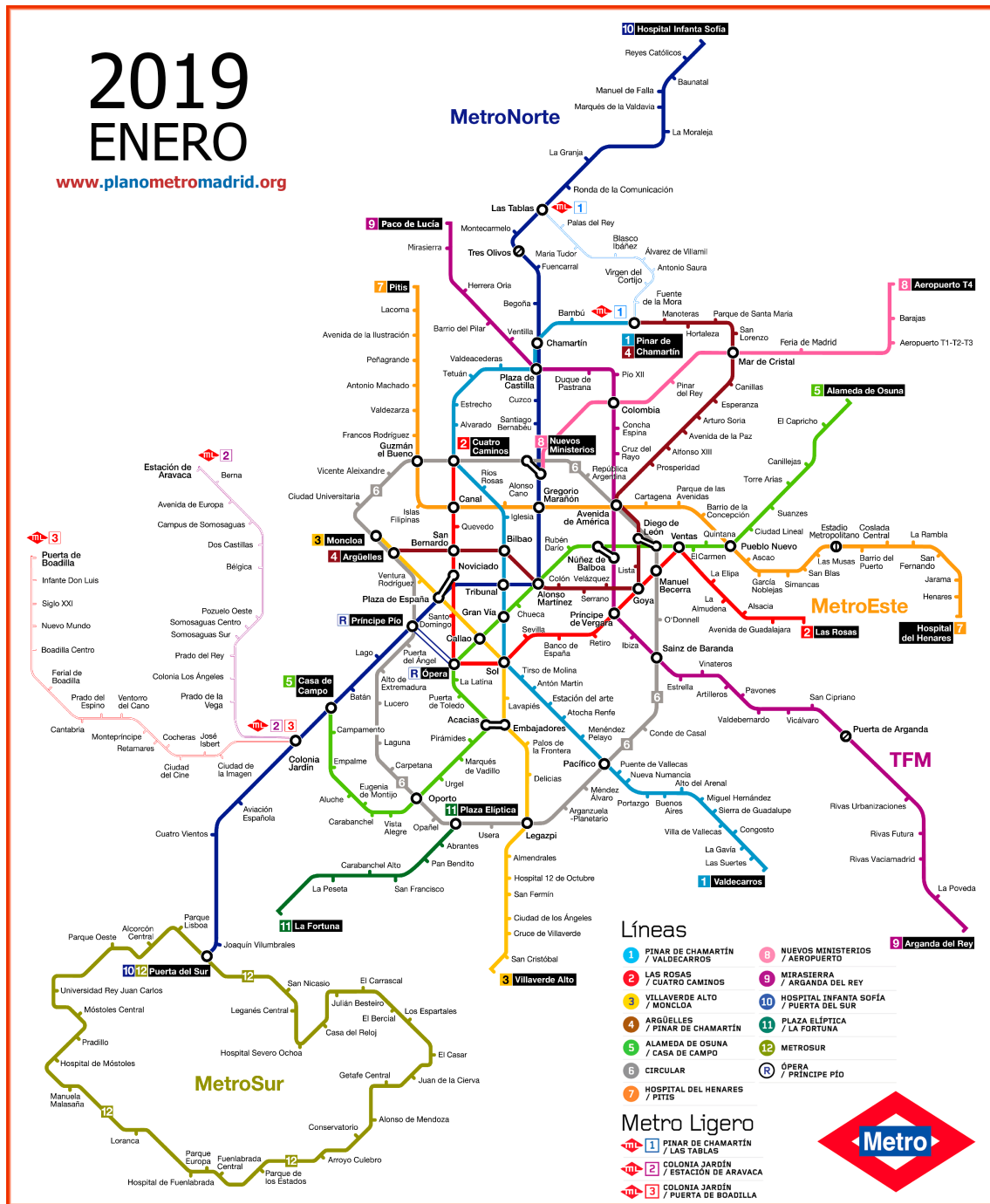


Figura 18: Mapa de las líneas del Metro de Madrid.

Fuente: Metro de Madrid.

La localización del helipuerto en Moncloa se podría realizar en el Parque del Oeste situado justo detrás del intercambiador.

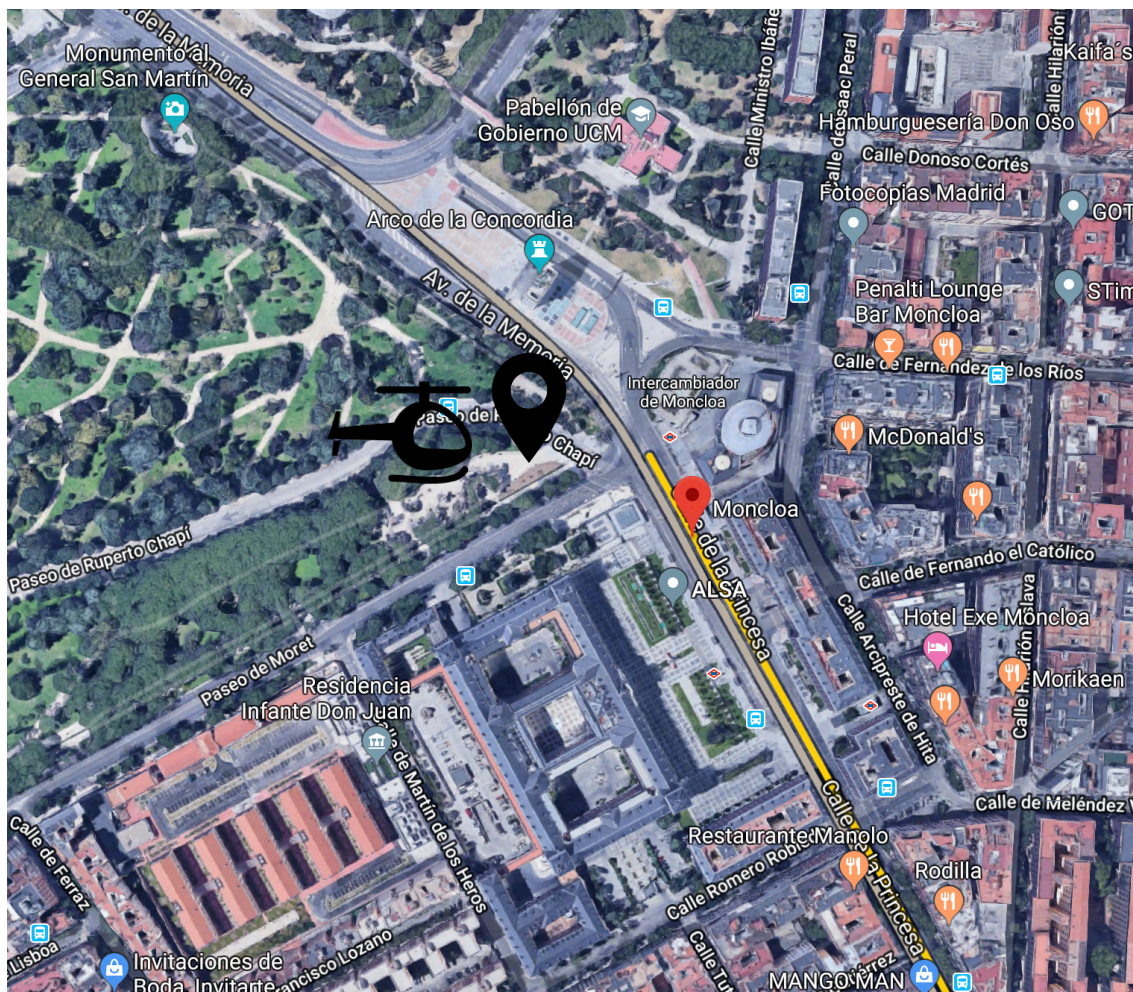


Figura 19: Vista aérea de la localización del helipuerto de Moncloa.

Fuente: Google Maps.

2.2.2.2. Helipuerto de Atocha

Atocha Cercanías o Puerta de Atocha son las dos estaciones más concurridas de trenes de cercanías, media y larga distancia. Además, cuenta con una estación de Metro cercana, Estación del Arte, luego también está conectada con otros puntos de la capital⁵⁴. Es por ello por lo que se ha elegido este punto como otro de los helipuertos dentro del municipio de Madrid.

⁵⁴ Metro de Madrid, 2019.



Figura 20: Vista aérea de la localización del helipuerto de Atocha.

Fuente: Google Maps.

2.2.2.2.3. Helipuerto de Nuevos Ministerios

Por último se ha seleccionado Nuevos Ministerios como el tercer helipuerto del municipio de Madrid, dado que, además de ser una estación de cercanías, es una conexión muy transitada de varias líneas de Metro, y se encuentra en una zona empresarial, además de estar cerca de otras zonas residenciales como El Viso. Como ruta destacable se encuentra la conexión entre esta estación y el aeropuerto con la línea 8⁵⁵.

Dado que cuenta con numerosas torres con azoteas, se ha planteado la localización del helipuerto de Lilium en la Torre BBVA.

Con esta estación, se formaría un triángulo entre las tres seleccionadas, Moncloa al Oeste, Atocha al Sur y Nuevos Ministerios al Norte del municipio, que comprendería buena parte de los desplazamientos que se generan en el centro de la ciudad.

⁵⁵ Metro de Madrid, 2019.

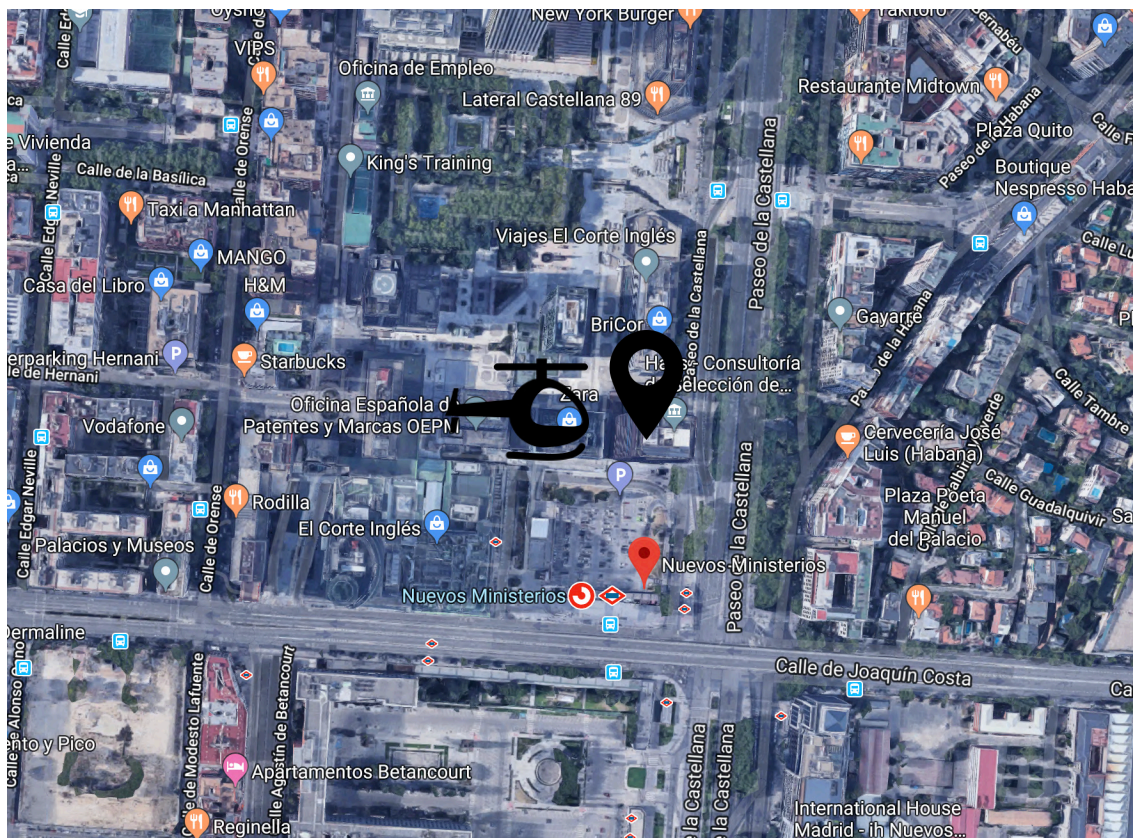


Figura 21: Vista aérea de la localización del helipuerto de Nuevos Ministerios.

Fuente: Google Maps.

2.2.3. Estaciones Fase II

Suponiendo una Fase I exitosa, se han seleccionado también estaciones adicionales para fases posteriores del proyecto, que podrían darse uno o dos años después del lanzamiento inicial.

2.2.3.1. Estaciones fuera del municipio de Madrid

Como se ha comprobado anteriormente, existen varios municipios no considerados en la Fase I por tener mayores facilidades de acceso o flujos de pasajeros menores, que deberían incluirse en fases posteriores del proyecto.

2.2.3.1.1. Helipuerto de Pozuelo de Alarcón

Bajo el mismo razonamiento que se ha realizado previamente, el municipio de Pozuelo de Alarcón tiene unos flujos de pasajeros con origen y destino en Madrid, que, teniendo en cuenta su ponderación económica, y fundamentalmente el tráfico que se crea en horas punta, lo convierte en la siguiente localización para un helipuerto de Lillium. Sin embargo, dadas las

características de la zona empresarial de La Finca, así como las urbanizaciones residenciales, se ha determinado que la localización debe ser entorno a esas dos zonas⁵⁶.

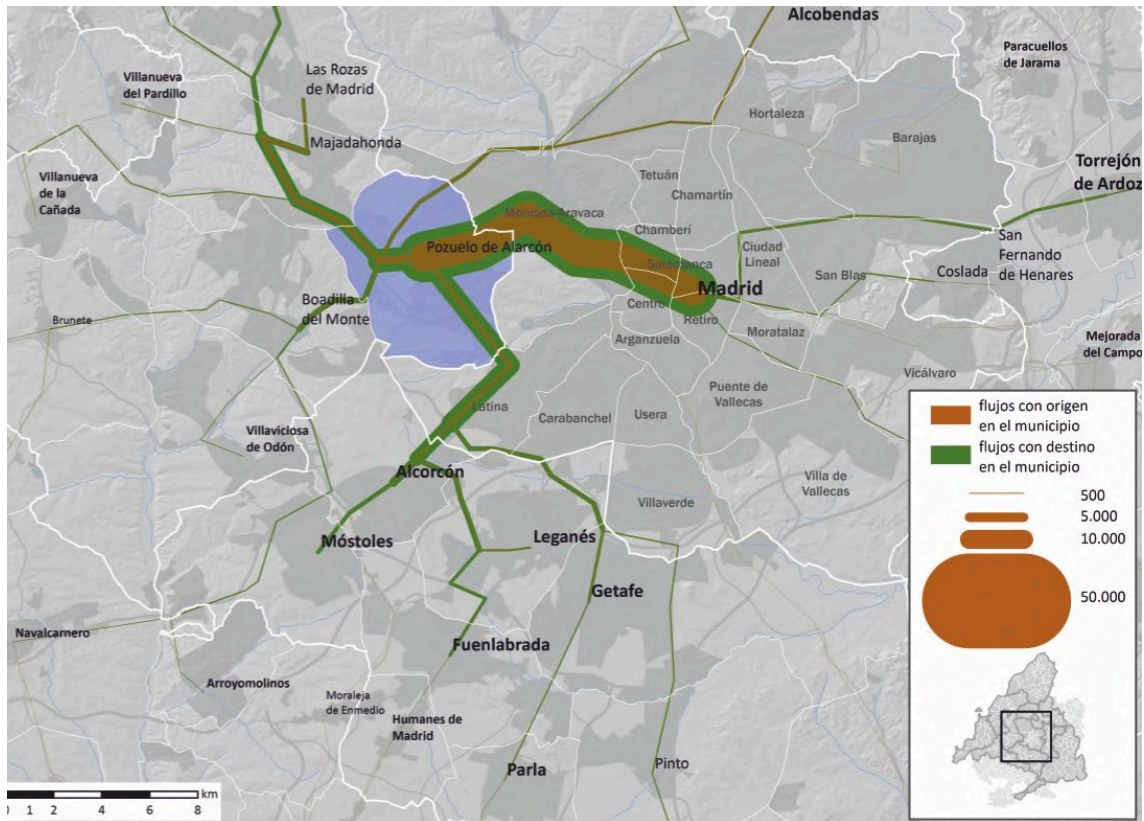


Figura 22: Mapa de los flujos de origen y destino de Pozuelo de Alarcón.

Fuente: Atlas de movilidad residencia-trabajo, 2017.

⁵⁶ La Finca Real Estate, 2019.

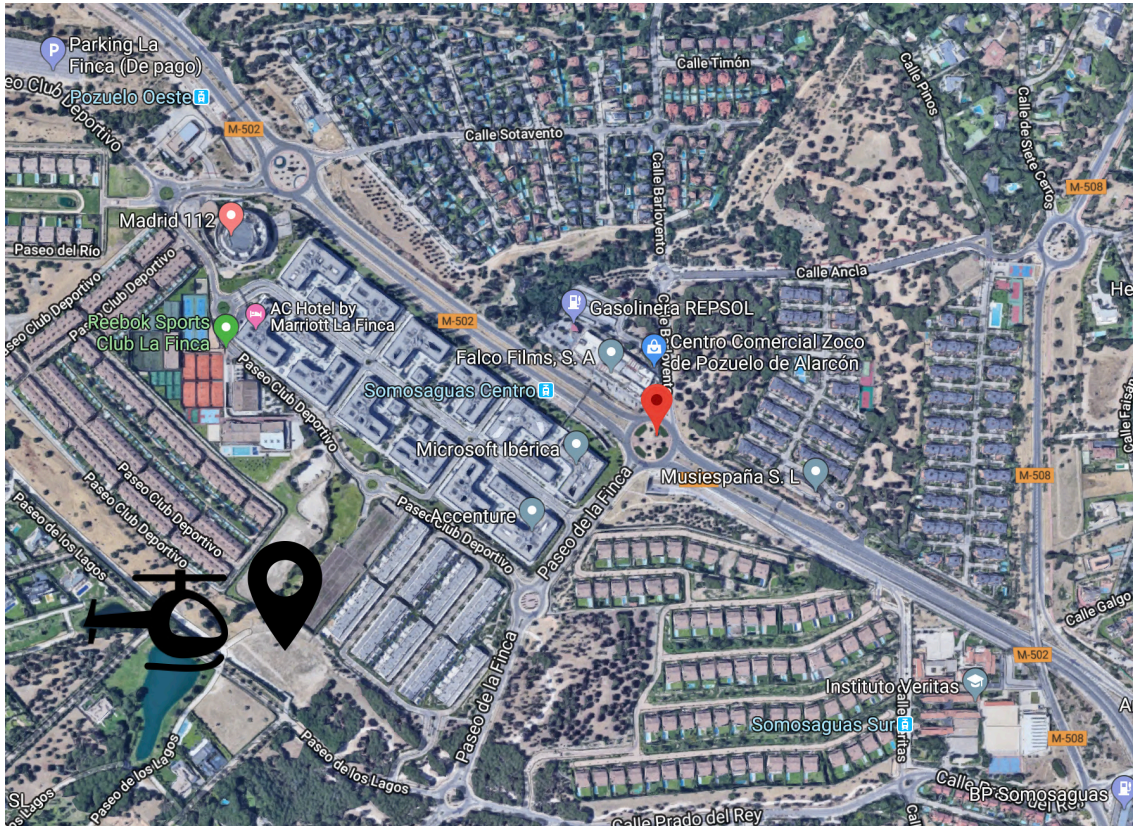


Figura 23: Vista aérea de la localización del helipuerto de Pozuelo de Alarcón.

Fuente: Google Maps.

2.2.3.2. Estaciones dentro del municipio de Madrid

Dado que en la Fase I se han seleccionado mediante las conexiones que ofrecían los puntos considerados, pues sólo se contaba con tres helipuertos, es necesario ahora plantearse las ponderaciones que se habían establecido en el análisis para determinar las estaciones adicionales.

Se muestran en la tabla los resultados para la mayor ponderación económica en el municipio de Madrid.

Código	Distrito	Población	Ratio T/TRes	Pond Ratio	RBD pc 2018	Pond Renta
03	Retiro	119.011	2,06	3	27.985	4
04	Salamanca	145.268	3,25	4	28.773	4
05	Chamartín	144.894	2,86	4	28.775	4
07	Chamberí	138.418	2,50	4	28.312	4
09	Moncloa-Aravaca	117.835	2,28	3	27.058	4
21	Barajas	47.836	2,56	4	25.794	4
Total general		713.262	2,58	3,67	27.783	4,00

Tabla 27: Resultados para la ponderación económica 4 de los distritos de Madrid.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede comprobar, las estaciones elegidas en la Fase I coinciden también con los criterios de ponderación económica que se muestran. Además, cabe destacar que, si bien las zonas de Retiro y Moncloa-Aravaca cuentan con un ratio T/TRes de 3, se puede ver que siguen siendo zonas fuertemente receptoras de trabajadores.

En la siguiente tabla se muestran los resultados para la ponderación 4 del ratio T/TRes.

Código	Distrito	Población	Ratio Emp/Res	Pond Ratio	RBD pc 2018	Pond Renta
01	Centro	132.352	2,49	4	24.814	3
04	Salamanca	145.268	3,25	4	28.773	4
05	Chamartín	144.894	2,86	4	28.775	4
07	Chamberí	138.418	2,50	4	28.312	4
21	Barajas	47.836	2,56	4	25.794	4
Total general		608.768	2,73	4,00	27.294	3,80

Tabla 28: Resultados para la ponderación del ratio T/TRes 4 de los distritos de Madrid.

Fuente: Elaboración propia.

Por tanto, se ha procedido a implementar tres estaciones más conforme a estos resultados.

2.2.3.2.1. Helipuerto de Chamberí

En primer lugar, se ha decidido establecer un helipuerto en la zona de Chamberí, al tratarse de un barrio residencial y a la vez fuertemente receptor de pasajeros. La localización del helipuerto se ha realizado en una azotea de un edificio en el barrio de Almagro, al ser este uno de los que más aglomeración empresarial recibe, así como zonas residenciales.



Figura 24: Vista aérea de la localización del helipuerto de Chamberí.

Fuente: Google Maps.

2.2.3.2.2. Helipuerto de Salamanca

En segundo lugar, se ha seleccionado el barrio de Salamanca como punto estratégico para implantar un helipuerto, puesto que concurre con ser el que más renta per cápita posee, así como un fuerte ratio empresarial debido a las zonas de Paseo de la Castellana, Serrano y Velázquez entre otras.



Figura 26: Vista aérea de la localización del helipuerto en Barajas.

Fuente: Google Maps.

2.2.4. Resumen resultados localizaciones

El resultado de las localizaciones escogidas para los helipuertos según las diferentes fases se muestra en la siguiente Tabla 29:

Código	Municipio/Distrito	Población	Ratio T/Tres	Pond Ratio	RBD pc 2018	Pond Renta
FASE I						
28006	Alcobendas	116.037	2,33	4	25.550,64	4
28127	Rozas de Madrid (Las)	95.550	1,70	4	27.222,00	4
28022	Boadilla del Monte	52.626	1,56	4	28.174,96	4
09	Moncloa-Aravaca	117.835	2,28	3	27.058	4
02	Atocha (Arganzuela)	152.907	1,37	3	23.885	3
05	Nuevos Ministerios (Chamartín)	144.894	2,86	4	28.775	4
FASE II						
28115	Pozuelo de Alarcón	86.172	2,27	4	35.663,78	4
07	Chamberí	138.418	2,50	4	28.312	4
04	Salamanca	145.268	3,25	4	28.773	4
21	Barajas	47.836	2,56	4	25.794	4

Tabla 29: Resultados de los helipuertos seleccionados.

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta los diferentes sistemas de transporte público entre los diferentes helipuertos, y las ponderaciones de cada zona, se han establecido las siguientes rutas para la Fase I. Además, se ha estimado la duración del vuelo en cada trayecto de la línea, en base a la distancia y una velocidad aproximada de 200 km/h (Lilium asegura una velocidad máxima de 300 km/h⁵⁸, no obstante, se ha aplicado un coeficiente de seguridad frente a este dato al considerar que esa velocidad sólo se alcanzará en fases posteriores del proyecto). Además de este tiempo de recorrido, se deben considerar tiempos adicionales de espera, despegue y aterrizaje, que se calcularán en apartados posteriores.

⁵⁸ Lilium, "Our mission", 2019.

Trayecto	Distancia vuelo (km)	Duración vuelo (min)	Flujo max pasajeros (4h)	H actividad max
FASE I				
Alcobendas - Atocha	14,80	4,44	257	6.30 - 10.30; 17.00 - 21.00
Atocha - Alcobendas	14,80	4,44	270	6.30 - 10.30; 17.00 - 21.00
Alcobendas - Moncloa	12,79	3,84	182	6.30 - 10.30; 17.00 - 21.00
Moncloa - Alcobendas	12,79	3,84	210	6.30 - 10.30; 17.00 - 21.00
Las Rozas - Nuevos Ministerios	16,55	4,97	149	6.30 - 10.30; 17.00 - 21.00
Nuevos Ministerios - Las Rozas	16,55	4,97	111	6.30 - 10.30; 17.00 - 21.00
Las Rozas - Moncloa	14,62	4,39	93	6.30 - 10.30; 17.00 - 21.00
Moncloa - Las Rozas	14,62	4,39	87	6.30 - 10.30; 17.00 - 21.00
Las Rozas - Atocha	19,71	5,91	131	6.30 - 10.30; 17.00 - 21.00
Atocha - Las Rozas	19,71	5,91	112	6.30 - 10.30; 17.00 - 21.00
Boadilla del Monte - Nuevos Ministerios	16,00	4,80	70	6.30 - 10.30; 17.00 - 21.00
Nuevos Ministerios - Boadilla del Monte	16,00	4,80	38	6.30 - 10.30; 17.00 - 21.00
Boadilla del Monte - Moncloa	13,41	4,02	44	6.30 - 10.30; 17.00 - 21.00
Moncloa - Boadilla del Monte	13,41	4,02	30	6.30 - 10.30; 17.00 - 21.00
Boadilla del Monte - Atocha	15,86	4,76	62	6.30 - 10.30; 17.00 - 21.00
Atocha - Boadilla del Monte	15,86	4,76	38	6.30 - 10.30; 17.00 - 21.00

Tabla 30: Trayectos, duración y flujos de pasajeros para la Fase I.

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que se han tenido en cuenta rutas entre Las Rozas y Boadilla del Monte y los tres helipuertos del municipio de Madrid, de ida y vuelta. Sin embargo, dado que Alcobendas está conectado con Nuevos Ministerios por un tren cercanías, que en horas punta sale cada 15 minutos y tiene un tiempo estimado de 23 minutos⁵⁹, además de un trayecto más corto en vehículo propio, se ha considerado que no es necesario establecer esa ruta en un primer momento.

El flujo de pasajeros estimado en cada ruta se ha realizado teniendo en cuenta el flujo establecido de emisión y recepción de pasajeros en la Tabla 24, así como los afiliados a la Seguridad Social por cada distrito de Madrid.

- 1) Rutas con destino en el municipio de Madrid: se ha ponderado el número total de pasajeros potenciales el servicio (un 2% del flujo total de trabajadores), con el ratio de trabajadores afiliados por centro de trabajo en cada uno de los tres distritos en los que se encuentran los helipuertos.

⁵⁹ RENFE, 2019.

3. Recursos logísticos necesarios

El análisis de las rutas de vuelo de la Fase I del proyecto ha concluido con un total de 8 rutas, 16 teniendo en cuenta las rutas de ida y vuelta por separado. En este capítulo se pretende estudiar el número aproximado de recursos necesarios para suplir, o intentar suplir, al máximo esa demanda establecida por el flujo de pasajeros en cada ruta. Para ello se va a utilizar la “teoría de colas”, en un intento de modelar la llegada de pasajeros a cada helipuerto en base a los horarios establecidos de máxima actividad en el apartado anterior.

3.1. Teoría de Colas

La teoría de colas es un estudio matemático de los modelos que implican esperas y congestiones para utilizar un servicio. Es decir, en base a los recursos existentes y el tiempo de llegada y salida de los clientes, determina la longitud de las colas generadas. Es muy útil en industrias como la gestión de clientes en un banco, en el tiempo de espera de un ordenador cuando realiza una operación, o en el transporte público⁶⁰. En el caso del proyecto de Liliium, se va a utilizar la Teoría de Colas para establecer el número de aeronaves y pilotos que se necesitarían para satisfacer una demanda dada de pasajeros.

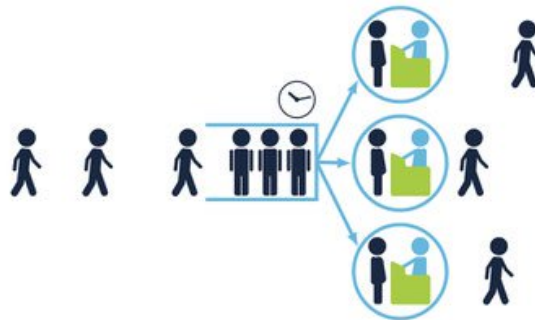


Figura 28: Ejemplo gráfico de la teoría de colas.

Fuente: EDX.

3.1.1. Modelo del proceso de llegada de los clientes

Según la teoría de colas, si se tiene una población suficientemente grande, la llegada de los clientes a las instalaciones se produce de manera independiente, y sin embargo, no hay dos

⁶⁰ W.L. Winston, “Operations research: applications and algorithms”, 2004.

clientes que puedan llegar a la vez. Esta es la hipótesis con la que se va a generar el modelo de recursos, pues se asume que los trabajadores que van a realizar el trayecto en aerotaxi llegan de forma independiente y a lo largo de las 8 horas establecidas (4 por la mañana y 4 por la tarde).

Además, se ha establecido que el orden por el que se utilizará el servicio será FCFS (*First Come First Served*), por el cual, el cliente que llegue antes tendrá prioridad sobre el que llegue después para coger el siguiente aerotaxi disponible.

3.2. Recursos: aerotaxis

3.2.1. Hipótesis realizadas en Arena

La hipótesis de la teoría de colas supone considerar la llegada de pasajeros según una distribución exponencial, en la que se define λ como el ratio de llegada de pasajeros por hora, y $1/\lambda$ el tiempo entre dos llegadas de pasajeros⁶¹. Según la Tabla 30, existen diferentes flujos de pasajeros para cada ruta. Así, el número de pasajeros reflejado es sólo para la ruta especificada, que al final del día debe tomarse como el flujo de pasajeros en la ruta contraria. Por lo tanto, es necesario dar con dos λ , una para las rutas entre las 6.30 y las 10.30 (λ_{am}), y otra para las rutas entre las 17.00 y las 21.00 (λ_{pm}). Sin embargo, las rutas de ida y vuelta entre dos helipuertos van a ser iguales, una por la mañana y otra por la tarde, de forma que hay el mismo flujo de pasajeros entre Alcobendas y Moncloa por la mañana, que entre Moncloa y Alcobendas por la tarde. De esta forma, sólo es necesario modelar cuatro horas (se ha escogido modelar los flujos de 6.30 a 10.30) para garantizar los recursos necesarios.

Adicionalmente, para calcular el tiempo de recorrido, se ha estipulado que el tiempo entre el aterrizaje, carga de pasajeros y despegue de un aerotaxi que no necesite recargar sus baterías (con una autonomía de 300km de vuelo), es de 3 minutos en total⁶² (30 segundos para despegar o aterrizar y dos minutos para cargar a los pasajeros). Este cálculo debe ser mayorado para tener en cuenta el tiempo de carga de la batería.

- Carga de la batería: según Uber Elevate, no se ha encontrado todavía la solución óptima para la carga de la batería. Existen dos opciones principales, desarrolladas por Tesla⁶³:

⁶¹ W.L. Winston, "Operations research: applications and algorithms", 2004.

⁶² Uber Elevate, "Fast-Forwarding to a Future of On-Demand Urban Air Transportation", 2016.

⁶³ Uber Elevate, "Fast-Forwarding to a Future of On-Demand Urban Air Transportation", 2016

- **Carga rápida de la batería:** utilizar cargadores ultra rápidos, que pueden conseguir cargar la batería hasta un 80% en 30 minutos. Esta opción tiene la desventaja de que utilizar este tipo de cargadores disminuye la eficacia a largo plazo de las baterías.
- **Cambio de la batería *in situ*:** Tesla ha desarrollado un sistema robótico de cambio de baterías, que puede realizar el cambio completo de una batería con nivel bajo de carga por otra al 100% en sólo 90 segundos. Sin embargo, el sistema robótico es bastante complejo y aumenta los costes operativos.

Debido al elevado número de helicópteros necesarios en este sistema y las cargas o cambios de batería que deben realizarse en diariamente, se ha optado por escoger la segunda opción de cambio de baterías para mayorar el tiempo de recorrido.

Trayecto	Distancia vuelo (km)	Duración vuelo (min)	Flujo pasajeros 4h	λ (p/h)	$1/\lambda$ (min)	t recorrido μ (min)
FASE I						
Alcobendas - Atocha	14,80	4,44	257	64	0,93	7,44
Atocha - Alcobendas	14,80	4,44	270	67	0,89	7,44
Alcobendas - Moncloa	12,79	3,84	182	46	1,32	6,84
Moncloa - Alcobendas	12,79	3,84	210	52	1,15	6,84
Las Rozas - N Ministerios	16,55	4,97	149	37	1,61	7,97
N Ministerios - Las Rozas	16,55	4,97	111	28	2,16	7,97
Las Rozas - Moncloa	14,62	4,39	93	23	2,58	7,39
Moncloa - Las Rozas	14,62	4,39	87	22	2,75	7,39
Las Rozas - Atocha	19,71	5,91	131	33	1,83	8,91
Atocha - Las Rozas	19,71	5,91	112	28	2,14	8,91
Boadilla - Nuevos Ministerios	16,00	4,80	70	17	3,44	7,80
Nuevos Ministerios - Boadilla	16,00	4,80	38	9	6,38	7,80
Boadilla del Monte - Moncloa	13,41	4,02	44	11	5,50	7,02
Moncloa - Boadilla del Monte	13,41	4,02	30	7	8,12	7,02
Boadilla del Monte - Atocha	15,86	4,76	62	15	3,90	7,76
Atocha - Boadilla del Monte	15,86	4,76	38	10	6,30	7,76

Tabla 31: Flujos de pasajeros y parámetros para la simulación.

Fuente: Elaboración propia.

Debido a la complejidad de realizar estos cálculos a mano, se ha utilizado un programa de simulación de eventos discretos, Arena, en el que se puede modelar el sistema de los diferentes trayectos y los diferentes helipuertos, con las hipótesis establecidas previamente. Además, para calcular con el programa los tiempos de espera de los pasajeros para cada uno de los trayectos, se ha estimado que el helicóptero debe despegar con una ocupación máxima de 4 pasajeros en

los trayectos de ida y vuelta desde Alcobendas y Las Rozas, y de 3 pasajeros en Boadilla del Monte. El número de recursos se ha ido optimizando en base a las colas que se generaban de espera en cada estación, con una cola máxima de 5 minutos. Por último, según el diseño previsto por Uber Air⁶⁴, se han supuesto dos pistas en cada helipuerto, una de despegue y otra de aterrizaje.

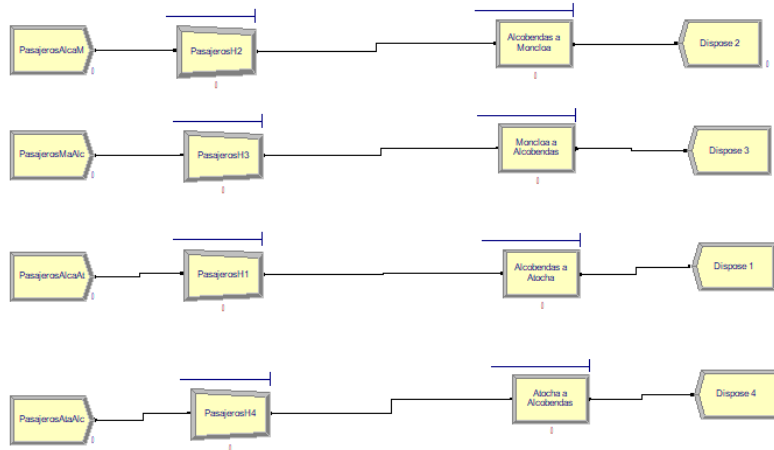


Figura 29: Modelo de los trayectos de la estación de Alcobendas.

Fuente: Arena/Elaboración propia.

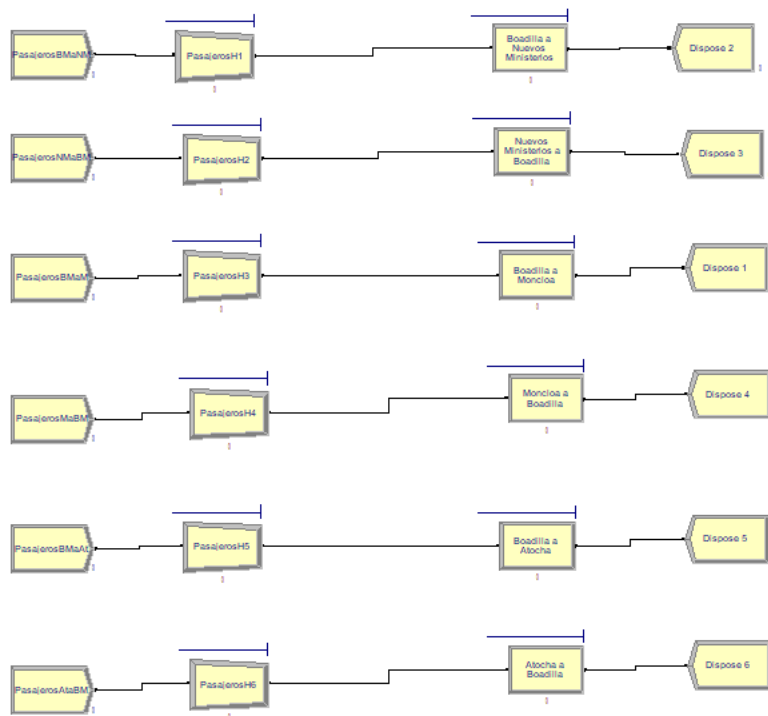


Figura 30: Modelo de los trayectos de la estación de Boadilla del Monte.

Fuente: Arena/Elaboración propia.

⁶⁴ Uber Elevate, "Fast-Forwarding to a Future of On-Demand Urban Air Transportation", 2016.

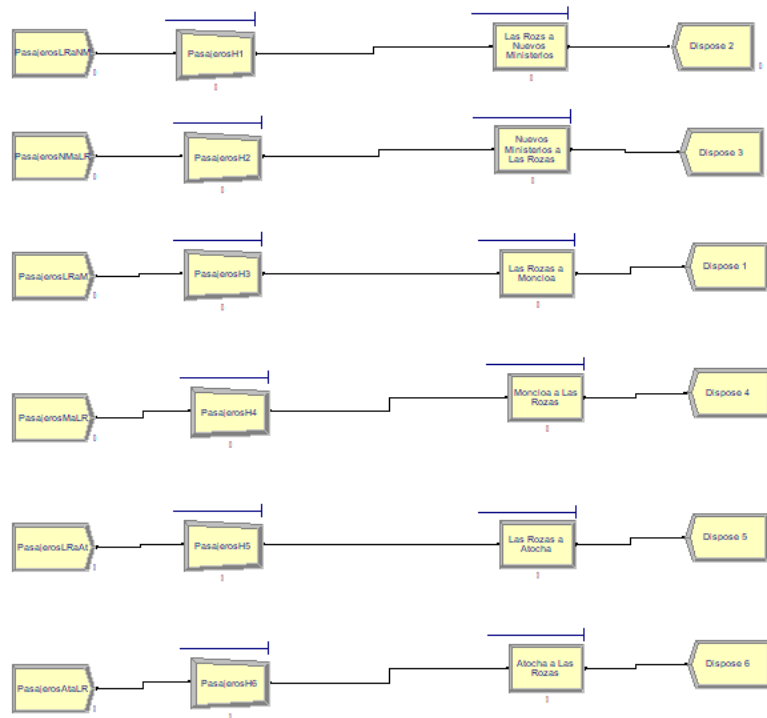


Figura 31: Modelo de los trayectos de la estación de Las Rozas.

Fuente: Arena/Elaboración propia.

3.2.2. Resultados simulación Arena

Los resultados de la simulación de Arena para los recursos necesarios teniendo en cuenta las colas generadas, se muestran a continuación:

Helipuerto	Nº Hel. Neces.
Alcobendas - Moncloa	4
Alcobendas - Atocha	5
Las Rozas - Nuevos Ministerios	3
Las Rozas - Moncloa	2
Las Rozas - Atocha	3
Boadilla del Monte - Nuevos Ministerios	2
Boadilla del Monte - Moncloa	2
Boadilla del Monte - Atocha	2
Total	23

Tabla 32: Recursos necesarios para cubrir los trayectos.

Fuente: Elaboración propia.

En conclusión, se puede observar que son necesarios un total de 23 helicópteros durante ocho horas al día para garantizar los transportes en horas punta de trabajadores. Estos cálculos han

sido mayorados en el modelo para tener en cuenta diferentes aspectos que afectan tanto al número de helicópteros como al tiempo de recorrido:

- Flujos de pasajeros puntuales: se han mayorado un 15% el número de helicópteros para tener en cuenta posibles flujos adicionales de pasajeros.
- Aerotaxis de reserva: es necesario contar con aerotaxis de reserva, al menos uno, para poder suplir la demanda en caso de que existan incidencias con alguno de los aerotaxis durante la jornada.

Finalmente, según los resultados, se requieren 28 helicópteros para realizar los trayectos modelados.

3.3. Recursos: pilotos

Según la Circular Operativa nº16-B, la normativa exige un máximo de 12 horas continuadas de vuelo para un piloto de helicóptero (no existe todavía limitación de vuelo de un VTOL, por lo que se ha considerado que, a efectos de licencia y funcionamiento del Lillium Jet, con un solo piloto, la similitud sería la de un piloto de helicóptero comercial). Además, el periodo de descanso después de la actividad aérea debe ser el máximo entre 10,5 horas o el tiempo de vuelo (si este fuera mayor)⁶⁵. Esta normativa está corroborada a 2018, y es vigente sólo a nivel nacional, puesto que la normativa de la Comisión Europea excluye a los helicópteros⁶⁶, teniendo que referirse a diferentes regulaciones nacionales.

De esta forma, se puede asumir la hipótesis de que el mismo piloto puede realizar las 8 horas de tráfico máximo al día, además de vuelos puntuales que puedan surgir, sin exceder las 12 horas reguladas y disponiendo de 14,5 horas de descanso. Además, habría que considerar pilotos adicionales por seguridad en caso de fallo de alguno (enfermedad, baja, etc.).

En conclusión, como recursos de pilotos necesarios se tiene un piloto por cada aerotaxi requerido, es decir, 28 pilotos, más un 50% adicionales⁶⁷, llegando a un total de **42 pilotos**.

⁶⁵ Dirección General de Aviación Civil, "Circular Operativa nº16-B: Limitaciones de tiempos de vuelo, máximos de actividad aérea y periodos mínimos de descanso para las tripulaciones", 1995.

⁶⁶ Comisión Europea, "Reglamento de Ejecución (UE) 2019/27 de la Comisión", 2018.

⁶⁷ Uber Elevate, "Fast-Forwarding to a Future of On-Demand Urban Air Transportation", 2016.

4. ¿Aceptar o rechazar el proyecto? Estudio económico

Una vez que se han estimado el número de recursos necesarios para ofertar el servicio de aerotaxi eléctrico (Fase I) en Madrid en el apartado anterior, es necesario estudiar si, en función de los ingresos estimados por los flujos de pasajeros y los costes fijos y variables relacionados con los recursos, mantenimiento, construcción de los helipuertos, depreciaciones, etc. Esto se va a realizar mediante un análisis económico de los estados financieros proyectados de la *start-up* a cinco años.

Este análisis está enfocado en realizar una valoración actual de la empresa, proyectando los ingresos a cinco años, y con la hipótesis de que, al cabo de esos cinco años, pudiera ser comprada por un *venture capital* o un *private equity*.

4.1. Costes de inversión y operativos

Los costes relacionados con el servicio del aerotaxi son difíciles de estimar, debido a que la tecnología que se utiliza en Lilium es muy innovadora, es un producto y un servicio nuevo que no tiene ningún competidor todavía en el mercado del que se puedan extraer determinadas conclusiones. Por tanto, se ha procedido a utilizar el informe de Uber Elevate como referencia para determinar los costes asociados a un servicio de aerotaxi eléctrico⁶⁸.

VTOL Assumptions	PILOTING COSTS	VEHICLE PRICE (4-person, without battery)	BATTERY COST (140kWh, 2000 cycles)
INITIAL Existing helicopter production (100 vehicles/yr)	\$75K/yr Professional helicopter pilot @ \$50k/year with 1.5 pilots per vehicle	\$1.2M Lamborghini-like produc- tion rate (100/year)	\$56K @ \$400/kWh Current high-performance battery costs
NEAR-TERM Best current manufacturing near-term case	\$75K/yr Professional helicopter pilot @ \$50k/year with 1.5 pilots per vehicle	\$600K Best recent helicopter production rate (500/year)	\$28K @ \$200/kWh DOE near-term high-perfor- mance battery costs
LONG-TERM Aggressive, long-term case	\$60K/vehicle Autonomous avionics kit to replace pilot	\$200K Specialty car-like produc- tion rate (5000/year with production tooling)	\$14K @ \$100/kWh DOE longer-term high-per- formance battery costs

Figura 32: Estimaciones de costes para Uber Air.

Fuente: Uber Elevate.

⁶⁸ Uber Elevate, “Fast-Forwarding to a Future of On-Demand Urban Air Transportation”, 2016.

4.1.1. Inversiones (CAPEX)

En cuanto a inversiones en activos, se han tenido en cuenta los siguientes:

- Inversión inicial: el precio por helicóptero fabricado estimado es de €1.2m en el corto plazo, €600k en el medio plazo y €200k en el largo plazo.
- Infraestructuras: construcción de los helipuertos (*pads*), que se han tenido en cuenta como un coste por vehículo y kilómetro, siendo éste un 20% del coste total por aeronave y kilómetro.

4.1.2. Costes operativos (OPEX)

- Costes de pilotaje: se ha tenido en cuenta un coste de pilotaje de €44.650 por piloto al año, y un total de 1.5 pilotos por helicóptero.
- Costes de mantenimiento: un 22% de los costes operativos directos.
- Costes administrativos: un 12% adicional sobre los costes operativos directos.

Se detalla a continuación un desglose de los costes variables por vehículo y milla, para los costes del largo plazo. Estos costes, en el corto plazo, son los que se han utilizado en el modelo económico:

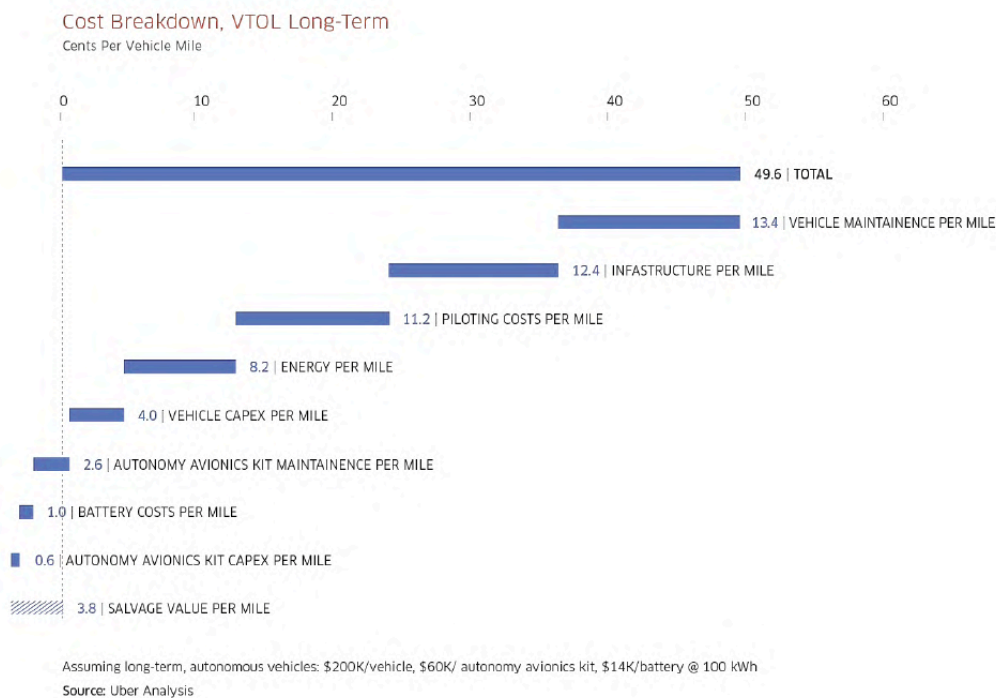


Figura 33: Desglose de los costes variables de Uber Air.

Fuente: Uber Elevate.

4.2. Ingresos por trayectos realizados

Los precios por pasajero y kilómetro, según Liliium, varían significativamente entre el corto y medio plazo. Esto se debe a que, en un corto plazo, el nivel de inversión requerido, así como la tecnología disponible, encarecen enormemente los costes del servicio, que deben ser repercutidos en el precio que pague el cliente para ser rentable. Sin embargo, dado que se pretende que en el largo plazo la tecnología disponible sea más barata, que el aerotaxi sea autónomo y por tanto no se requieran costes de piloto, o que se puedan rentabilizar economías de escala cuando el proyecto tenga una posición en el mercado más predominante, el precio por pasajero disminuye significativamente, con lo que se espera una mayor demanda del servicio en el mercado.

4.2.1. Número de pasajeros y trayectos al año

Los ingresos se han determinado en función de una utilización del servicio regular por parte de los pasajeros establecidos en la Tabla 30: Trayectos, duración y flujos de pasajeros para la Fase I. Tabla 30. Esto supone que ese 2% del total de los trabajadores de los municipios elegidos utilicen el servicio la gran mayoría de los días laborales. Además, se debe mayorar este número para tener en cuenta los servicios adicionales y puntuales de otros clientes que se han mencionado en apartados anteriores.

4.2.1.1. Días laborales utilizados en el modelo

La hipótesis de días de utilización de los pasajeros se basa en una jornada laboral de ocho horas al día, 5 días a la semana, con 22 días laborables al año de vacaciones⁶⁹, además de los festivos⁷⁰, en los que no se va a utilizar el servicio. Esto lleva a que haya un total de días laborables de 227 días. Sin embargo, es posible que haya un porcentaje de estos días que, por comodidad, por motivos personales, o por tener que desplazarse a otros lugares por trabajo, no se utilice el servicio. Por tanto, se ha asumido que un 70% de esos días se va a realizar un trayecto en aerotaxi, lo que supondría **159 días** de utilización al año por pasajero.

⁶⁹ EFE, “Los 22 días de vacaciones en España, por debajo de los franceses o alemanes”, 2016.

⁷⁰ El Confidencial, “Calendario laboral 2019 de Madrid”, 2019.

4.2.1.2. Ingresos por pasajero y kilómetro

En 2018, Liliium anticipaba un precio inicial por helicóptero total, en un recorrido de 19 kilómetros y 5 minutos entre Manhattan y el aeropuerto JFK de Nueva York de \$36 dólares. Sin embargo, pretendían, como se ha explicado anteriormente, que este precio bajara en un medio plazo a \$13, y finalmente en un largo plazo a \$6 por trayecto⁷¹. Teniendo en cuenta estos datos, además de la capacidad inicial de 4 pasajeros, y a largo plazo de 5, lo que distribuiría el coste, resultaría difícil imaginar alguien que no quisiera tomar este servicio de transporte.

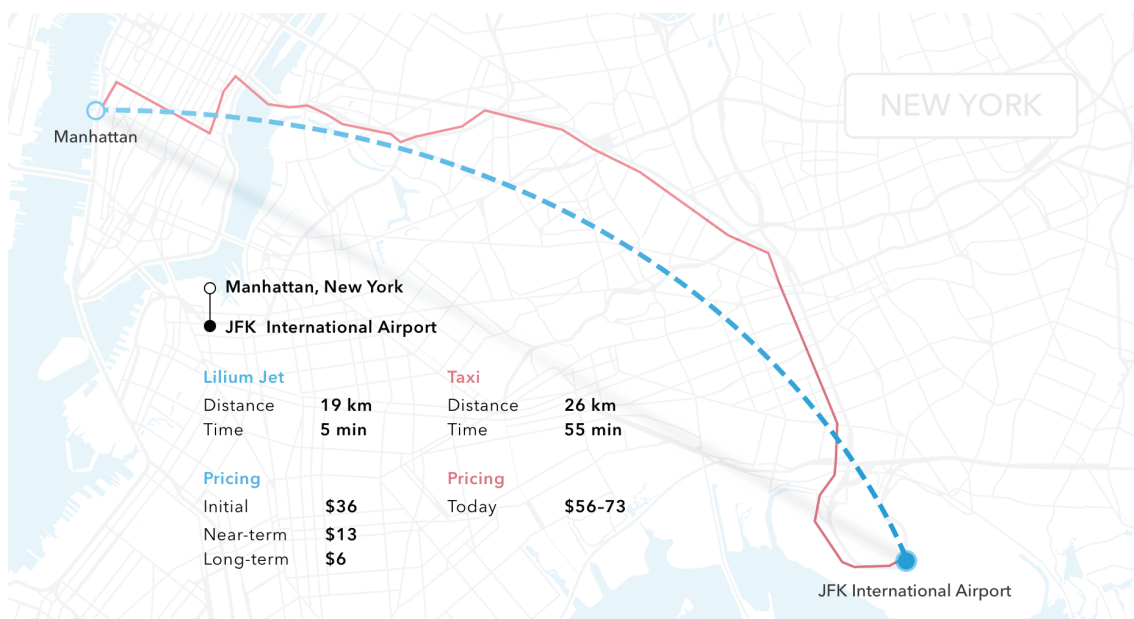


Figura 34: Trayecto modelo con detalle de precio entre Manhattan y JFK.

Fuente: EDX.

Sin embargo, estos precios, teniendo en cuenta la gran inversión requerida y los costes fijos y variables establecidos, resultaban utópicos, especialmente hoy en día. Tanto es así, que actualmente esta imagen no se encuentra dentro de los archivos disponibles de Liliium ni en su página web, aunque sí el lema “Creemos en crear un transporte urbano aéreo asequible y accesible. Queremos ser claros: viajar con Liliium no es sólo para la minoría adinerada. Todos merecemos una mejor forma de llegar desde A hasta B”⁷². De esta forma se constata que la empresa está especialmente concienciada en bajar los precios a los que pueda ofertar su servicio. En la última comparecencia de Liliium, se ha hablado de un posible precio orientativo de \$70 para un trayecto de 19 km entre Manhattan y JFK⁷³, un aumento de más de 100% con

⁷¹ Liliium, “Our mission”, 2018.

⁷² Liliium, “Our beliefs”, 2019.

⁷³ R. Iyengar, “Esta empresa planea un servicio de taxi volador que cuesta casi lo mismo que los taxis normales”, 2019.

respecto a los precios estipulados inicialmente en la Figura 34. Para dar un precio realista con el que se pudiera lanzar el servicio en España, se ha optado por consultar además el informe que lanzó Uber Elevate acerca de Uber Air en 2016. En él, se estiman los precios a los que se podría lanzar el servicio en los tres plazos de tiempo (corto, medio y largo plazo), además de los costes por trayecto de helicóptero y kilómetro. Este informe propone los VTOL como una alternativa a los vehículos propios y a los VTC, desglosando los costes de cada uno para el pasajero, en un intento de establecer la rentabilidad de los VTOL, por lo menos en el largo plazo, frente a estos dos tipos de transporte⁷⁴. De esta manera, en el estudio realizado de los trabajadores, aunque inicialmente los costes fueran mayores debido al trayecto, supondrían una mejora económica respecto a tener un coche propio, pagar seguros, gasolina, mantenimiento, etc.

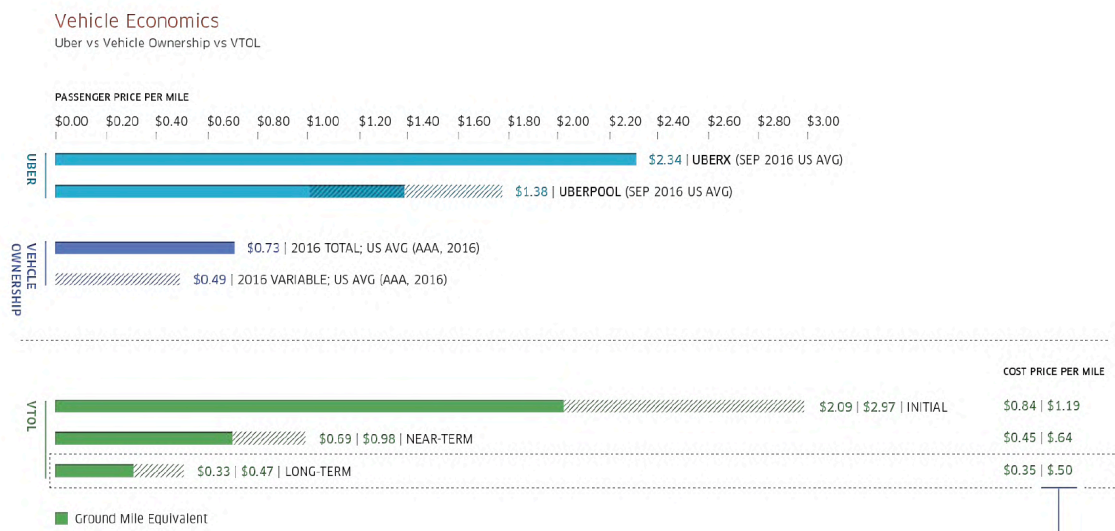


Figura 35: Costes y precios estimados de los servicios de UberX, vehículo propio y VTOL.

Fuente: Uber Elevate.

Se puede comprobar en la Figura 35 que inicialmente los precios por milla de trayecto (equivalencia de 1.61 km) son muy superiores a los del vehículo propio, si bien mucho más bajos que los de UberX (se desestima Uber Pool por no existir en España). Para poder comparar estos precios con los establecidos inicialmente por Lilium se ha realizado una conversión y comparación de ambos precios (se ha tomado el ratio de conversión dólar/euro 0,89 a día 16/06/2019⁷⁵):

⁷⁴ Uber Elevate, "Fast-Forwarding to a Future of On-Demand Urban Air Transportation", 2016.

⁷⁵ Bloomberg, "USD-EUR X RATE", 16/06/2019.

Plazo	Lilium			Uber Air			Modelo Económico		
	Coste (€/p*km)	Precio (€/p*km)	Margen %	Coste (€/p*km)	Precio (€/p*km)	Margen %	Coste (€/p*km)	Precio (€/p*km)	Margen %
Inicial	0,23	0,94	317,42%	0,23	0,56	149,26%	0,23	0,75	233,34%
Medio	0,12	0,34	180,73%	0,12	0,19	53,21%	0,12	0,26	116,97%
Largo	0,07	0,16	132,61%	0,07	0,06	-5,88%	0,07	0,11	63,36%

Tabla 33: Costes y precios por pasajero y kilómetro.

Fuente: Elaboración propia.

En esta tabla se ha utilizado el precio de \$70 por 19 km inicial para Lilium, y se ha disminuido el precio para el medio y largo plazo con el ratio que se había utilizado inicialmente de disminución de precios en la Figura 34. Los precios que se han utilizado en el modelo económico son el resultado del promedio entre los calculados para Lilium y los calculados para Uber Air, mientras que los costes son los que se han detallado en el apartado anterior. La tasa de ocupación máxima en Lilium es de 4 pasajeros (5 sitios, contando con piloto en el corto y medio plazo), mientras que la de Uber Air es de 3 pasajeros. Sin embargo, no es realista tener en cuenta que siempre la ocupación será máxima, dando lugar a aerotaxis que no estén llenos. En el modelo económico, se ha tenido en cuenta una ocupación media de Lilium de 3,5 pasajeros, y de Uber Air de 2,5 pasajeros.

4.2.2. Comparativa con un vehículo propio

A modo de comprobar la rentabilidad económica para un pasajero teniendo en cuenta los precios establecidos en el apartado anterior, se ha estimado el gasto de un vehículo propio, de acuerdo con la hipótesis de que, si este servicio se utilizara de forma habitual, no haría falta depender de un vehículo propio para los desplazamientos laborales, y si fuera necesario, se podría recurrir al servicio de aerotaxi u otros medios de transporte para desplazamientos puntuales. Sin embargo, se debe tener en cuenta que esta hipótesis sería más sólida en fases posteriores del proyecto, cuando existieran más helipuertos y trayectos que realizar.

Los gastos por coche que se han tenido en cuenta se enumeran a continuación:

- **Depreciación del coche:** un coche en Madrid tiene una vida media de 13 años⁷⁶. Sin embargo, dado el uso diario de estos vehículos, se ha supuesto que su vida media es de

⁷⁶ DGT, "Parque nacional de vehículos", 2018.

10 años. El precio medio de un coche en la actualidad es de €18.207⁷⁷, por lo que supone un gasto anual de **€1.821** de depreciación.

- **Seguro del coche:** teniendo en cuenta el perfil del pasajero que se ha considerado, económicamente pudiente y con una utilización del coche muy elevada debido a los trayectos diarios que debe hacer, se supone que el seguro con el que están cubiertos los vehículo es todo riesgo sin franquicia, cuya cuota media anual es de **€900**⁷⁸.
- **Carburante:** el gasto medio en la Comunidad de Madrid de carburante es de **€1.030**⁷⁹.
- **Mantenimiento:** el mantenimiento aproximado anual de un coche es de **€300**⁸⁰.

Se muestra a continuación la comparación de ambos tipos de transporte, utilizando un precio promedio de los trayectos analizados en apartados anteriores para calcular el gasto referente a la utilización del servicio de aerotaxi:

Gasto Coche	€/año	Gasto Liliium	€/año
Depreciación del coche	1.821,00	Trayectos	3.689,91
Seguro	900,00		
Combustible	1.030,00		
Mantenimiento	300,00		
Total	4.051,00	Total	3.689,91

Tabla 34: Comparación de los gastos de un coche frente a la utilización de Liliium Jet.

Fuente: Elaboración propia.

Se puede comprobar que, teniendo en cuenta el precio de Liliium Jet, el gasto comparado con el de un vehículo propio es aproximadamente €360 inferior. No obstante, hay que tener en cuenta que este modelo no tiene en cuenta el total de los días anuales, por lo que cabe notar que en esa diferencia de precio, utilizando Liliium Jet, haría falta también gastos adicionales como, por ejemplo, el alquiler de un coche para realizar trayectos largos, o un abono transporte para moverse entre otros puntos de la ciudad. Estos gastos adicionales podrían suponer la igualación de los gastos totales de transporte entre poseer o no un coche, pero las ventajas para los clientes son numerosas en cuanto se estudia el transporte en aerotaxi, entre otras:

- El tiempo de trayecto pasa de ser de aproximadamente una hora a 7 u 8 minutos.

⁷⁷ Agencia Tributaria, “Matriculación de vehículos por Comunidad Autónoma y valor del vehículo”, 2018.

⁷⁸ Rastreator, “Índice de precios del Seguro del Automóvil”, 2017.

⁷⁹ Habits Big Data - AIS Group, “Los españoles gastan 1.200€ al año en carburante”, 2016.

⁸⁰ Xataka, “Guía para saber si te sale rentable o no tener coche”, 2019.

- No es necesario tener plaza de aparcamiento cerca del trabajo.
- La comodidad de no tener que estar al volante continuamente.

En conclusión, si se cambia un vehículo propio por la utilización del servicio de Liliun Jet, el cliente gana en comodidad, rapidez y ahorro.

4.3. Rentabilidad económica

Como se ha podido comprobar en apartados anteriores, es importante entender cómo genera ingresos Liliium y cuántos costes fijos y variables tiene para poder determinar si esta *start-up* es rentable en Madrid (dado que su fecha inicial de salida al mercado es 2025, las conclusiones de rentabilidad económica proporcionadas en este apartado se refieren a una valoración en el año 2019, que sólo cuenta con flujos de caja negativos referentes a las inversiones de CAPEX realizadas en los años anteriores a la generación de ingresos de la empresa). Para ello, se ha realizado una valoración del proyecto en Madrid a lo largo de 15 años, 6 años de aquí al año de implantación de Liliium, 2025, y 10 años de proyecciones de flujos de caja (horizonte temporal máximo para un *private equity* o un *venture capital*⁸¹).

4.3.1. Hipótesis consideradas

El modelo económico que se ha utilizado tiene en cuenta los diferentes componentes del flujo de caja de Liliium en Madrid, proyectado entre 2019 y 2034. Para ello, ha sido necesario asumir una serie de hipótesis, además de las expuestas previamente relacionadas como ingresos y costes, al ser un horizonte temporal muy amplio. Estas hipótesis se han realizado, en su mayor parte, siguiendo las conclusiones extraídas por Uber Air para un servicio competidor de Liliium. Sin embargo, cabe constatar que el modelo de aerotaxi que Uber Elevate está construyendo es diferente al propuesto por Liliium, en cuanto a ingeniería y diseño, así como las prestaciones. Por tanto, sería necesario realizar un estudio posterior, cuando el proyecto esté más avanzado en el tiempo y se tengan datos más tangibles sobre costes y estrategias de la empresa.

4.3.1.1. Incremento de ventas

El servicio ofrecido por Liliium, como se ha estudiado a lo largo del proyecto, en la actualidad está más enfocado a un público con mejores condiciones económicas y que prioriza la comodidad. Sin embargo, según Uber Elevate, los tres grandes horizontes temporales (corto, medio y largo plazo) son cruciales en la industria, pues, al utilizar las economías de escala al producir más helicópteros, el coste de fabricación se reduce exponencialmente (un 15% cada vez que se dobla el número de naves producidas)⁸². Esto implica que, en un medio plazo, que en

⁸¹ IEB, “¿Qué es un fondo de capital riesgo?”, 2018.

⁸² Uber Elevate, “Fast-Forwarding to a Future of On-Demand Urban Air Transportation”, 2016.

este caso se supone de 2 a 5 años, el coste del helicóptero podría disminuir considerablemente, y por tanto también el precio que tendrían que pagar los pasajeros, abriendo el mercado a un público objetivo mucho más extenso.

Por tanto, se ha estipulado que durante los primeros dos años el ritmo de crecimiento de ventas será mayor, entre un 10% y un 20%, puesto que se espera que para 2027 comience la Fase II. De esta forma, a partir del tercer año se ha modelado un aumento también significativo. El último año del modelo se han supuesto con un aumento del 3% de ventas, muy conservador teniendo en cuenta que se trata de una *start-up*, para no sobre dimensionar estas ventas futuras.

4.3.1.2. Inversiones (CAPEX) y depreciación

Como se ha explicado, los mayores costes de la empresa en inversión son los costes de producción de los helicópteros y de los *pads*. Estas inversiones se deben tener en cuenta inicialmente para la Fase I analizada del proyecto, pero a lo largo del modelo se debe invertir más en ampliar la flota de helicópteros y el número de *pads*, para poder ofertar el incremento de demanda que se ha proyectado. Según el informe de Uber Elevate, el coste de la infraestructura (*pads*) está incluido dentro de los propios costes operativos del VTOL, y engloba un 20% del coste total de operación por cada vehículo. Es por ello por lo que se han establecido inversiones en CAPEX entre 2019 y 2030, teniendo en cuenta los incrementos de ventas que se estiman en años posteriores.

Estas inversiones en aeronaves se tienen que depreciar (aerotaxis) durante el tiempo, por lo que se ha elegido una depreciación de 13 años, al ser ésta la vida media útil de un helicóptero en uso diario⁸³.

4.3.1.3. Descuento de Flujo de Caja (DFC)

La valoración de una empresa, o en este caso de un proyecto, tiene varios métodos que se pueden utilizar, en función de comparables, de transacciones precedentes, o de descontar los flujos de caja futuros⁸⁴. En este estudio económico se ha optado por realizar una valoración económica del proyecto por el método de descuento de flujos de caja.

⁸³ Uber Elevate, "Fast-Forwarding to a Future of On-Demand Urban Air Transportation", 2016.

⁸⁴ F. Uríbarri, "Valoración de *start-ups* por medio de los métodos convencionales de valoración y el método de múltiples ingresos", 2018.

Para descontar los flujos de caja proyectados al año 2024 (año en el que se realiza la valoración del proyecto), es necesario determinar la tasa de descuento, WACC (*weighted average cost of capital*), y para ello también es necesario saber el porcentaje de deuda/*equity* con el que cuenta la empresa.

- **Deuda/*equity*** - el ratio de deuda sobre *equity* con el que se financia la empresa determina qué porcentaje del pasivo del balance es parte de la deuda a corto y largo plazo, y qué parte de esta financiación es *equity* o patrimonio de la empresa, normalmente en forma de acciones.

La financiación con deuda es siempre más rentable que la ampliación de capital, puesto que los intereses pagados tienen un ahorro fiscal por pagarse antes que los impuestos, además de que los retornos exigidos por los inversores son menores al tener prioridad de pago en caso de quiebra⁸⁵.

Sin embargo, en el caso de las *start-ups*, el mayor porcentaje de financiación es de capital, puesto que los inversores iniciales quieren una participación de las acciones de la empresa para beneficiarse del crecimiento exponencial que surge si la *start-up* tiene éxito, así como de poder tener un poder de decisión sobre la dirección estratégica de la empresa. Por ello, se ha estipulado que Liliium Jet tenga un 90% de *equity* y sólo un 10% de deuda.

- **WACC** - la fórmula del WACC es la siguiente:

$$WACC = \frac{D}{E + D} * (1 - t) * Kd + \frac{E}{E + D} * Ke$$

Donde Kd es el coste de la deuda y Ke es el coste del *equity*.

Ke: Este coste se contempla en este estudio mediante el *Capital Asset Pricing Model* (CAPM), que se detalla a continuación.

$$Ke = Rf + \beta * (Rm - Rf)$$

Donde:

Rf = rentabilidad del bono español a 10 años; 0,41%⁸⁶.

β = coeficiente de volatilidad de la empresa, calculada según la media de la industria⁸⁷, mayorada con los coeficientes determinantes de una *start-up*⁸⁸ y apalancada según la composición de la deuda de Liliium; 1,65.

⁸⁵ Vault, "Vault Career Guide to Investment Banking", 2007.

⁸⁶ Expansión, "Bono español a 10 años", 2019.

⁸⁷ NYU Stern, "Betas by Sector (US)", 2019.

⁸⁸ G. Festel, M. Wuermseher, G. Cattaneo, "Valuation of Early-Stage, High-Tech Start-up Companies", 2013.

$R_m - R_f$ = prima del mercado español; 8,18%⁸⁹.

$$K_e = 0,41 + 2,15 * (8,18) = 13,91\%$$

Kd: se ha asumido un coste de deuda medio en la industria de la aviación y el transporte aéreo de 3%⁹⁰.

El impuesto de sociedades en España es de un 25%⁹¹. También, para calcular el valor final, se ha supuesto un crecimiento perpetuo del 3%.

Finalmente, el valor del WACC es de:

$$WACC = 0,1 * (1 - 0,25) * K_d + 0,9 * K_e = 12,7\%$$

Teniendo en cuenta esta tasa de descuento de los flujos de caja, el valor actual neto (VAN) del proyecto es de **€12.471.180**.

K€	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2029	2030	2031	2032	2033	2034
NOPAT	(281)	(281)	(281)	(281)	(506)	(1.310)	2.014	2.405	2.926	3.688	4.311	4.912	5.488	6.114	6.636	7.023
Dep	375	375	375	375	675	1.747	1.747	1.747	2.138	2.138	2.138	2.263	2.263	2.263	2.263	2.263
FCO	94	94	94	94	169	437	3.760	4.151	5.063	5.826	6.448	7.175	7.751	8.377	8.898	9.286
CAPEX	(6.000)				(4.800)	(17.147)			(6.255)			(2.000)				
ΔNWC	(4)	0	0	0	(3)	(10)	236	29	55	55	45	49	42	46	38	29
FCF	(5.910)	94	94	94	(4.634)	(16.721)	3.997	4.180	(1.137)	5.881	6.494	5.224	7.793	8.422	8.937	9.315
TV																98.489
FCF	(5.910)	94	94	94	(4.634)	(16.721)	3.997	4.180	(1.137)	5.881	6.494	5.224	7.793	8.422	8.937	107.804

VAN 12.471,18

Tabla 35: DFC y valoración del proyecto de Lilium en Madrid.

Fuente: Elaboración propia.

Se ha realizado un estudio de sensibilidad teniendo en cuenta diferentes valores del crecimiento perpetuo, g , desde 2% a 5%, y del valor del WACC, entre 11% y 13,5%, que se muestra a continuación:

⁸⁹ NYU Stern, "Company Default Spreads and Risk Premiums", 2019.

⁹⁰ IATA, "Profitability and the air transport value chain", 2013.

⁹¹ Jefatura del Estado, "Impuesto sobre Sociedades", 2014.

12.471,2	11,00%	11,50%	12,00%	12,50%	13,00%	13,50%
2,00%	19.572,2	16.688,1	14.171,2	11.965,3	10.024,4	8.310,9
2,50%	20.844,6	17.752,4	15.066,9	12.723,3	10.669,1	8.861,9
3,00%	22.276,1	18.941,8	16.062,1	13.561,0	11.378,4	9.465,3
3,50%	23.898,4	20.280,0	17.174,3	14.491,9	12.162,2	10.129,1
4,00%	25.752,5	21.796,6	18.425,6	15.532,3	13.033,2	10.862,7
4,50%	27.891,9	23.529,8	19.843,8	16.702,7	14.006,6	11.677,8
5,00%	30.387,8	25.529,7	21.464,5	18.029,2	15.101,7	12.588,9

Tabla 36: Análisis de sensibilidad del crecimiento perpetuo y del WACC, en k€.

Fuente. Elaboración propia.

Como se puede observar en la Tabla 36, el valor máximo del valor neto actual (VAN) del proyecto se conseguiría con un WACC de 11,5% y un crecimiento perpetuo de 3,5%.

En conclusión, teniendo en cuenta el modelo económico considerado, el proyecto de Liliun Jet en Madrid es viable económicamente, con un valor neto actual que oscila entre €8.310.900 y €20.280.000 según el análisis de viabilidad. Además, cabe notar que, como se ha expuesto anteriormente, el coste de inversión desciende con el tiempo al tener acceso a tecnologías más baratas y economías de escala, por lo que en años posteriores a los que se han tenido en cuenta en el modelo, el beneficio neto sería todavía mayor, dando lugar a una rentabilidad más alta que la mencionada en este proyecto.

5. Proyecto *Lilium* en Madrid: conclusiones extraídas

Durante la realización de este proyecto se han estudiado diferentes dimensiones técnicas, logísticas y económicas referentes a la implantación del servicio de aerotaxi eléctrico de la *start-up* Lilium GmbH en la Comunidad de Madrid. La motivación del proyecto era determinar distintos objetivos, que se exponen brevemente a continuación:

1. Determinar la problemática existente en la Comunidad de Madrid en la actualidad que requiriera una solución como este servicio eléctrico, teniendo en cuenta el tráfico y el medio ambiente como problemas principales.
2. Establecer diferentes criterios de segmentación de la población, para poder identificar los núcleos residenciales y empresariales, así como aquellos con mayor y menor poder económico, con el fin de extraer conclusiones acerca de dónde instalar los diferentes helipuertos en las distintas fases (I y II) mencionadas.
3. Analizar los flujos de pasajeros existentes por motivos laborales, así como otros criterios puntuales, que dictaminaran cuáles eran las rutas óptimas de conexión entre los helipuertos asignados y los recursos necesarios para llevarlas a cabo.
4. Estudiar los costes e ingresos del proyecto, para plantear la viabilidad económica del proyecto según el método de valor actual neto (VAN), a través de la proyección de flujos de coste entre 2019 y 2034.

Teniendo en cuenta estos factores, se han extraído diferentes conclusiones en relación a este posible proyecto en un futuro, con vistas a su implantación en 2025.

En primer lugar, se ha determinado que existe un problema de tráfico en las horas de entrada y salida laboral (de 6.30 a 10.30 y de 17.00 a 21.00), especialmente en las carreteras más transitadas de entrada y salida a la Ciudad de Madrid. Esto genera unos recorridos de aproximadamente una hora para realizar apenas 15 o 20 kilómetros, y que provocan irritación, malestar y estrés en los trabajadores afectados. Además, se ha comprobado que en las normativas de la Comunidad de Madrid existe un plan para la sostenibilidad del medio ambiente, que pretende en un medio plazo eliminar los vehículos contaminantes e incrementar la utilización de vehículos eléctricos menos contaminantes. Por tanto, la solución que propone Lilium, a nivel de reducción del tiempo de recorrido y, como explica la propia empresa, “*zero operating emissions*” (cero emisiones operativas)⁹² generadas por la utilización de este aerotaxi.

⁹² Lilium, “Our beliefs”, 2019.

En segundo lugar, se ha corroborado que entre los 179 municipios de la Comunidad de Madrid existen municipios muy dispares, unos muy residenciales y otros más empresariales, en los que habitan trabajadores con la necesidad de desplazarse diariamente a otros lugares de la Comunidad. También se han establecido criterios de mayores y menores rentas según los datos proporcionados por el INE, que se han utilizado para crear un criterio económico, teniendo en cuenta la hipótesis de que este servicio es una comodidad no necesaria, y por tanto, más accesible para aquellas rentas más altas. En conclusión, se ha determinado que los núcleos idóneos (en la Fase I) para la implantación de la infraestructura de helipuertos necesaria para realizar los servicios del aerotaxi se encuentran en Alcobendas, Las Rozas, Boadilla del Monte, Atocha, Moncloa y Nuevos Ministerios.

En tercer lugar, y con la ayuda de un software de optimización de colas (Arena), se ha estudiado el número de aerotaxis y pilotos necesarios para realizar los trayectos entre los diferentes helipuertos, atendiendo a los flujos de trabajadores entre municipios y las diferentes formas de transporte (privado o público) existentes en la actualidad, dando lugar a un total de 28 helicópteros y 42 pilotos.

Finalmente, se han tenido en cuenta todos los datos recabados en los apartados anteriores para realizar un estudio económico que permitiera determinar si el proyecto era o no rentable en base a su valor actual neto. Para ello se han utilizado diferentes hipótesis para las proyecciones de acuerdo con los parámetros analizados por Uber Elevate en cuanto a su servicio similar. Teniendo en cuenta los resultados de un valor actual neto de €12.471.180, lo que supone que, según las hipótesis realizadas, este proyecto sí sería rentable en un horizonte temporal de 10 años a partir de su implantación.

En conclusión, el servicio propuesto de Liliium Jet es un servicio innovador, tanto a nivel tecnológico como de diseño, sostenibilidad medioambiental y confort, que pretende dar solución a los problemas existentes en la actualidad a través de un servicio seguro y atractivo para el público. La implantación de este servicio en la Comunidad de Madrid, en vista a los resultados de este proyecto, es viable en base a la demanda de clientes y también económicamente, y se prevé que cuando salga al mercado en 2025 tenga un éxito inimaginable entre los clientes más exigentes, que poco a poco irá expandiéndose en el tiempo hasta alcanzar a atraer a la mayor parte de la población.

6. Bibliografía

- A.M. MARTÍN (2018). *Todas las claves para entender la guerra del taxi contra Uber y Cabify*. Recuperado de: <https://www.elindependiente.com/economia/2018/07/30/guerra-taxi-uber-cabify/>
- AGENCIA TRIBUTARIA (2018). *Matriculación de vehículos por Comunidad Autónoma y valor del vehículo*.
- AIRBUS (2018). *Voom's helicopter commuting service launches in Mexico City*. Recuperado de: <https://www.airbus.com/newsroom/news/en/2018/03/voom-s-helicopter-commuting-service-launches-in-mexico-city.html>
- ANFAC (2018). *El mercado de vehículos en 2018*.
- AYUNTAMIENTO DE MADRID (2017). *Anexo gráfico del panel de indicadores 2017*.
- AYUNTAMIENTO DE MADRID (2018). *Protocolo de actuación para episodios de contaminación por dióxido de nitrógeno en la ciudad de Madrid*, p. 6-10.
- AYUNTAMIENTO DE MADRID (2019). *Movimientos mensuales de Viajeros de Cercanías por Estación*.
- AYUNTAMIENTO DE MADRID (2019). *Plan A: Plan de Calidad y Cambio Climático*, p. 107.
- AYUNTAMIENTO DE MADRID (2019). *Movimientos mensuales de Viajeros de Cercanías por Estación*.
- AYUNTAMIENTO DE MADRID (2019). *Tráfico mensual de viajeros de Media distancia convencional y Alta velocidad-Media distancia*.
- AYUNTAMIENTO DE MADRID (2018). *Superficie, Población y Densidad de los Distritos y Barrios de la Ciudad de Madrid*.
- AYUNTAMIENTO DE MADRID (2017). *Tráfico de Pasajeros, Operaciones y Carga en el Aeropuerto de Adolfo Suárez Madrid-Barajas*.
- BANCO DE DATOS (2017). *Atlas de movilidad residencia-trabajo*.
- BANCO DE DATOS (2018). *Características generales: Fuencarral-El Pardo*.
- BANCO DE DATOS (2018). *Evolución del precio de la vivienda de segunda mano por Distrito*.
- BANCO DE DATOS (2018). *Indicadores demográficos por Distrito*.
- BLOOMBERG (16 DE JUNIO, 2019). *USD-EUR X RATE*. Consulta online en: <https://www.bloomberg.com/quote/EURUSD:CUR>.
- CABIFY (2019). Consulta con la empresa.
- CENTRO-COMERCIAL.ORG (2018). *Directorio de centros comerciales por provincia*. Recuperado de: <https://www.centro-comercial.org/>
- COMISIÓN EUROPEA (2018). *Reglamento de Ejecución (UE) 2019/27 de la Comisión*.
- CONSORCIO REGIONAL DE TRANSPORTES DE MADRID (2019). *Abonos y tarifas*. Recuperado de: <https://www.crtm.es/billetes-y-tarifas/tarifas.aspx>
- DGT (2018). *Parque nacional de vehículos*.
- DGT (2019). Consultado online en: <http://infocar.dgt.es/etraffic/>
- DIRECCIÓN GENERAL DE AVIACIÓN CIVIL (1995). *Circular Operativa nº16-B: Limitaciones de tiempos de vuelo, máximos de actividad aérea y periodos mínimos de descanso para las tripulaciones*, p. 6.

- E. CORTÉS (2017). *Los ‘millennials’ los prefieren Cabify*. Recuperado de: <https://www.harpersbazaar.com/es/cultura/viajes-planes/a324961/millennials-prefieren-cabify/>
- E. RIES (2008). *The Lean Start-up*.
- EFE (2016). *Los 22 días de vacaciones en España, por debajo de los franceses o alemanes*. Recuperado de: <https://www.lavanguardia.com/vida/20160723/403420838011/los-22-dias-de-vacaciones-en-espana-por-debajo-de-los-franceses-o-alemanes.html>
- EL CONFIDENCIAL (2019). *Calendario laboral 2019 de Madrid*. Recuperado de: https://www.elconfidencial.com/espana/madrid/2019-04-12/calendario-laboral2019-comunidad-madrid_1622328/
- EMT Y METRO DE MADRID (2019). Consulta online en: <https://www.crtm.es/>
- EXPANSIÓN (16 DE JUNIO, 2019). *Bono español a 10 años*. Consulta online en: <https://datosmacro.expansion.com/bono/espana>
- F. URÍBARRI (2018). *Valoración de start-ups por medio de los métodos convencionales de valoración y el método de múltiples ingresos*, p. 16.
- FUNDACIÓN PARA LA SALUD GEOAMBIENTAL (2019). *Dióxido de nitrógeno*. Recuperado de: <https://www.saludgeoambiental.org/dioxido-nitrogeno-no2>
- G. FESTEL, M. WUERMSEHER Y G. CATTANEO (2013). *Valuation of Early-Stage, High-Tech Start-up Companies*, p. 225.
- G. HORNILLOS (2018). *Movilidad urbana: motivaciones y barreras del consumidor en el carsharing*, p. 14.
- GOOGLE MAPS (2019). Consulta online en: <https://www.google.com/maps>
- HABITS BIG DATA Y AIS GROUP (2016). *Los españoles gastan 1.200€ al año en carburante*. Recuperado de: <https://www.ais-int.com/los-espanoles-gastan-1-200e-al-ano-en-carburante-habits-big-data/>
- HISTOGRAFÍAS.COM (2017). *La historia de Cabify convertida en infografía*. Recuperado de: <https://histografias.com/infografia-historia-cabify.html>
- IATA (2013). *Profitability and the air transport value chain*. Recuperado de: <https://www.iata.org/publications/economics/Reports/profitability-and-the-air-transport-value-chain-edit.pdf>
- IEB (2018). *¿Qué es un fondo de capital riesgo?*. Recuperado de: <https://www.ieb.es/que-es-un-fondo-de-capital-riesgo/>
- INE (2019). *Cálculo de variaciones del Índice General por Comunidad Autónoma*. Consulta online en: <http://www.ine.es/varipc/>
- INE (2019). *Indicadores urbanos, edición 2019*.
- INSTITUTO DE ESTADÍSTICA (2018). *Afiliados en alta a la Seguridad Social: por municipio de residencia*.
- INSTITUTO DE ESTADÍSTICA (2018). *Afiliados en alta a la Seguridad Social: por centro de trabajo*.
- INSTITUTO DE ESTADÍSTICA (2018). *Edad media de la población*.
- INSTITUTO DE ESTADÍSTICA (2017). *Indicador de Renta Disponible Bruta Municipal per cápita (Base 2010)*.
- INSTITUTO DE ESTADÍSTICA (2018). *Población por municipios y zonas estadísticas*.

- INSTITUTO DE ESTADÍSTICA (2018). *Porcentaje de viviendas principales*.
- J. COSTAS, MOTORPASIÓN (2009). *Historia del coche híbrido: la tecnología se perfecciona*. Recuperado de: <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/historia-del-coche-hibrido-la-tecnologia-se-perfecciona>
- J. PARÍS (2019). *Madrid Central: importe de las multas por incumplir las normas y protocolos*. Recuperado de: <https://www.20minutos.es/noticia/3502035/0/precio-multas-madrid-central/>
- J. PASTOR (2018): *Plan VEA: ayudas a la compra de coches eléctricos en España en 2018*. Recuperado de: <https://www.xataka.com/vehiculos/plan-vea-asi-son-las-ayudas-a-compra-de-coches-electricos-en-espana-en-2018>
- JEFATURA DEL ESTADO (2014). *Impuesto sobre Sociedades*. Consulta online en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2014-12328>
- LA FINCA REAL ESTATE (2019). Consulta online en: <https://lafincarealestate.com/residencial-lafinca-lgc3/>
- LILIUM (2019). *About Us*. Recuperado de: <https://lilium.com/about-us>
- LILIUM (2019). *Our mission*. Recuperado de: <https://lilium.com/our-mission>
- LILIUM (2019). *The Jet*. Recuperado de: <https://lilium.com/the-jet>
- M.A. MEDINA (2019). *Las emisiones contaminantes se reducen un 38% en Madrid Central*. Recuperado de: https://www.abc.es/espana/madrid/abci-madrid-central-estas-multas-enfrentas-si-circulas-madrid-central-201811281942_noticia.html
- METRO DE MADRID (2019). Consulta online en: <https://www.metromadrid.es/es>
- NYU STERN (2019). *Betas by Sector (US)*. Recuperado de: http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/Betas.html
- NYU STERN (2019). *Company Default Spreads and Risk Premiums*. Recuperado de: http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/ctryprem.html
- R. BARGALLÓ Y J. LLAVERÍAS, H. MARTÍN (2015). *El vehículo eléctrico y la eficiencia energética global*. Recuperado de: <http://www.aedie.org/11chlie-papers/199-Bargallo.pdf>
- R. IYENGAR (2019). *Esta empresa planea un servicio de taxi volador que cuesta casi lo mismo que los taxis normales*. Recuperado de: <https://cnnespanol.cnn.com/2019/05/16/taxi-volador-empresa-planea-servicio-cuesta-casi-lo-mismo-taxis-normales/>
- RASTREATOR (2017). *Índice de precios del Seguro del Automóvil*. Recuperado de: <https://www.rastreator.com/doc/indice-de-precios-del-seguro-del-automovil-febrero-2017.pdf>
- RENFE (2019). Consulta online en: <http://www.renfe.com/>
- UBER ELEVATE (2016). *Fast-Forwarding to a Future of On-Demand Urban Air Transportation*.
- VAULT (2007). *Vault Career Guide to Investment Banking*.
- W.L. WINSTON (2004). *Operations research: applications and algorithms, p. 1051-1060*.
- XATAKA (2019). *Guía para saber si te sale rentable o no tener coche*. Recuperado de: <https://www.xataka.com/automovil/guia-para-saber-te-sale-rentable-no-tener-coche>