



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Facultad de Administración y Dirección de Empresas

Algoritmos para resolver un problema real de asignación de  
centros sanitarios

Trabajo Fin de Grado

Grado en Administración y Dirección de Empresas

AUTOR/A: Pérez Asensio, Damián

Tutor/a: Villa Juliá, María Fulgencia

Cotutor/a: Sánchez Anguix, Víctor

Director/a Experimental: KARPOVA KRYLOVA, YULIA

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022

*A mi tutora Ful, por su confianza, dedicación  
y apoyo cuando lo necesitaba.  
A ella le debo en gran medida mi ilusión  
y compromiso con este trabajo  
Me ha ayudado a descubrir lo que de  
verdad me gusta y a sacar lo mejor de mí.  
Estaré siempre agradecido*

*A Yulia y a Víctor por su implicación  
y ayuda a cualquier hora del día.  
No podría haber tenido más suerte.*

*A mi familia y amigos por acompañarme  
y enseñarme en esta etapa de mi vida.  
En especial a mi madre  
por la educación que me ha dado  
y por sufrir juntos en cada examen.  
No sería el mismo sin la gente que me rodea*

## RESUMEN:

---

Las instalaciones sanitarias (hospitales, centros de salud, centro de especialidades...) deben satisfacer la demanda de carácter asistencial que una población genera. Para ello, la autoridad sanitaria reparte la población entre las diferentes instalaciones siguiendo algún criterio en base a las capacidades de la Administración y de los técnicos. No obstante, la cantidad de población y sus características y, consecuentemente, sus necesidades cambian a lo largo del tiempo. Por ello, es necesario replantearse esa asignación o reparto inicial de población a instalaciones. Esta decisión no es trivial e implica tener en cuenta gran cantidad de información, por lo que la toma de decisiones óptima es inviable por mecanismos manuales. Este trabajo propone aplicar la metodología de los diagramas de Voronoi para abordar la resolución de este tipo de problemas de una forma rápida, pues la optimización facilita la toma de decisiones en problemas grandes y complejos. Además, se utilizarán herramientas de visualización de la solución tanto para facilitar el análisis de la idoneidad de ésta como para mejorar el diseño de los algoritmos.

### Palabras clave:

Investigación Operativa, Problema de asignación, Programación matemática, Optimización.

## RESUM:

---

Les instal·lacions sanitàries (hospitals, centres de salut, centre d'especialitats...) han de satisfer la demanda de caràcter assistencial que una població genera. Per això, l'autoritat sanitària reparteix la població entre les diferents instal·lacions seguint algun criteri sobre la base de les capacitats de l'Administració i dels tècnics. No obstant això, la quantitat de població i les seues característiques i, consegüentment, les seues necessitats canvien al llarg del temps. Per això, és necessari replantejar-se eixa assignació o repartiment inicial de població a instal·lacions. Aquesta decisió no és trivial i implica tindre en compte gran quantitat d'informació, per la qual cosa la presa de decisions òptima és inviable per mecanismes manuals. Aquest treball proposa aplicar la metodologia dels diegrames de Voronoi per a abordar la resolució d'aquesta mena de problemes d'una forma ràpida, perquè l'optimització facilita la presa de decisions en problemes grans i complexos. A més, s'utilitzaran eines de visualització de la solució tant per a facilitar l'anàlisi de la idoneïtat d'aquesta com per a millorar el disseny dels algoritmes.

### Paraules clau:

Investigació Operativa, Problema d'assignació, Programació matemàtica, Optimització.

**ABSTRACT:**

---

Health facilities (hospitals, health centres, specialty centres...) must meet the demand for care that a population generates. To do this, the health authority distributes the population among the different facilities following some criteria based on the capacities of the Administration and the technicians. However, the size of the population and its characteristics and, consequently, its needs change over time. Therefore, it is necessary to rethink this initial assignment or distribution of population to facilities. This decision is not trivial and involves considering a large amount of information, so optimal decision-making is not feasible by manual mechanisms. This work proposes to apply the methodology of Voronoi diagrams to address the resolution of this type of problem quickly, since optimization facilitates decision-making in large and complex problems. In addition, solution visualization tools will be used both to facilitate the analysis of its suitability and to improve the design of the algorithms.

**Key words:**

Operations Research, Assignment Problem, Mathematical Programming, Optimization.

## ÍNDICE

|  |           |
|--|-----------|
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>   | <b>7</b>  |
| <b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>  | <b>8</b>  |
| <b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....</b>  | <b>9</b>  |
| 1.1    Introducción .....  | 9         |
| 1.2    Motivación.....   | 12        |
| 1.3    Objetivos .....   | 13        |
| 1.4    Software utilizado.....   | 14        |
| 1.5    Estructura del documento.....   | 14        |
| <b>CAPÍTULO II: METODOLOGÍA.....</b>   | <b>16</b> |
| <b>CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO .....</b>                                       | <b>19</b> |
| 3.1    Departamentos de salud en la Comunidad Valenciana.....                  | 19        |
| 3.2    Estructura sanitaria en la Comunidad Valenciana.....                    | 20        |
| 3.3    Investigación Operativa: Problemas de asignación.....                   | 21        |
| 3.4    Polígonos de Voronoi .....  | 22        |
| 3.5    Introducción al Software QGIS 3.16.16.....                              | 25        |
| 3.5.1    Propiedades de los datos .....  | 25        |
| 3.5.2    Tipos de capas .....  | 26        |
| 3.5.3    WGS 84/ Pseudo-Mercator .....   | 26        |
| 3.6    Revisión bibliográfica .....  | 27        |
| <b>CAPÍTULO IV: CARACTERIZACIÓN Y RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA.....</b>             | <b>30</b> |
| 4.1    Elementos del problema .....  | 30        |
| 4.1.1    Departamentos de salud en la provincia de Valencia .....              | 30        |
| 4.1.2    Centros de Especialidades y de los Centros Sanitarios Integrados..... | 31        |
| 4.1.3    Población cubierta por departamento de salud .....                    | 32        |
| 4.2    Población asignada a cada departamento de salud utilizando QGIS.....    | 35        |
| 4.3    Población asignada a cada polígono de Voronoi utilizando QGIS.....      | 37        |
| 4.4    Comparación entre los departamentos de salud y los Polígonos .....      | 43        |
| 4.4.1    Error cuadrático medio de la población asignada.....                  | 43        |
| 4.4.2    Reasignación de la población para formar los Polígonos .....          | 45        |
| <b>CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....</b>                             | <b>49</b> |
| 5.1    Análisis de la distancia .....  | 49        |
| 5.2    Análisis de la población.....   | 56        |

|  |                               |           |
|--|-------------------------------|-----------|
| 5.2.1  | Índice de envejecimiento..... | 56        |
| 5.2.2  | Pirámide de edades .....      | 59        |
| <b>CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO .....</b>        |                               | <b>64</b> |
| 6.1  | Conclusiones.....             | 64        |
| 6.2  | Trabajo futuro.....           | 65        |
| <b>Bibliografía .....</b>                                      |                               | <b>66</b> |
| <b>ANEXOS .....</b>  |                               | <b>68</b> |
| ANEXO I: Objetivos de Desarrollo Sostenible implicados .....   |                               | 68        |
| ANEXO II: Índices demográficos por departamento de salud ..... |                               | 69        |
| ANEXO III: Pirámide de edades por departamento de salud .....  |                               | 72        |
| ANEXO IV: Pirámide de edades por polígono de Voronoi.....      |                               | 76        |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| FIGURA 1: GASTO SANITARIO PÚBLICO CONSOLIDADO EN ESPAÑA DE 2010 A 2019 (EN MILLONES DE EUROS). .....   | 9  |
| FIGURA 2: A) POBLACIÓN DE LA COMUNIDAD VALENCIANA EN PORCENTAJES POR RANGO DE EDAD. B) NÚMERO DE CONSULTAS REALIZADAS EN ATENCIÓN PRIMARIA EN PORCENTAJES POR RANGO DE EDAD..... | 10 |
| FIGURA 3: ESTRUCTURA DE LA POBLACIÓN EN 2020 Y LA PREVISIÓN PARA 2035. ....  | 11 |
| FIGURA 4: DIAGRAMA DE GANTT DE LAS TAREAS REALIZADAS EN LA ELABORACIÓN DEL TFG.....  | 18 |
| FIGURA 5: ORGANIZACIÓN TERRITORIAL DE LOS DEPARTAMENTOS DE SALUD EN LA C. VALENCIANA.....  | 19 |
| FIGURA 6: ASISTENCIA SANITARIA DE LOS DEPARTAMENTOS DE SALUD. ....   | 20 |
| FIGURA 7: ESTRUCTURA DE LA ATENCIÓN SANITARIA EN LA COMUNIDAD VALENCIANA. ....   | 21 |
| FIGURA 8: REPRESENTACIÓN DIAGRAMA DE VORONOI. ....   | 23 |
| FIGURA 9: DIAGRAMA DE VORONOI DE DOS PUNTOS. ....  | 24 |
| FIGURA 10: DIAGRAMA DE VORONOI DE TRES PUNTOS. ....  | 24 |
| FIGURA 11: CIRCUNFERENCIA DESDE LA INTERSECCIÓN DE LAS MEDIATRICES. ....   | 25 |
| FIGURA 12: SISTEMA DE REFERENCIA DE COORDENADAS WGS 84 / PSEUDO-MERCATOR. ....   | 27 |
| FIGURA 13: PROVINCIA DE VALENCIA REMARCADA SOBRE LOS DEPARTAMENTOS DE SALUD DE LA C. VALENCIANA. ....  | 31 |
| FIGURA 14: PARTE DEL DEPARTAMENTO DE SALUD DE SAGUNTO PERTENECIENTE A LA PROVINCIA DE VALENCIA. ....   | 33 |
| FIGURA 15: DEPARTAMENTOS DE SALUD EN LA PROVINCIA DE VALENCIA INCLUYENDO EL DEPARTAMENTO DE SAGUNTO COMPLETO. ....   | 36 |
| FIGURA 16: LOCALIZACIÓN DE LOS CENTROS DE ESPECIALIDADES Y CENTROS SANITARIOS INTEGRADOS EN LA PROVINCIA DE VALENCIA.....  | 38 |
| FIGURA 17: DIAGRAMA DE VORONOI DE LOS CE Y CSI DE LA PROVINCIA DE VALENCIA.....  | 39 |
| FIGURA 18: DIAGRAMA DE VORONOI DE LOS CE Y CSI CENTRADO EN LA CIUDAD DE VALENCIA. ....   | 40 |
| FIGURA 19: DIAGRAMA DE VORONOI CORRESPONDIENTE A VMaa Y VMAB EN LA CIUDAD DE VALENCIA. ....  | 40 |
| FIGURA 20: DEPARTAMENTOS DE SALUD A PARTIR DE LOS POLÍGONOS DE VORONOI EN LA PROVINCIA DE VALENCIA.....  | 41 |
| FIGURA 21: POLÍGONOS DE VORONOI POR CENTROS MARCANDO LAS ÁREAS DONDE SE CONCENTRA LA POBLACIÓN. ....   | 50 |
| FIGURA 22: A) POLÍGONO DE VHGD JUNTO CON EL CENTRO SANITARIO INTEGRADO CORRESPONDIENTE. B) PUNTOS ALAETORIOS EN EL INTERIOR DEL POLÍGONO DE VHGD.....                            | 51 |
| FIGURA 23: PUNTO CRÍTICO Y LOS CENTROS Gc Y LRD CON SUS RESPECTIVOS DEPARTAMENTOS DE SALUD Y POLÍGONOS.....  | 53 |
| FIGURA 24: PUNTO CRÍTICO Y LOS CENTROS Mc Y VHGA CON SUS RESPECTIVOS DEPARTAMENTOS DE SALUD Y POLÍGONOS. ....  | 54 |
| FIGURA 25: PUNTO CRÍTICO Y LOS CENTROS XOA Y LRD CON SUS RESPECTIVOS DEPARTAMENTOS DE SALUD Y POLÍGONOS. .   | 55 |
| FIGURA 26: ÍNDICES DE ENVEJECIMIENTO DE LOS DEPARTAMENTOS DE SALUD Y DE LOS POLÍGONOS. ....  | 57 |
| FIGURA 27: PIRÁMIDE DE EDADES DEL DEPARTAMENTO Y POLÍGONO VALENCIA – DOCTOR PESET. ....  | 63 |
| FIGURA 28: PIRÁMIDE DE EDADES DEL DEPARTAMENTO DE GANDÍA. ....   | 72 |
| FIGURA 29: PIRÁMIDE DE EDADES DEL DEPARTAMENTO DE LA RIBERA. ....  | 72 |
| FIGURA 30: PIRÁMIDE DE EDADES DEL DEPARTAMENTO DE MANISES. ....  | 73 |
| FIGURA 31: PIRÁMIDE DE EDADES DEL DEPARTAMENTO DE REQUENA. ....  | 73 |
| FIGURA 32: PIRÁMIDE DE EDADES DEL DEPARTAMENTO DE SAGUNTO. ....  | 73 |
| FIGURA 33: PIRÁMIDE DE EDADES DEL DEPARTAMENTO VALENCIA – ARNAU DE VILANOVA - LIRIA. ....  | 74 |
| FIGURA 34: PIRÁMIDE DE EDADES DEL DEPARTAMENTO VALENCIA - CLÍNICO LA MALVARROSA. ....  | 74 |
| FIGURA 35: PIRÁMIDE DE EDADES DEL DEPARTAMENTO VALENCIA – DOCTOR PESET. ....   | 74 |
| FIGURA 36: PIRÁMIDE DE EDADES DEL DEPARTAMENTO VALENCIA – HOSPITAL GENERAL.....  | 75 |
| FIGURA 37: PIRÁMIDE DE EDADES DEL DEPARTAMENTO VALENCIA – LA FE.....   | 75 |
| FIGURA 38: PIRÁMIDE DE EDADES DEL DEPARTAMENTO DE XÀTIVA – ONTINYENT. ....   | 75 |
| FIGURA 39: PIRÁMIDE DE EDADES DEL POLÍGONO DE GANDÍA. ....   | 76 |
| FIGURA 40: PIRÁMIDE DE EDADES DEL POLÍGONO DE LA RIBERA. ....  | 76 |
| FIGURA 41: PIRÁMIDE DE EDADES DEL POLÍGONO DE MANISES.....   | 77 |
| FIGURA 42: PIRÁMIDE DE EDADES DEL POLÍGONO DE SAGUNTO.....   | 77 |
| FIGURA 43: PIRÁMIDE DE EDADES DEL POLÍGONO VALENCIA – ARNAU DE VILANOVA - LIRIA. ....  | 77 |
| FIGURA 44: PIRÁMIDE DE EDADES DEL POLÍGONO VALENCIA - CLÍNICO LA MALVARROSA. ....  | 78 |
| FIGURA 45: PIRÁMIDE DE EDADES DEL POLÍGONO VALENCIA – HOSPITAL GENERAL. ....   | 78 |
| FIGURA 46: PIRÁMIDE DE EDADES DEL POLÍGONO VALENCIA – LA FE. ....  | 78 |
| FIGURA 47: PIRÁMIDE DE EDADES DEL POLÍGONO DE XÀTIVA – ONTINYENT.....  | 79 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| TABLA 1: NÚMERO DE CE Y CSI PARA CADA DEPARTAMENTO DE SALUD EN LA PROVINCIA DE VALENCIA. ....                         | 32 |
| TABLA 2: POBLACIÓN SIP ASIGNADA A CADA DEPARTAMENTO DE SALUD DE LA PROVINCIA DE VALENCIA. ....                        | 33 |
| TABLA 3: PORCENTAJE DE LA POBLACIÓN QUE PERTENECE A CADA PROVINCIA EN EL DEPARTAMENTO DE SALUD DE SAGUNTO.<br>.....   | 34 |
| TABLA 4: POBLACIÓN SIP ASIGNADA A CADA DEPARTAMENTO DE SALUD EN LA PROVINCIA DE VALENCIA. ....                        | 35 |
| TABLA 5: POBLACIÓN ASIGNADA A CADA DEPARTAMENTO DE SALUD EN LA PROVINCIA DE VALENCIA UTILIZANDO QGIS. ....            | 37 |
| TABLA 6: POBLACIÓN ASIGNADA A CADA CENTRO Y POLÍGONO APLICANDO LOS POLÍGONOS DE VORONOI. ....                         | 42 |
| TABLA 7: ECM TENIENDO EN CUENTA LA POBLACIÓN ASIGNADA POR DEPARTAMENTO DE SALUD. ....                                 | 44 |
| TABLA 8: ECM TENIENDO EN CUENTA LA POBLACIÓN ASIGNADA POR POLÍGONO. ....  | 45 |
| TABLA 9: TRANSFERENCIA DE LA POBLACIÓN DE CADA DEPARTAMENTO DE SALUD PARA FORMAR LOS POLÍGONOS. ....                  | 47 |
| TABLA 10: DISTANCIA Y TIEMPO PARA ACUDIR A CADA CE O CSI. ....  | 52 |
| TABLA 11 DISTANCIA Y DURACIÓN DESDE GC Y LRD HASTA EL PUNTO AZUL. ....  | 53 |
| TABLA 12 DISTANCIA Y DURACIÓN DESDE MC Y VHGA HASTA EL PUNTO AZUL. ....   | 54 |
| TABLA 13 DISTANCIA Y DURACIÓN DESDE XOa Y LRD HASTA EL PUNTO AZUL. ....   | 55 |
| TABLA 14: ÍNDICE DE ENVEJECIMIENTO DE LOS DEPARTAMENTOS DE SALUD DE LA PROVINCIA DE VALENCIA. ....                    | 56 |
| TABLA 15: COMPOSICIÓN PORCENTUAL DE LOS POLÍGONOS POR LOS DEPARTAMENTOS DE SALUD DE LA PROVINCIA DE<br>VALENCIA. .... | 57 |
| TABLA 16: ECM DEL ÍNDICE DE ENVEJECIMIENTO Y DEL ÍNDICE MODIFICADO. ....  | 59 |
| TABLA 17: COMPOSICIÓN PORCENTUAL DE LOS DEPARTAMENTOS DE SALUD POR LOS POLÍGONOS DE LA PROVINCIA DE<br>VALENCIA. .... | 60 |
| TABLA 18: POBLACIÓN POR GRUPO DE EDAD Y SEXO DEL DEPARTAMENTO VALENCIA - DOCTOR PESET. ....                           | 61 |
| TABLA 19: POBLACIÓN EXTRAPOLADA DE LOS DEPARTAMENTOS DE VMA, VHG Y VLF. ....  | 62 |
| TABLA 20: ÍNDICES DEMOGRÁFICOS DEL DEPARTAMENTO DE GANDÍA. ....   | 69 |
| TABLA 21: ÍNDICES DEMOGRÁFICOS DEL DEPARTAMENTO DE LA RIBERA. ....  | 69 |
| TABLA 22: ÍNDICES DEMOGRÁFICOS DEL DEPARTAMENTO DE MANISES. ....  | 69 |
| TABLA 23: ÍNDICES DEMOGRÁFICOS DEL DEPARTAMENTO DE REQUENA. ....  | 69 |
| TABLA 24: ÍNDICES DEMOGRÁFICOS DEL DEPARTAMENTO DE SAGUNTO. ....  | 70 |
| TABLA 25: ÍNDICES DEMOGRÁFICOS DEL DEPARTAMENTO VALENCIA – ARNAU DE VILANOVA - LIRIA. ....                            | 70 |
| TABLA 26: ÍNDICES DEMOGRÁFICOS DEL DEPARTAMENTO VALENCIA - CLÍNICO LA MALVARROSA. ....                                | 70 |
| TABLA 27: ÍNDICES DEMOGRÁFICOS DEL DEPARTAMENTO VALENCIA – DOCTOR PESET. ....   | 70 |
| TABLA 28: ÍNDICES DEMOGRÁFICOS DEL DEPARTAMENTO VALENCIA – HOSPITAL GENERAL. ....                                     | 70 |
| TABLA 29: ÍNDICES DEMOGRÁFICOS DEL DEPARTAMENTO VALENCIA – LA FE. ....  | 71 |
| TABLA 30: ÍNDICES DEMOGRÁFICOS DEL DEPARTAMENTO DE XÀTIVA – ONTINYENT. ....   | 71 |

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1 Introducción

La sanidad es una parte destacada de los servicios del estado del bienestar y, por tanto, de las políticas públicas. Los costes del personal, la compra de suministros y medicinas, la construcción y el mantenimiento de los establecimientos sanitarios, son financiados mayoritariamente a través de los recursos públicos, ya sea en forma de impuestos o a través de cotizaciones sociales. Como consecuencia, las políticas sanitarias son un importante objeto de debate (Samoza, 2001).

El gasto sanitario público ha tenido diferentes pesos como porcentaje del PIB desde 2010 a 2020, tomando valores desde el 5,9% hasta el 7,5%. Este último valor se trata del correspondiente a 2020, año anómalo debido a la gran presión sanitaria causada por la pandemia mundial del Covid-19. Debido a ello, en el trabajo se van a hacer uso de los datos de 2019. En este año se tuvieron unos gastos equivalentes al 6% del PIB anual en España, dicho de otra forma, el Estado invirtió en la sanidad pública 75.056 millones de euros (Ministerio de Sanidad, 2022).

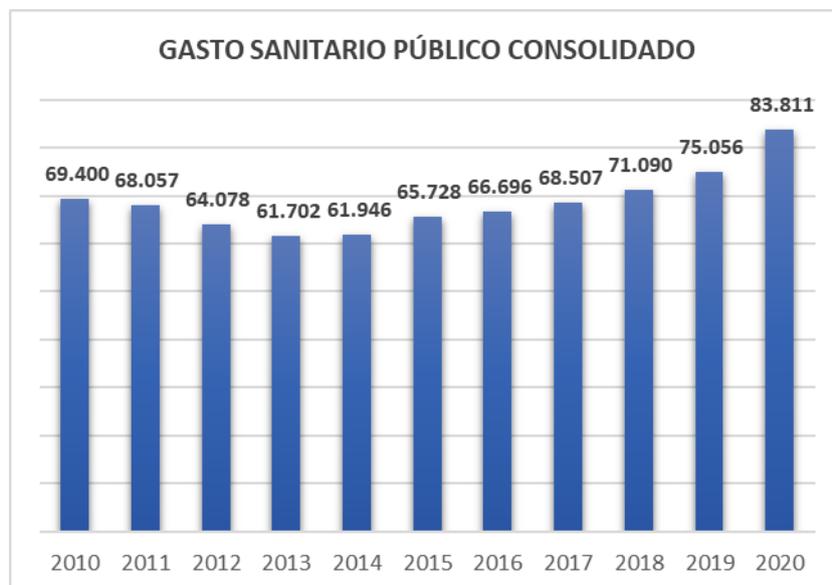


Figura 1: Gasto sanitario público consolidado en España de 2010 a 2019 (en millones de euros).  
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Ministerio de Sanidad.

Atendiendo a los datos representados en la *Figura 1*, el gasto sanitario ha ido incrementando anualmente, con excepción de los años en los que se realizaron recortes en el gasto público, de 2011 a 2013, a raíz de la gran crisis que se estaba atravesando. La tendencia es que este gasto vaya aumentando en los próximos años debido al envejecimiento de la población y a la mejora de las carencias actuales.

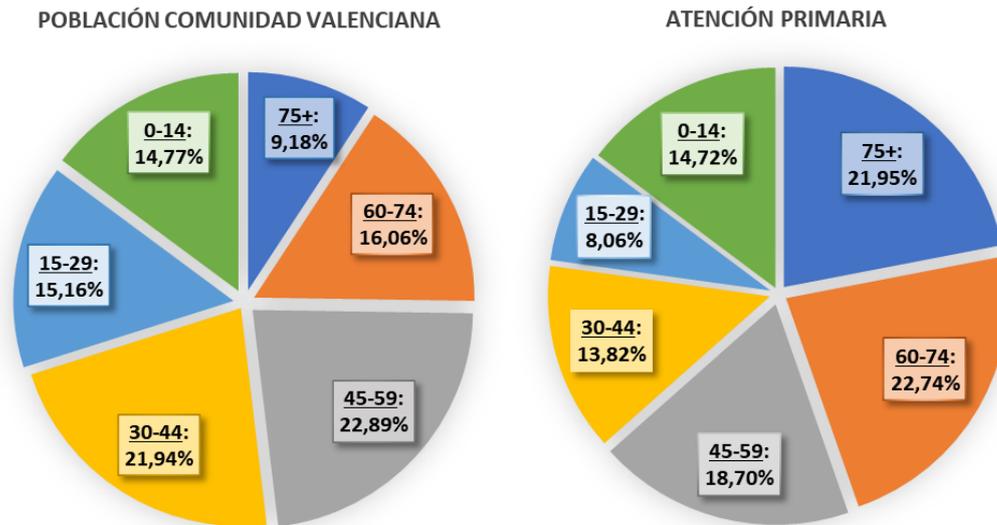


Figura 2: a) Población de la Comunidad Valenciana en porcentajes por rango de edad. b) Número de consultas realizadas en atención primaria en porcentajes por rango de edad.  
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Conselleria de Sanitat (Sanitat GVA, 2019).

Debido al efecto del envejecimiento de la población sobre el sistema sanitario resulta interesante realizar un estudio más profundo. La *Figura 2* muestra en un primer gráfico cómo está formada la población de la Comunidad Valenciana utilizando como único criterio la edad. El rango de 45 a 59 años es el que más población recoge con un 22,89% del total. En el segundo gráfico se representa el número de consultas que se han realizado en la atención primaria agrupándolas también por grupo de edad. En este caso son las personas entre 60 y 74 años las que más consultas realizan, correspondiéndose con un 22,74% del total.

Aunque las personas de 75 años o más son las que menor porcentaje de la población total representan, siendo de un 9,18%, generan un alto número de consultas, concretamente un 21,95%. Si se tiene en cuenta aquellos dos rangos de edad más elevada, comprendiendo a los ciudadanos de 60 años o más, se cuenta con una cantidad del 25,24% de la población. Esta agrupación por edad genera un 44,69% de las consultas que se realizan en la atención primaria. Si ahora se presta atención al grupo de 0 a 14 años, el valor de los porcentajes es prácticamente el mismo, el 14,77% de la población genera el 14,72% de las consultas. Exceptuando este último rango, se concluye que a medida que aumenta la edad también lo hace el número de consultas realizadas.

Si las previsiones se cumplen, el problema de la carga asistencial se podría ver agravado como consecuencia del transcurso natural de la vida humana. Como se muestra en la *Figura 3*, donde se aprecia la pirámide poblacional de la Comunidad Valenciana en 2020 y su predicción para 2035, se produciría un aumento del peso de la población de los rangos de edad más elevados. Es decir, en 2020 el grupo quinquenal de población más numeroso es el de 40 a 44 años mientras que en 2035 pasaría a ser el de 50 a 59 años. A esto se añadiría la disminución del peso de la población de 0 a 19 años y de 35 a 54 años (Institut Valencià d'Estadística, 2022). A simple vista, la

estructura de la població para 2035 se corresponde con una pirámide invertida, ya que son las personas con más edad las que comprenden un mayor porcentaje del total.

Este incremento que se va a producir en la demanda del servicio sanitario tan solo puede responderse de tres formas: con un incremento de los recursos asignados, optimizando el uso de los recursos asignados o con la mezcla de los dos anteriores.

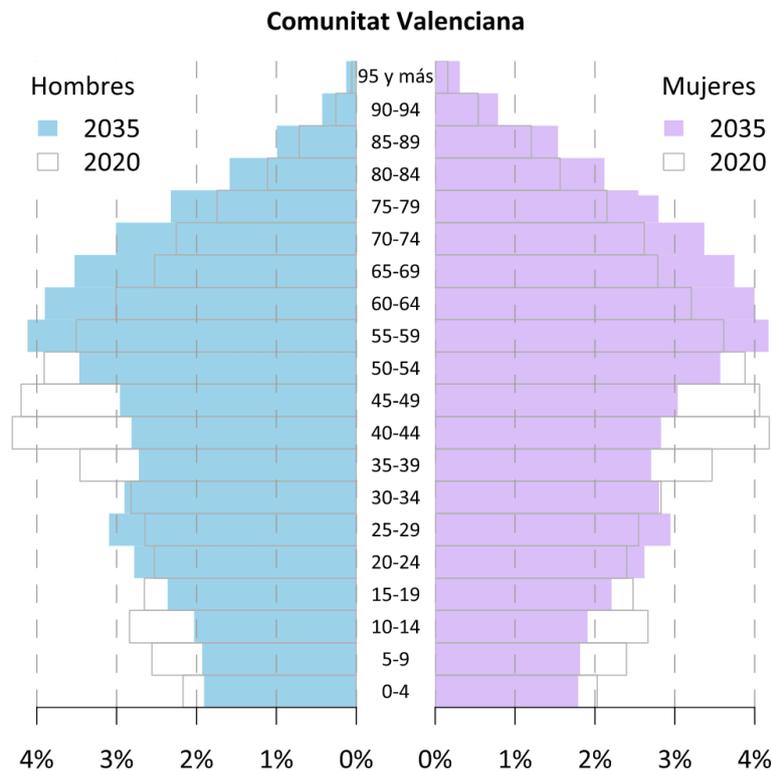


Figura 3: Estructura de la población en 2020 y la previsión para 2035.  
Fuente: (Institut Valencià d'Estadística, 2022)

Centrándose en la actualidad, a raíz de la pandemia COVID-19, los centros han experimentado un incremento imprevisto en la carga asistencial que se traduce en una percepción de que la calidad del sistema sanitario ha empeorado.

Como se destinan muchos recursos en sanidad, es importante tratar de gestionarlos de forma óptima para conseguir sacar el máximo partido de ellos. Un uso eficaz y eficiente se traduce en una mejora en la atención al paciente y, por ende, del sistema sanitario. Tanto la sostenibilidad como el acceso a servicios de salud esenciales de calidad son objetivos recogidos en los ODS promovidos por la ONU (ONU, 2022). Así pues, conocer las características de la población y su evolución permite tomar decisiones para adaptar los recursos al entorno cambiante.

Puesto que el trabajo se centra en la provincia de Valencia, cabe destacar la iniciativa *Missions València 2030* por parte del Ayuntamiento de Valencia cuyo fin último es la mejora de la vida de las personas (Ajuntament de València, 2022). Se busca encontrar soluciones y respuestas a las grandes emergencias que la humanidad se está enfrentando, haciendo uso de la ciencia y de la innovación.

La innovación es un factor clave para la mejora de este sector y así se puede advertir en la encuesta de percepción de la sanidad en España realizada por la Fundación IDIS, Instituto para el Desarrollo e Integración de la Sanidad (Fundación IDIS, 2022). Los resultados muestran que un 98,5% de la población considera necesaria la apuesta por la innovación y la investigación para mejorar la asistencia sanitaria, los tiempos de espera y atención a los pacientes.

En este Trabajo Fin de Grado (TFG), se va a desarrollar una herramienta para la ayuda de toma de decisiones que permita una mejor utilización de los recursos escasos, en este caso, de los centros sanitarios y, en especial, de los Centros de Especialidades (CE) y de los Centros Sanitarios Integrados (CSI).

La asignación actual de la población a cada uno de estos centros es bastante complicada debido a que la carga asistencial es elevada y se prevé un empeoramiento en el futuro, traduciéndose en una degradación de la atención al paciente.

La mejora que se propone se debe al uso de algoritmos para conseguir una asignación o reparto más equitativo de la población a cada uno de los centros, reduciendo la distancia de desplazamiento desde el lugar de residencia al centro de salud. Aunque para acotar el problema se ha hecho uso de los centros y territorio de la provincia de Valencia, esta herramienta se puede extrapolar a cualquier territorio permitiendo su uso extendido.

## 1.2 Motivación

La motivación a la hora de realizar este trabajo comienza en el momento en el que hay que abordar un problema actual con datos reales y en un entorno cercano, como es el caso de la provincia de Valencia, teniendo como propósito la mejora del servicio sanitario.

Por otra parte, la utilización de la metodología propuesta serviría también para conseguir un entorno sostenible puesto que, al asignar a la población a su centro más cercano, los traslados serían más cortos y, por lo tanto, se reducirían las emisiones de gases efecto invernadero a la atmósfera. En consecuencia, tendría un impacto positivo en el cambio climático que hoy en día se está sufriendo.

Para la realización de este trabajo se han aplicado conocimientos adquiridos en el grado de Administración y Dirección de Empresas. En particular, en las siguientes asignaturas:

- Investigación Operativa: Destrezas y capacidades para plantear y resolver problemas de optimización y de toma de decisiones.
- Introducción a la Estadística, Econometría y Métodos estadísticos en economía: Técnicas estadísticas para el estudio cuantitativo de manera que se puedan obtener resultados fiables y comparables para tomar decisiones.

- Métodos cuantitativos para la ayuda a la toma de decisiones: Capacidad de tomar decisiones a través del uso de herramientas cuantitativas en un entorno cada vez más cambiante y dinámico.

### 1.3 Objetivos

El objetivo principal de este Trabajo Fin de Grado es encontrar una herramienta de apoyo a la toma de decisiones de manera que permita obtener, en un breve periodo de tiempo, un reparto o asignación de la población a los centros de salud de la provincia de Valencia (o en cualquier otro territorio si se extrapola). Este reparto queda supeditado a la localización de los Centros de Especialidades y de los Centros Sanitarios Integrados. Por lo tanto, se está obteniendo una solución a un problema real de optimización en el que un uso eficiente y eficaz de los recursos actuales es esencial para conseguir una distribución equitativa de la carga asistencial. El fin perseguido es que cada individuo acuda al centro más cercano de su lugar de residencia, siendo el principal beneficiado el usuario por la mejora en el tipo de servicio que se presta.

Puesto que el propósito del trabajo es ayudar en la toma de decisiones, es importante obtener la mayor cantidad de información posible para evitar errores innecesarios. En este trabajo se ha hecho uso de todos los datos que han estado al alcance, tratando de conseguir unos resultados fieles a la realidad.

También se quiere conseguir un análisis visual, cuantitativo y cualitativo de la asignación. Al trabajar en un problema geométrico con datos geográficos se posibilita la visualización intuitiva de los resultados a través de un software de información geográfica percibiendo de forma más evidente el impacto que tiene la solución sobre el entorno.

En un futuro, permitiría observar cómo se reasignaría la población teniendo en cuenta tanto la localización de los centros sanitarios como los cambios demográficos que se pudieran producir. Además, posibilitaría la introducción en el modelo de cualquier variación respecto al número de centros.

Atendiendo a lo anteriormente expuesto, se pretende que esta herramienta sirva de ayuda al sector sanitario, fomentando la introducción de la innovación en este ámbito, de manera que se contribuya en el logro de las metas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

## 1.4 Software utilizado

En la elaboración del trabajo se ha utilizado el software de información geográfica QGIS 3.16 puesto que permite la representación en mapas de los diferentes centros sanitarios, el cálculo de las distancias, el número de habitantes en cada área, etc.

Cabe destacar que QGIS es un software libre y de código abierto que permite su utilización desde cualquier sistema operativo. Al poder ser modificado, estudiado y utilizado libremente con cualquier finalidad hace que su uso sea extendido en diversos ámbitos y, en consecuencia, tenga muchas funcionalidades. Este software es usado en empresas de la red eléctrica, construcción de carreteras, transporte y logística, marketing y realización de encuestas entre otros muchos campos.

Se trata de un sistema que trabaja con datos geográficos o espaciales y está diseñado para capturar, almacenar, manipular, analizar y tratar estos datos.

## 1.5 Estructura del documento

Este TFG está estructurado en seis capítulos cuya denominación y breve descripción se muestran a continuación:

- Capítulo I. Introducción: Se contextualizará el problema en el marco económico y social para así poder entender la motivación para realizar este trabajo y los objetivos que se quieren alcanzar. También se hará mención del software utilizado en la realización del TFG.
- Capítulo II. Metodología: se hará una breve explicación de cómo se ha realizado el trabajo y cuáles han sido los pasos que se han seguido para resolver el problema planteado.
- Capítulo III. Marco teórico: se explicará cómo queda dividida la Comunidad Valenciana a nivel sanitario, así como su estructura dentro de cada departamento mencionando los distintos tipos de centros disponibles. También, se hará referencia a los problemas de asignación cubiertos desde la investigación operativa y, por tanto, al método que se va a utilizar en la propuesta de mejora para la distribución de la población a los diferentes departamentos de salud. A continuación, se realizará una introducción al software QGIS en el que también se mostrará cómo son los datos y sus propiedades, los tipos de capas que se pueden utilizar y el sistema de referencia de coordenadas utilizado. Para concluir este capítulo se comentarán

brevemente varios métodos de resolución que han utilizado otros autores ante problemas similares.

- Capítulo IV. Caracterización y resolución del problema: se identificarán los distintos elementos del problema necesarios para el modelado y resolución del problema. Posteriormente, se escogerán los departamentos sanitarios de interés y se especificarán aquellos centros a los que hay que prestar atención a la hora de decidir la reasignación de la población. Posteriormente, se especificará la población cubierta por departamento de salud usando datos del INE y el software QGIS. El problema se resuelve con la asignación de la población a los centros sanitarios (CE y CSI) utilizando los polígonos de Voronoi. Posteriormente se calculará la población comprendida en cada polígono y se realizará una comparación entre ambos modelos.
- Capítulo V. Análisis de los resultados: se comprobará si la reasignación de la población permite un mejor uso de los recursos y facilita el desplazamiento de la población al centro sanitario.
- Capítulo VI. Conclusiones y trabajo futuro: se recogerán todas las deducciones que se han obtenido en la realización de este trabajo junto con las posibles vías de desarrollo que se podrían seguir haciendo uso de la herramienta actual.

## CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

Este trabajo afronta la asignación de la población a los Centros de Especialidades y Centros Sanitarios Integrados. Se trata de un problema real que afecta al uso de los recursos sanitarios que posee la Comunidad Valenciana.

Para resolver el problema se han seguido los pasos basados en el método científico. Así pues, las decisiones que se toman a lo largo del trabajo no surgen del azar, sino que están relacionadas con unos resultados objetivos y cuantitativos que se han ido consiguiendo.

Aunque posteriormente se introducirá el concepto de departamento de salud, es necesario conocer que la Conselleria de Sanitat divide la provincia de Valencia en 11 departamentos y cada uno de ellos tiene asignado un hospital y un centro de especialidades o centro sanitario integrado donde acude la población que vive dentro.

Primero, se quiere conocer si con la distribución actual de la población a cada departamento de salud se están aprovechando de manera eficiente y eficaz los recursos sanitarios que la *Conselleria de Sanitat* tiene a su alcance. Para ello es necesario investigar sobre el tema tratando de recabar la mayor cantidad de información posible. Posteriormente, se propone un cambio en las delimitaciones territoriales de la asignación de la población a los centros y, en consecuencia, de los departamentos de salud. En esta ocasión se ha hecho uso de una herramienta geométrica conocida como Polígonos de Voronoi. Una vez conocida la nueva distribución y analizando los datos obtenidos se compara con la distribución actual permitiendo obtener conclusiones sobre la idoneidad de realizar la reasignación de la población.

Agrupar las actividades que se han llevado a cabo en la elaboración de este trabajo utilizando como criterio la sección en la que han sido realizadas permite clarificar el proceso de ejecución. La realización de las tareas se ha estructurado de la siguiente forma:

1. Trabajo previo:
  - 1.1 Búsqueda de información y toma de contacto con el ámbito sanitario y, sobre todo, con la estructura sanitaria en la Comunidad Valenciana.
  - 1.2 Proceso de aprendizaje en la utilización del software QGIS 3.16.16. Necesario para el proceso de análisis y resolución del problema y la representación de los resultados.
  - 1.3 Revisión bibliográfica centrada en los métodos de resolución de problemas de optimización basados en la localización de los recursos.

## 2. Planteamiento del problema:

- 2.1 Adquisición de conocimientos sobre el funcionamiento y la utilidad de los polígonos de Voronoi.
- 2.2 Identificación de la información cuantitativa y cualitativa a tener en cuenta en la resolución del problema.
- 2.3 Creación de una base de datos en la que queden recogidos los datos poblacionales actuales de cada uno de los departamentos que forman la provincia de Valencia.

## 3. Resolución del problema

- 3.1 Obtención de los Polígonos de Voronoi de la provincia de Valencia haciendo uso del software QGIS.
- 3.2 Creación de una base de datos en la que quedan recogidos los datos poblacionales de cada uno de los Polígonos de Voronoi.

## 4. Comparación de resultados

- 4.1 Comprobar si la carga asistencial se reparte de una manera más equitativa cuando se hace uso de los Polígonos de Voronoi.
- 4.2 Medición de la distancia recorrida desde el lugar de residencia hasta el centro más cercano utilizando una herramienta proporcionada por QGIS. Aprender el cambio que se produce cuando se hace uso de los Polígonos de Voronoi.

## 5. Redacción de la memoria y su posterior revisión.

Al estructurar las tareas asignado un tiempo de elaboración a cada una se obtiene lo que se conoce como diagrama de Gantt. Este método gráfico permite apreciar de forma visual el tiempo que se le ha asignado a cada actividad a lo largo de un tiempo determinado como muestra la *Figura 4*. En este caso, este tiempo finaliza en la fecha de entrega de este Trabajo Fin de Grado.

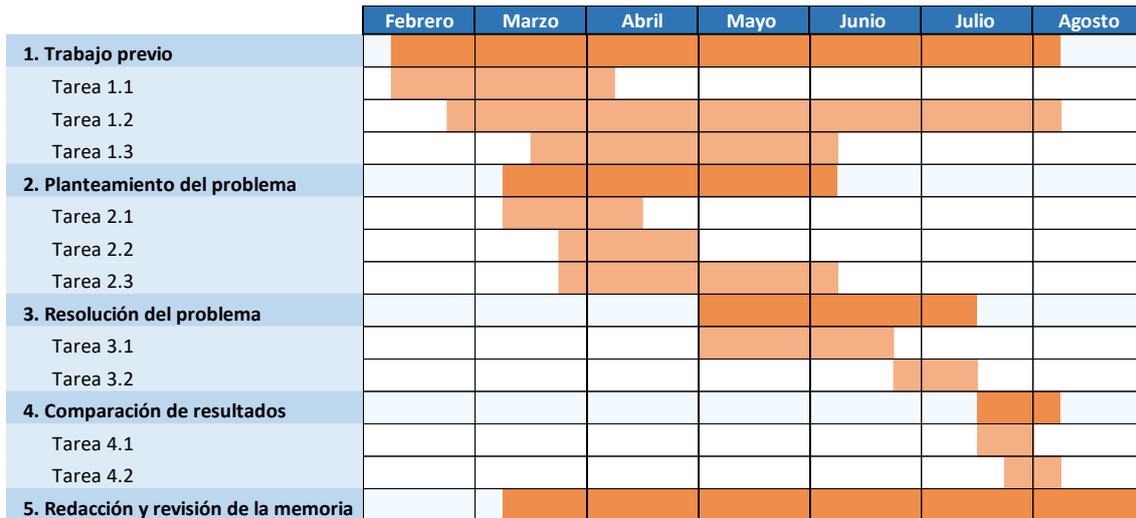


Figura 4: Diagrama de Gantt de las tareas realizadas en la elaboración del TFG.  
Fuente: Elaboración propia.

Para concluir este capítulo, cabe remarcar el hecho de que se haya utilizado el Software QGIS puesto que ha supuesto un periodo de adaptación y de aprendizaje prácticamente en la totalidad de la realización de este TFG. Esto se debe a que se trataba de un programa nuevo del que no se tenía ningún conocimiento previo. En cuanto a la redacción de la memoria se ha realizado de forma paralela a la obtención de resultados.

## CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presenta la estructura sanitaria de la Comunidad Valenciana, es decir, cómo queda dividido el territorio y los servicios que se prestan. También se hace mención del tipo de problema que se tiene que afrontar en la resolución de este TFG y al método utilizado. La búsqueda de información relacionada con este tema permite apreciar el proceso que han seguido distintos autores para concluir sus investigaciones.

### 3.1 Departamentos de salud en la Comunidad Valenciana

El modelo de gestión sanitaria de Comunidad Valenciana se basa en la descentralización, pues el territorio, dividido en tres provincias, cuenta con un total de 24 Departamentos de Salud organizados tal y como se puede observar en la *Figura 5*:



*Figura 5: Organización territorial de los departamentos de salud en la C. Valenciana*  
Fuente: Conselleria de Sanitat Universal i Salut Pública, Generalitat Valenciana.

El término Departamento de Salud equivale a lo que se conocen como áreas de salud, previstas en la Ley General de Sanidad. Esta delimitación geográfica sanitaria sirve de referencia para la organización y planificación de los recursos, ya sean centros o profesionales, que posee o tiene bajo su cargo la *Conselleria de Sanitat*.

Un departamento de salud está formado por distintos tipos de centros sanitarios que dan asistencia a la población. Esta distribución garantiza una disposición conveniente de la asistencia primaria y su correspondiente coordinación con la atención especializada.

Según la legislación, los departamentos quedan delimitados teniendo en cuenta factores socioeconómicos, geográficos demográficos, epidemiológicos, laborales, culturales, climatológicos y de dotación de vías y medios de comunicación, teniendo siempre presente las instalaciones sanitarias del área y respondiendo a la idea de proximidad de los servicios a los usuarios. Sin embargo, no se conocen exactamente los criterios concretos ni cómo éstos han sido empleados para obtener la actual delimitación.

### 3.2 Estructura sanitaria en la Comunidad Valenciana

Como se ha introducido anteriormente, los departamentos de salud disponen de una dotación sanitaria encargada de proporcionar asistencia sanitaria, ya sea en el ámbito de la atención primaria o de la especializada como se muestra en la *Figura 6*.



*Figura 6: Asistencia sanitaria de los departamentos de salud.  
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Ministerio de Sanidad.*

El artículo 56.2 de la Ley 14/1986, de 25 de abril, General de Sanidad, perteneciente al *Capítulo III De las Áreas de Salud*, muestra las actividades que deberán desarrollar las diferentes Áreas de Salud.

La actividad propia de la **atención primaria** de salud se ejerce en los centros de salud o en los consultorios en los que se atiende al individuo, la familia y a la comunidad mediante fórmulas de trabajo en equipo. Se desarrolla mediante programas, funciones de promoción de la salud, prevención, curación y rehabilitación.

En el nivel de **atención especializada** que se realiza en los hospitales y en los centros de especialidades, se presta la atención de mayor complejidad a los problemas de salud. Se desarrollan las funciones propias de los hospitales.

Si se presta atención a la parte administrativa, es la *Conselleria de Sanitat i Salut Pública* la encargada de gestionar los recursos sanitarios asistenciales, tanto departamentales como subdepartamentales, de la Comunidad Valenciana. La *Figura 7* muestra la composición de estos recursos asistenciales.



*Figura 7: Estructura de la atención sanitaria en la Comunidad Valenciana.*  
*Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Sistema Sanitario Público Valenciano.*

El conjunto de todos estos centros, servicios, hospitales y unidades hace posible el correcto funcionamiento de la Sanidad que se disfruta en esta región.

### 3.3 Investigación Operativa: Problemas de asignación

La Investigación Operativa (IO), también conocida en inglés como *Operations Research (OR)* o *Management Science*, cuenta con multitud de definiciones a lo largo de los años desde su surgimiento al comienzo de la Segunda Guerra Mundial.

Para Morse y Kimball, la IO se trata de un **método científico** para proporcionar a los departamentos ejecutivos de una base cuantitativa para tomar decisiones con respecto a las operaciones bajo su control (Morse & Kimball, 1951).

Por otra parte, Assad, Wasil y Lilien (1992) se refieren a la IO como “una disciplina que aborda con el método científico la toma de decisiones o una profesión que implica

decidir la mejor forma de diseñar y operar de los sistemas, normalmente bajo condiciones que requieren la **asignación de recursos escasos**”.

Una definición más reciente es la proporcionada por Robinson (2000) afirmando que “la investigación de operaciones es la aplicación del método científico para **mejorar la efectividad de las operaciones, decisiones y gestión.**”

Para concluir con las definiciones y a modo de resumen, se va a hacer uso de la proporcionada por la *Operations Research Society of America* puesto que engloba las partes más destacadas de cada autor: “La IO se ocupa de **decidir científicamente** cómo diseñar y operar de la mejor forma posible los sistemas hombre-máquina generalmente en condiciones que requieren la asignación de **recursos escasos.**”

Se ha introducido la Investigación Operativa debido a que esta disciplina incluye el estudio de los problemas de asignación, parte fundamental en la elaboración de este TFG. La toma de decisiones sobre la asignación de recursos supone un gran impacto social y económico que hace más atractivo su estudio y resolución fomentando que hoy en día se trate de una gran área de investigación.

El objetivo de un problema de asignación consiste en encontrar la forma de destinar ciertos recursos disponibles a un determinado fin tratando de conseguir el menor coste posible. En este trabajo los recursos disponibles (centros de especialidades y centros sanitarios integrados) son limitados, puesto que construir un nuevo centro supone una inversión de dinero y tiempo que no se puede conseguir en el corto plazo. Por tanto, es la población de la provincia de Valencia la que tiene que ser asignada a alguno de los centros utilizando como pauta la distancia recorrida, asegurándose de que cada persona tiene un centro asignado.

### 3.4 Polígonos de Voronoi

Debido a la función propia de los centros de salud de dar servicio sanitario a la población, sería interesante que se acudiera a aquel que se encuentra más próximo al lugar de residencia. Además, se debería poner atención a la situación de cada centro para que la carga que soporta cada uno fuera similar. Es por estas características por lo que se hace tan interesante el uso de la geometría computacional y en concreto de los polígonos o diagramas de Voronoi.

Un diagrama de Voronoi para un conjunto  $S = \{p_1, \dots, p_n\}$  de puntos del plano es una partición del plano en  $n$  regiones poligonales convexas  $V_1, \dots, V_n$ , tal que para cada  $i$  todos los puntos de la región  $V_i$  están más cercanos a  $p_i$  que a cualquier otro punto (Mendoza, 2016). La nomenclatura utilizada queda reflejada en la *Figura 8*.

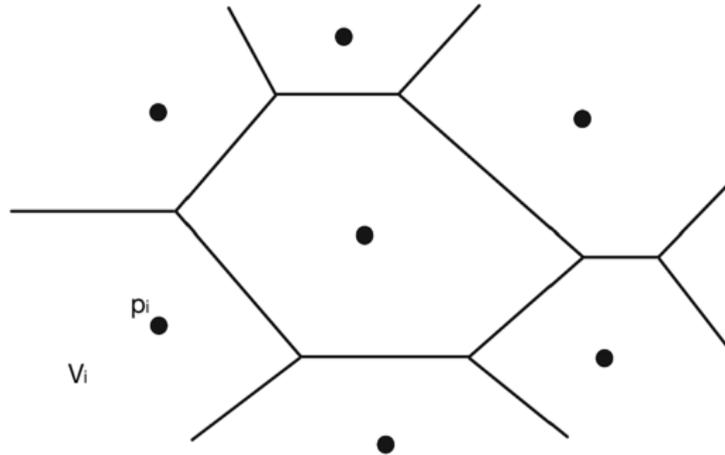


Figura 8: Representación diagrama de Voronoi.  
Fuente: Elaboración propia.

Se diferencian tres partes fundamentales dentro del diagrama de Voronoi:

- Polígono de Voronoi (del punto  $p_i$ ): Polígono convexo  $V_i$  que contiene al punto  $p_i$ . Un polígono convexo es aquel en el que cada uno de los ángulos interiores miden como máximo 180 grados o  $\pi$  radianes.
- Vértices de Voronoi: vértices del diagrama.
- Lados de Voronoi: segmentos de recta del diagrama.

Tras la observación del diagrama se puede llegar a las siguientes deducciones:

- Si se tiene un punto en  $p_i$ , entonces su vecino más próximo se encuentra en alguno de los polígonos de Voronoi adyacentes a  $V_i$ .
- Si se ordena en una lista cada punto  $p_i$  con su vecino más próximo, entonces podemos buscar en dicha lista el par de elementos de  $S$  más cercanos.

Esto permite el cálculo del vecino más próximo como se pretendía conseguir puesto que el diagrama de Voronoi se basa principalmente en la cercanía.

Un ejemplo para entender cómo se forma el diagrama es dejando caer piedras a un estanque de agua. El impacto de la piedra con el agua genera una onda a su alrededor. Allí donde las ondas que generan dos piedras coinciden se tienen los bordes del diagrama de Voronoi, lugares que son equidistantes de ambos lados. Por otra parte, cuando las ondas que originan tres piedras coinciden en un punto se conoce como vértices de Voronoi.

El diagrama de Voronoi más simple es el que comprende tan solo dos puntos. Para dividir el plano para ver qué punto será el más cercano se realiza la mediatriz del segmento  $[a, b]$ . Esta representación queda reflejada en la *Figura 9*.

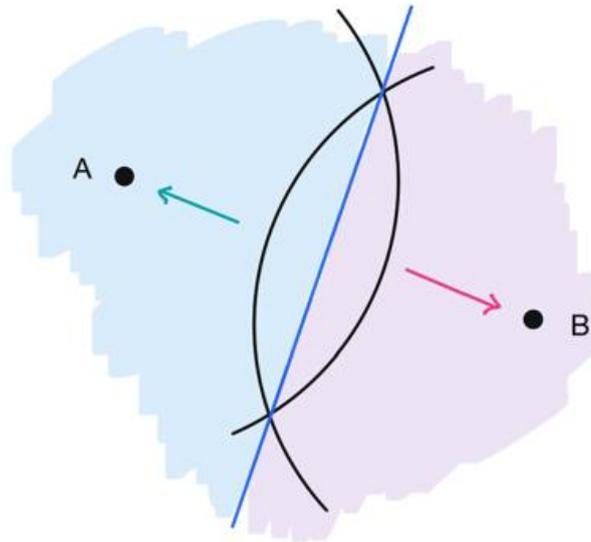


Figura 9: Diagrama de Voronoi de dos puntos.  
Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, la *Figura 10* muestra el proceso que se sigue cuando se tienen tres puntos. Para ello, se tiene que calcular la mediatriz que forma cada uno de los puntos con el resto.

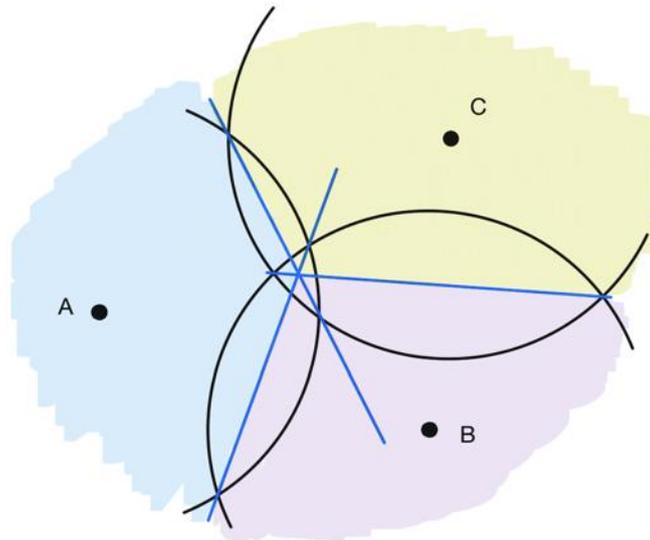


Figura 10: Diagrama de Voronoi de tres puntos.  
Fuente: Elaboración propia.

Si se trazara una circunferencia en el punto donde cruzan las tres mediatrices, se podría observar que en la circunferencia estarían inscritos los tres puntos como se puede apreciar en la *Figura 11*.

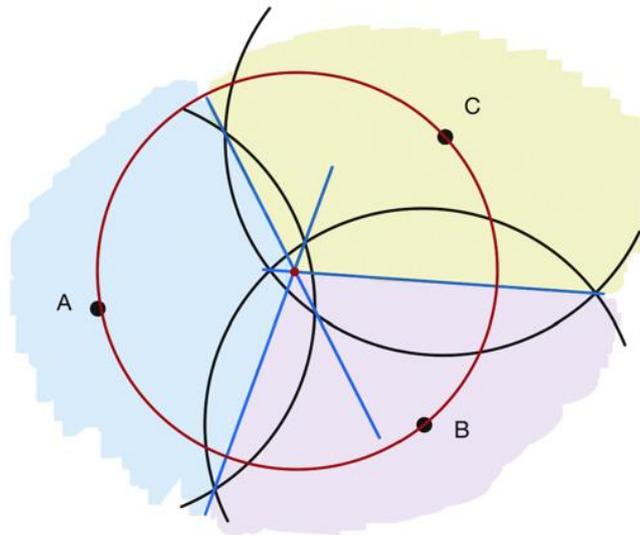


Figura 11: Circunferencia desde la intersección de las mediatrices.  
Fuente: Elaboración propia.

El centro de la circunferencia es equidistante a los tres puntos, esto es, independientemente del punto de partida (A, B o C) se va a recorrer la misma distancia hasta alcanzar el centro. Este punto central representa lo que se conoce como vértice de Voronoi.

Es preciso mencionar que la creación de los polígonos de Voronoi se basa en la distancia euclídea, que no considera ni la orografía ni la accesibilidad. Por tal razón, se tiene que diferenciar entre la distancia obtenida usando Voronoi y la distancia real.

### 3.5 Introducción al Software QGIS 3.16.16

Tal y como se ha comentado en la Introducción, el programa utilizado en este trabajo es el QGIS 3.16.16. Se trata de un Sistema de Información Geográfica (GIS) de código abierto compatible con GNU/Linux, Unix, Mac OS, Microsoft Windows y Android. Cuenta con Licencia Pública General (GNU) que garantiza la libertad al usuario de usar, compartir, estudiar y modificar el software. Es por ello por lo que se hace tan atractiva su utilización.

#### 3.5.1 Propiedades de los datos

Los datos utilizados en QGIS tienen principalmente dos propiedades (Cabrero Ortega & García Pérez, 2015):

- Geométricas: los datos se localizan en un lugar determinado, georreferenciados con unas coordenadas que permiten localizar líneas, puntos o polígonos.

- Información estadística o descriptiva: cada dato tiene asociada una matriz de datos con información de las variables que queda recogida en tablas de atributos.

Estos datos se almacenan en lo que se conoce como capas. Posteriormente, se podrán combinar, poniendo unas sobre otras, para modificar la visualización del mapa y poder analizar los datos que se necesitan.

### 3.5.2 Tipos de capas

Para trabajar en QGIS es recomendable tener en cuenta el tipo de capas que se pueden utilizar. Se va a hacer uso tanto de capas vectoriales como de tipo ráster.

Una capa vectorial está formada por datos geográficos, es decir, datos espaciales representados a través de coordenadas. Permite diferenciar tres tipos de datos: Puntos, Líneas (segmentos que unen dos puntos) y Polígonos (unión de varias líneas) (Cabrero Ortega & García Pérez, 2015).

Este tipo de capa se irá creando a medida que sea necesaria en la realización del trabajo como se mostrará en los siguientes apartados. Un ejemplo de su uso podría ser la localización de los hospitales en una determinada región.

Una capa ráster son matrices formadas por unos y ceros que se asocian con píxeles de color blanco y negro. Si se tienen otros dígitos además de unos y ceros es cuando también aparecerán otros colores. (Cabrero Ortega & García Pérez, 2015). Cada píxel simboliza una región geográfica, y el valor en ese píxel representa alguna característica de dicha región (Documentación de QGIS2.14, 2022).

Las capas ráster que se van a utilizar en este proyecto son la propia de Google Maps y la que recoge la distribución de la población en la península Ibérica proporcionada por *GHSL - Global Human Settlement Layer* de la Comisión Europea. La capa de Google Maps muestra imágenes de mapas que se pueden desplazar de la misma forma que cuando se realiza una búsqueda directamente en la aplicación Google Maps. La que recoge la distribución de la población tiene en cuenta la cantidad de habitantes que hay en cada lugar basándose en datos demográficos de 2019.

### 3.5.3 WGS 84/ Pseudo-Mercator

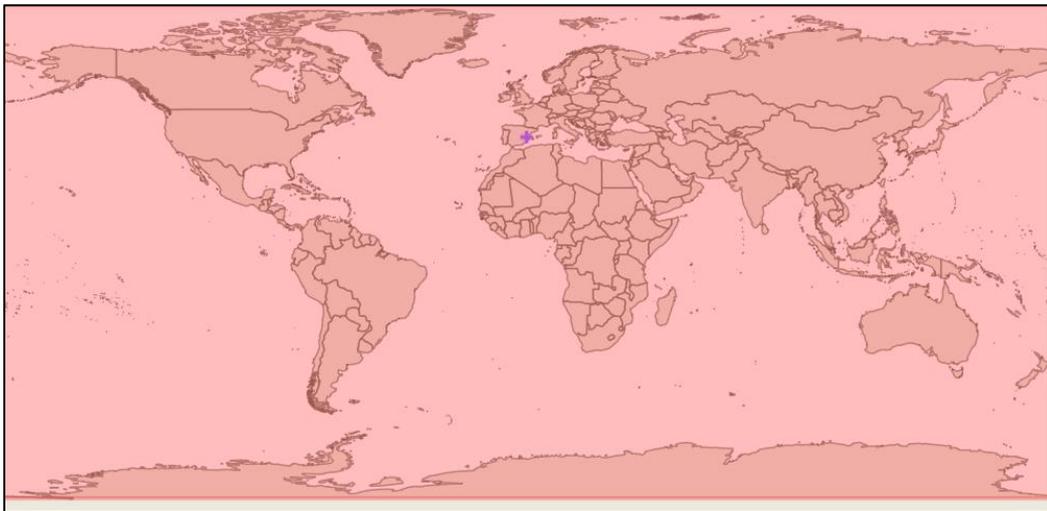
Puesto que QGIS es un software de información geográfica es importante tener en cuenta el Sistema de Referencia de Coordenadas (SRC) que utiliza.

Una proyección cartográfica muestra la superficie de la Tierra en dos dimensiones, es decir, para que pueda ser representada en una hoja de papel. No son representaciones

absolutamente exactas de la Tierra esférica, pues es imposible conservar todas las características.

Un SRC define con la ayuda de coordenadas, cómo las dos dimensiones del mapa proyectado se relacionan a ubicaciones reales de la Tierra (Documentación de QGIS2.14, 2022).

En este trabajo se va a utilizar como SRC el conocido WGS 84 / Pseudo-Mercator ya que este sistema de referencia se escoge por defecto al utilizar la capa tipo ráster de Google Maps. Se trata de una variante de la proyección esférica de Mercator muy utilizada en aplicaciones de mapas web. Se diferencian en que este SRC usa las fórmulas esféricas en todas las escalas, mientras que los mapas de Mercator a gran escala suelen utilizar la forma elipsoidal.



*Figura 12: Sistema de Referencia de Coordenadas WGS 84 / Pseudo-Mercator.  
Fuente: Software QGIS 3.16.16.*

Como se puede apreciar en la *Figura 12*, el WGS 84 / Pseudo-Mercator comprende la totalidad del territorio mundial. En este caso, al realizarse el trabajo en España, la localización queda marcada con una cruz morada en el centro de la representación.

### 3.6 Revisión bibliográfica

La asignación eficiente y eficaz de los recursos sanitarios ha sido y es motivo de interés de estudio por investigadores de todo el mundo. Así pues, diferentes autores a lo largo de los años han propuesto distintas metodologías para mejorar el uso que se les da a los recursos limitados que se tienen.

Holger Billhardt junto con otros investigadores de CETINIA, Centro de Investigación para las Tecnologías Inteligentes de la Información y sus Aplicaciones de la Universidad Rey Juan Carlos, y trabajadores del Servicio médico de emergencias SUMMA 112 Madrid han propuesto mecanismos que mejoran dinámicamente la dotación de las

ambulancias a los pacientes, así como la redistribución de las ambulancias disponibles de esta región. El propósito de este estudio es reducir la media de desplazamientos para de esta manera disminuir la mortalidad relacionada con los tiempos de viaje de las ambulancias a los pacientes de emergencia. Para ello, se ha hecho uso de la optimización geométrica proporcionada por **Voronoi** que permite escalar el problema teniendo en cuenta el número de ambulancias y su localización en cada momento. Los resultados confirman empíricamente que la propuesta reduce significativamente los tiempos de respuesta promedio de estos servicios de transporte (Billhardt, Lujak, Sánchez-Brunete, Fernández, & Ossowski, 2014).

Otro método para afrontar el problema de la localización de los vehículos de emergencia sanitaria (VES) y, consecuentemente del tiempo de espera, es el propuesto por Miguel Ángel Vecina y sus tutoras Eva Vallada y María Fulgencia Villa en su trabajo de Fin de Grado (Vecina García, 2020). Su principal objetivo era desarrollar una herramienta que permita obtener de forma rápida la mejor localización de los VES en la provincia de Valencia, haciendo un uso eficiente de los recursos y disminuyendo los tiempos de respuesta. Para ello, ha hecho uso de **isócronas**, que hace referencia al área o polígono definido por un conjunto de puntos a los cuales, desde un mismo origen, se tarda el mismo tiempo en llegar utilizando un medio de transporte. De esta manera, a través de un software de información geográfica se puede apreciar gráficamente cual sería el alcance que tendría un vehículo utilizando como criterio el tiempo de respuesta. También permite evaluar el cubrimiento del territorio por parte de la totalidad de los vehículos teniendo en cuenta los tiempos máximos estipulados de 12 minutos para SVA (Soporte Vital Avanzado) y de 15 para SVB (Soporte Vital Básico).

Resulta interesante apreciar los métodos utilizados ya que, como se ha comentado, el objetivo del problema que se quiere abordar se basa principalmente en reducir la distancia de los desplazamientos para así poder asignar los pacientes a los centros sanitarios más cercanos. Este reparto permite la creación de zonas o distritos donde sus habitantes acuden a un mismo centro. El problema es conocido en inglés como *districting problem (DP)* y consiste en agrupar a los pacientes en conjuntos más amplios de manera que estos distritos sean convenientes para ellos atendiendo ciertos criterios y características.

Roger Z. Ríos-Mercado profundiza en el campo de la optimización de distritos en la redacción de su libro: *Optimal Districting and Territory Design*. En concreto centra el capítulo 3 en los problemas de distritos en el ámbito de la salud y en la explicación de los modelos propuestos para su resolución. Clasifica estos problemas en tres áreas principales: servicios de atención domiciliaria, atención primaria y secundaria de la salud y servicios de atención médica de emergencia. Puesto que en este TFG se están estudiando los Centros de Especialidades y los Centros Sanitarios Integrados, se hace hincapié en el apartado relativo a la atención secundaria de la salud. La planificación de todo el sistema de atención médica en un área determinada implica decisiones como la ubicación de los puntos de servicio de atención médica, especificar a qué área

atenderá cada punto, establecer las capacidades, asignar los recursos, programar el personal, etc. La planificación efectiva de los servicios de atención médica ayudará a minimizar los costos, mejorar la utilización de la capacidad, aumentar la satisfacción del paciente debido al nivel de servicio, generar mejoras en la accesibilidad y garantizar la equidad dentro de la sociedad en términos de accesibilidad a los servicios de salud. Una de las dimensiones de planificación más importantes de los servicios de atención de la salud es el diseño de las regiones de los servicios sanitarios, donde la calidad del servicio es otro criterio importante, ya que el sistema está diseñado para el bienestar general de la población y para lograr un aumento en los niveles de satisfacción de los pacientes (Z. Ríos-Mercado, 2021).

## CAPÍTULO IV: CARACTERIZACIÓN Y RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA

Para poder abordar el problema, es necesario conocer cuáles son los componentes a tener en cuenta. En este capítulo se presentan estos elementos poniendo especial atención a la obtención por diferentes métodos de la población de los departamentos de salud. Además, la realización de los polígonos de Voronoi de cada centro permite una nueva asignación de la población que se comparará con la utilizada en la actualidad.

### 4.1 Elementos del problema

Para abordar este problema es imprescindible conocer el número de departamentos de salud en la provincia de Valencia, el tipo de centro sanitario que se va a analizar y la cantidad de población perteneciente a cada departamento.

#### 4.1.1 Departamentos de salud en la provincia de Valencia

Como este trabajo se centra en la provincia de Valencia, se van a tener en cuenta tan solo los departamentos de salud que pertenecen a este territorio. En la *Figura 13* queda remarcada la provincia de Valencia, pudiendo observar los departamentos que forman parte de esta.

1. Departamento de Salud de Gandía.
2. Departamento de Salud de La Ribera.
3. Departamento de Salud de Manises.
4. Departamento de Salud de Requena.
5. Departamento de Salud de Sagunto.
6. Departamento de Salud de Valencia – Arnau de Vilanova - Liria.
7. Departamento de Salud de Valencia – Clínico La Malvarrosa.
8. Departamento de Salud de Valencia – Doctor Peset.
9. Departamento de Salud de Valencia – Hospital General.
10. Departamento de Salud de Valencia – La Fe.
11. Departamento de Salud de Xàtiva – Ontinyent

Para el análisis de los datos cabe destacar que un sector de población de la provincia de Castellón también pertenece al departamento de Salud de Sagunto por lo que habrá que diferenciar entre los pacientes de ambas provincias. También es importante tener en cuenta que a cada departamento de salud le corresponde como mínimo un hospital y dependiendo del tamaño variará número de centros de especialidades (CE) o centros sanitarios integrados (CSI).



Figura 13: Provincia de Valencia remarcada sobre los departamentos de salud de la C. Valenciana.  
Fuente: Elaboración propia a partir del mapa de los departamentos de salud.

#### 4.1.2 Centros de Especialidades y de los Centros Sanitarios Integrados

En la realización de este trabajo se van a tener en cuenta tan solo los centros de especialidades y los centros sanitarios integrados.

Los centros de especialidades se corresponden con recursos sanitarios donde se concentran la mayoría de las consultas de las diferentes especialidades médicas (SESCAM, 2022). Por otra parte, los centros sanitarios integrados son centros de salud pertenecientes a un hospital en los cuales también se han añadido consultas de especialidades médicas, pero en menor cantidad que en los centros de especialidades.

Los centros sanitarios integrados cuentan con una extensa cartera de servicios que incluye tanto prestaciones propias del ámbito de la Atención Primaria como de la especializada, pudiendo prestar atención de hospitalización de corta estancia y atención quirúrgica de cirugía mayor ambulatoria (Generalitat Valenciana, 2007).

Se conoce que los centros de especialidades están gestionados por la Generalitat Valenciana mientras que los centros sanitarios integrados están adscritos al hospital correspondiente de cada departamento. En el caso del Departamento de Salud del Hospital General, los CSI quedan adscritos al Hospital General Universitario (CHGUV, 2022) cuya gestión corre a cargo de la Diputación Provincial.

Una vez conocidos cuáles son los departamentos sanitarios en los que se divide la provincia de Valencia, se tiene que conocer el número de CE y CSI correspondientes a cada uno. Para salvaguardar el anonimato se denominará cada centro real con las iniciales del departamento al que pertenecen junto con las letras del abecedario. Por ejemplo, el departamento de Salud de Gandía está compuesto por dos CSI y un CE que se corresponden con *Ga*, *Gb* y *Gc* respectivamente.

| Departamento                                 |     | N.º CE | Letra | N.º CSI | Letra         |
|--|-----|--------|-------|---------|---------------|
| <b>Gandía</b>                                | G   | 1      | a     | 2       | b, c          |
| <b>La Ribera</b>                             | LR  | 1      | a     | 4       | b, c, d, e    |
| <b>Manises</b>                               | M   | 2      | a, b  | 1       | c             |
| <b>Requena</b>                               | R   | 0      |       | 0       |               |
| <b>Sagunto</b>                               | S   | 1      | a     | 0       |               |
| <b>Valencia – Arnau de Vilanova – Lliria</b> | VAL | 1      | a     | 2       | b, c          |
| <b>Valencia – Clínico La Malvarrosa</b>      | VMA | 2      | a, b  | 0       |               |
| <b>Valencia – Doctor Peset</b>               | VDP | 1      | a     | 0       |               |
| <b>Valencia – Hospital General</b>           | VHG | 0      |       | 5       | a, b, c, d, e |
| <b>Valencia – La Fe</b>                      | VLf | 2      | a, b  | 0       |               |
| <b>Xàtiva – Ontinyent</b>                    | XO  | 2      | a, b  | 0       |               |

*Tabla 1: Número de CE y CSI para cada departamento de salud en la provincia de Valencia.  
Fuente: Elaboración propia.*

En el caso de Requena, se puede apreciar que no tiene ni centro de especialidades ni centro sanitario integrado. Por otra parte, el departamento de salud de Sagunto cuenta con un CE y un CSI, pero este CSI no se encuentra en la provincia de Valencia por lo que no se tendrá en cuenta.

En total, la provincia de Valencia cuenta con 13 CE y 14 CSI, por lo que la población queda repartida entre 27 centros.

#### 4.1.3 Población cubierta por departamento de salud

También es importante conocer el número de personas que pertenecen a cada departamento de salud. La posesión de estos datos permite averiguar qué departamentos son los más y menos poblados y, de esta manera, entender las características que lo provocan.

Esta información se puede obtener de la memoria de Gestión 2019 (Sanitat GVA, 2019) en el apartado: Población SIP por departamento de salud.

| Departamento                          |     | Población asignada |
|---------------------------------------|-----|--------------------|
| Gandía                                | G   | 177.754            |
| La Ribera                             | LR  | 259.746            |
| Manises                               | M   | 207.215            |
| Requena                               | R   | 51.489             |
| Sagunto                               | S   | 152.999            |
| Valencia – Arnau de Vilanova – Llíria | VAL | 319.787            |
| Valencia – Clínico La Malvarrosa      | VMA | 345.762            |
| Valencia – Doctor Peset               | VDP | 279.561            |
| Valencia – Hospital General           | VHG | 364.017            |
| Valencia – La Fe                      | VLF | 288.530            |
| Xàtiva – Ontinyent                    | XO  | 194.513            |

Tabla 2: Población SIP asignada a cada departamento de salud de la provincia de Valencia.  
Fuente: Elaboración propia.

En el caso de Sagunto, debido a la falta de información para conocer el número de personas que provienen de la provincia de Castellón, se ha calculado el porcentaje de individuos que pertenecen al departamento de Sagunto en la provincia de Valencia. Para ello, se ha consultado en el Instituto Nacional de Estadística (INE) el censo de cada una de las localidades que componen este departamento de salud, diferenciándolas por la provincia a la que pertenecen como se observa en la *Figura 14*.

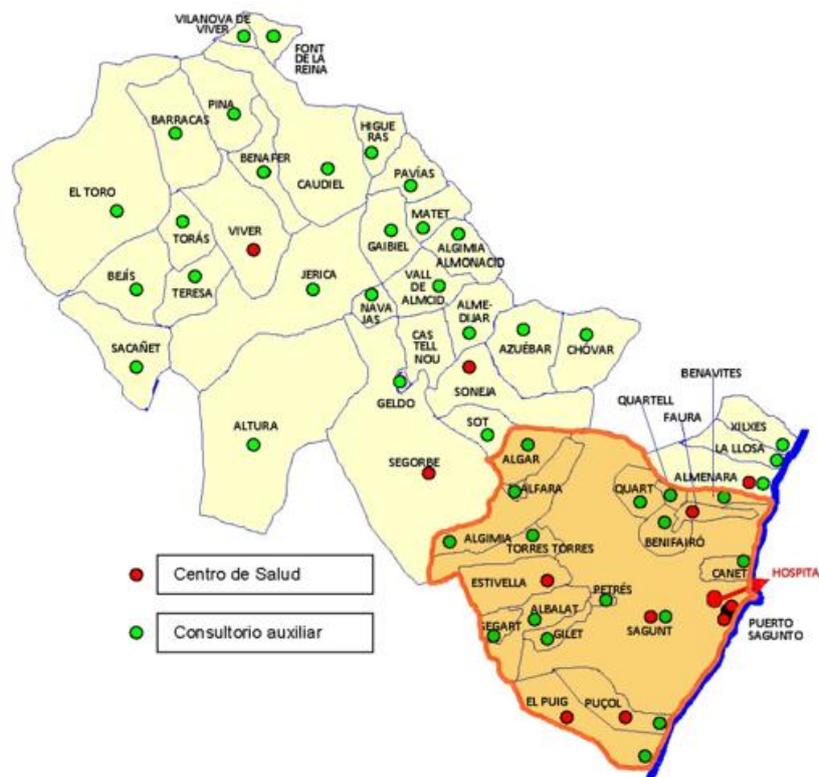


Figura 14: Parte del departamento de salud de Sagunto perteneciente a la provincia de Valencia.  
Fuente: Elaboración propia a partir del mapa del departamento de Sagunto.

Conocidos los límites entre las provincias en este departamento, se agrupan las localidades en dos grupos de acuerdo con la provincia a la que forman parte: Departamento de Sagunto - Valencia y de Sagunto - Castellón.

| Departamento Sagunto - Valencia |                |
|---------------------------------|----------------|
| Albalat dels Tarongers          | 1.232          |
| Alfara de la Baronia            | 557            |
| Algar de Palancia               | 481            |
| Algímia d'Alfara                | 1.011          |
| Benavites                       | 619            |
| Benifairó de les Valls          | 2.186          |
| Canet d'En Berenguer            | 6.697          |
| Estivella                       | 1.456          |
| Faura                           | 3.538          |
| Gilet                           | 3.324          |
| Petrés                          | 997            |
| Puçol                           | 19.495         |
| Puig de Santa Maria, el         | 8.630          |
| Quart de les Valls              | 988            |
| Quartell                        | 1.636          |
| Sagunto/Sagunt                  | 66.140         |
| Segart                          | 163            |
| Torres Torres                   | 637            |
| <b>Total</b>                    | <b>119.787</b> |

| Departamento Sagunto - Castellón |               |
|----------------------------------|---------------|
| Algimia de Almonacid             | 263           |
| Almedíjar                        | 254           |
| Altura                           | 3.528         |
| Azuébar                          | 315           |
| Barracas                         | 162           |
| Bejís                            | 380           |
| Benafer                          | 152           |
| Castellnovo                      | 917           |
| Caudiel                          | 664           |
| Chóvar                           | 288           |
| Gaibiel                          | 188           |
| Geldo                            | 635           |
| Higueras                         | 54            |
| Jérica                           | 1.548         |
| Matet                            | 84            |
| Navajas                          | 716           |
| Pavías                           | 61            |
| Pina de Montalgrao               | 111           |
| Sacañet                          | 67            |
| Segorbe                          | 8.978         |
| Soneja                           | 1.447         |
| Sot de Ferrer                    | 415           |
| Teresa                           | 242           |
| Torás                            | 223           |
| Toro, El                         | 256           |
| Vall de Almonacid                | 269           |
| Viver                            | 1.536         |
| Almenara                         | 5.998         |
| Chilches/Xilxes                  | 2.679         |
| Fuente la Reina                  | 52            |
| Llosa, la                        | 951           |
| Villanueva de Viver              | 61            |
| <b>Total</b>                     | <b>33.494</b> |

|                      |                |
|----------------------|----------------|
| <b>Total Sagunto</b> | <b>153.281</b> |
|----------------------|----------------|

|                  |               |
|------------------|---------------|
| <b>Castellón</b> | <b>21,85%</b> |
| <b>Valencia</b>  | <b>78,15%</b> |

Tabla 3: Porcentaje de la población que pertenece a cada provincia en el departamento de salud de Sagunto.  
Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en la Tabla 3, una vez introducido el censo de cada localidad se suman todos los habitantes en cada uno de los grupos, obteniendo posteriormente el total de la población comprendida en el territorio que engloba el departamento de salud de Sagunto. Para conseguir el porcentaje de población que habita en cada provincia hay que dividir la población obtenida para cada grupo entre la población total del departamento.

Obtenidos ambos porcentajes, ya se puede calcular la población SIP asignada al departamento de Sagunto teniendo en cuenta que se está analizando la provincia de Valencia. Se trataría del 78,15% de 152.999, logrando un valor redondeado de 119.567 individuos.

| Departamento                                 |     | Población asignada |
|--|-----|--------------------|
| <b>Gandía</b>                                | G   | 177.754            |
| <b>La Ribera</b>                             | LR  | 259.746            |
| <b>Manises</b>                               | M   | 207.215            |
| <b>Requena</b>                               | R   | 51.489             |
| <b>Sagunto</b>                               | S   | 119.567            |
| <b>Valencia – Arnau de Vilanova – Lliria</b> | VAL | 319.787            |
| <b>Valencia – Clínico La Malvarrosa</b>      | VMA | 345.762            |
| <b>Valencia – Doctor Peset</b>               | VDP | 279.561            |
| <b>Valencia – Hospital General</b>           | VHG | 364.017            |
| <b>Valencia – La Fe</b>                      | VLF | 288.530            |
| <b>Xàtiva – Ontinyent</b>                    | XO  | 194.513            |

*Tabla 4: Población SIP asignada a cada departamento de salud en la provincia de Valencia.  
Fuente: Elaboración propia.*

## 4.2 Población asignada a cada departamento de salud utilizando QGIS

El mismo proceso anterior se realiza utilizando el programa QGIS mediante una capa vectorial en la que quedan recogidos los departamentos de salud de la provincia de Valencia.

En la *Figura 15* se muestra la provincia de Valencia junto con la totalidad del departamento de Sagunto en un color rosado. Si se presta atención se pueden distinguir las fronteras de cada departamento incluida la parte del departamento de Sagunto que pertenece a la provincia de estudio.



| Departamento                                 | Población asignada |         |
|--|--------------------|---------|
| <b>Gandía</b>                                | G                  | 179.223 |
| <b>La Ribera</b>                             | LR                 | 257.451 |
| <b>Manises</b>                               | M                  | 199.639 |
| <b>Requena</b>                               | R                  | 51.701  |
| <b>Sagunto</b>                               | S                  | 116.619 |
| <b>Valencia – Arnau de Vilanova – Lliria</b> | VAL                | 338.890 |
| <b>Valencia – Clínico La Malvarrosa</b>      | VMA                | 310.027 |
| <b>Valencia – Doctor Peset</b>               | VDP                | 281.624 |
| <b>Valencia – Hospital General</b>           | VHG                | 322.186 |
| <b>Valencia – La Fe</b>                      | VLf                | 256.913 |
| <b>Xàtiva – Ontinyent</b>                    | XO                 | 199.275 |

*Tabla 5: Población asignada a cada departamento de salud en la provincia de Valencia utilizando QGIS.  
Fuente: Elaboración propia.*

Como anteriormente se ha comentado, el departamento de Sagunto tiene la particularidad de que engloba a habitantes de la provincia de Valencia y de la provincia de Castellón. En total atendería a un total de 152.344 personas de las cuales 35.725 pertenecen a la provincia de Castellón.

Esta vez no ha sido necesario utilizar los porcentajes de la población que pertenece a cada provincia; ya que, al delimitar la zona indicada del departamento de Sagunto, el software es capaz de calcular estos datos directamente.

Puesto que los cálculos que se van a realizar a lo largo del trabajo van a ser utilizando el software de QGIS, se van a tomar los datos mostrados en la *Tabla 5* como referencia. Esto se debe a que, al utilizar la misma capa ráster durante toda la elaboración del trabajo, los valores obtenidos sí que podrán ser comparables.

Estos valores de población también representan la asignación actual de personas a los CE y CSI. Pese a que no se puede diferenciar la población que acude a cada centro, son estos datos los que se comparan con la asignación obtenida haciendo uso de Voronoi.

### 4.3 Población asignada a cada polígono de Voronoi utilizando QGIS

En este apartado comienza la propuesta que se realiza para la asignación de la población a los centros (Ce y CSI). La división del territorio se va a realizar mediante diagramas de Voronoi y utilizando el programa QGIS es posible delimitar la zona del territorio en la que se quiere prestar atención utilizando una capa vectorial. En este caso, como ya se ha comentado, se trata de la provincia de Valencia.

A continuación, se procede a introducir en el mapa todos aquellos centros de especialidades y centros sanitarios integrados que anteriormente se han enumerado. Para ello, se crea otra capa vectorial de puntos en la que cada punto representa a uno de los centros.

Como se puede apreciar los centros se encuentran distribuidos principalmente en la ciudad de Valencia y en las localidades próximas a ésta. En el resto de los departamentos los centros se encuentran cercanos a la costa. Esto se puede deber a que en estas zonas de la provincia se concentra una mayor densidad de población.

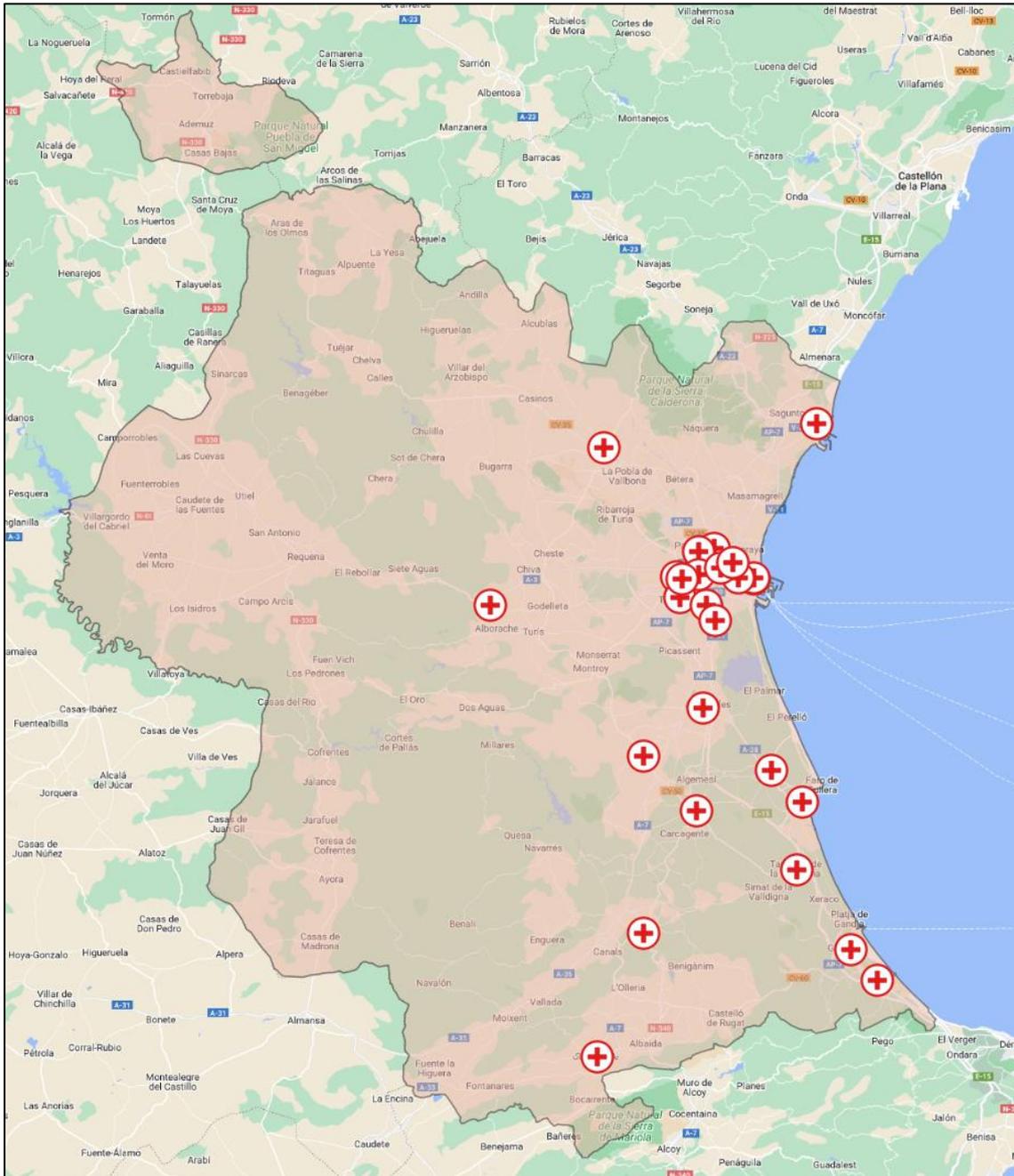


Figura 16: Localización de los centros de especialidades y centros sanitarios integrados en la provincia de Valencia. Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo del polígono de Voronoi de los diferentes centros se hará uso de las herramientas de geometría proporcionadas por el programa QGIS. Una vez seleccionado el Polígono de Voronoi se define la capa de entrada que en este caso se corresponde a aquella en las que están localizados cada uno de los centros. Tras un

pequeño ajuste en los colores, se puede apreciar de manera más visual cómo sería el reparto de los centros teniendo en cuenta tan solo la distancia euclídea.

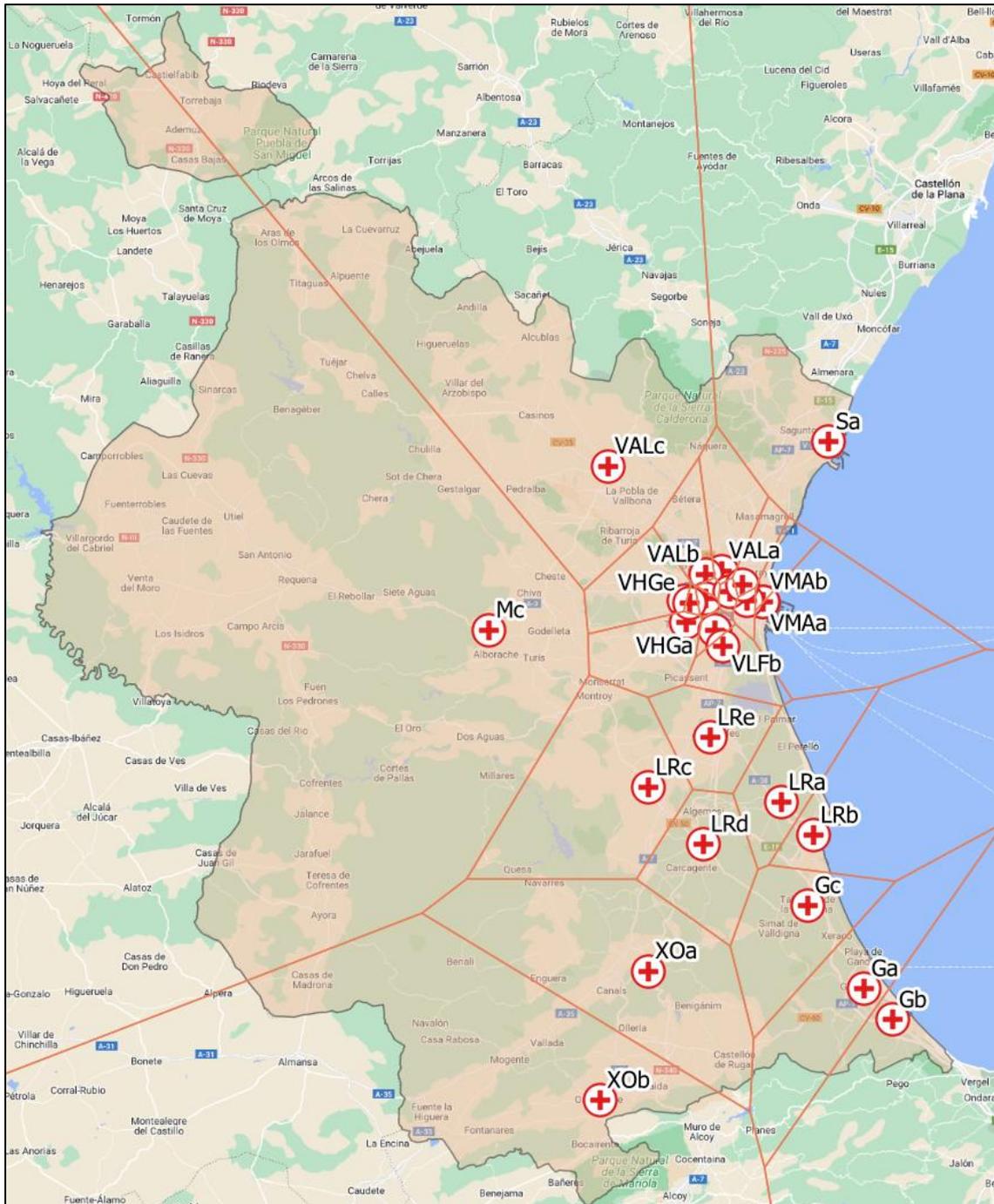


Figura 17: Diagrama de Voronoi de los CE y CSI de la provincia de Valencia.  
Fuente: Elaboración propia.

Como anteriormente se ha comentado, en la ciudad de Valencia o alrededor de ésta hay una mayor densidad de CE y CSI. Es por ello, por lo que para apreciar cómo se está realizando el reparto del territorio en estos centros se necesita una captura más detallada.

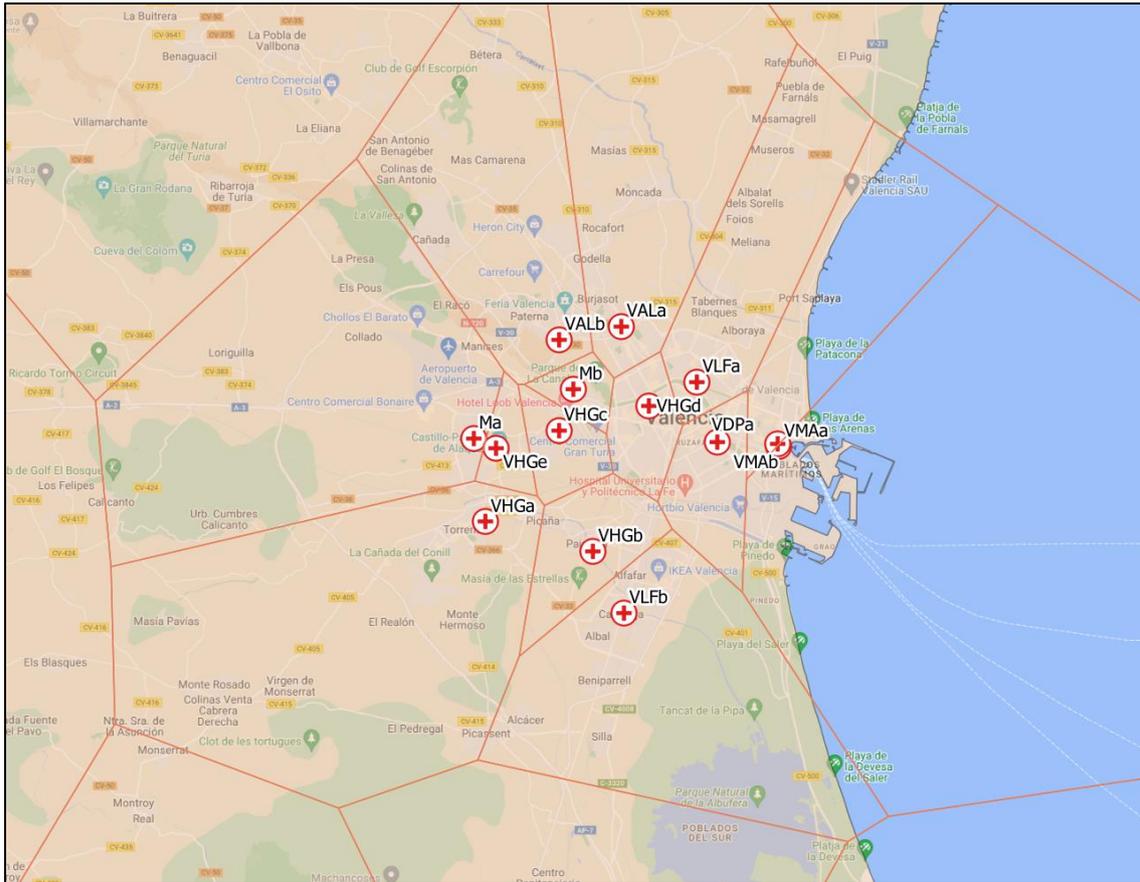


Figura 18: Diagrama de Voronoi de los CE y CSI centrado en la ciudad de Valencia.  
Fuente: Elaboración propia.

Debido a la proximidad entre los centros *VMAa* y *VMAB*, sería recomendable una captura ampliada en la que se aprecie los límites de los polígonos de cada centro.

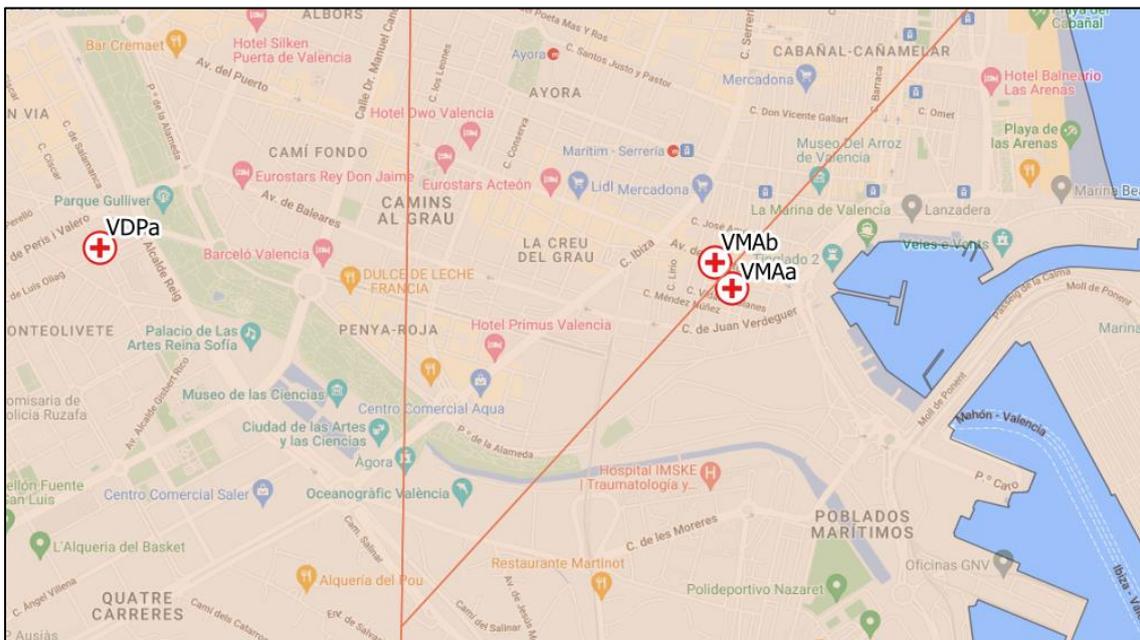


Figura 19: Diagrama de Voronoi correspondiente a *VMAa* y *VMAB* en la ciudad de Valencia.  
Fuente: Elaboración propia.

Para conocer la cantidad de población que le correspondería a cada uno de los centros es necesario crear una nueva capa en la que la provincia de Valencia quede dividida por los polígonos de Voronoi anteriormente conseguidos. Para ello, se va a utilizar la herramienta para cortar que está incluida dentro de las herramientas de geoprocreso. Como capa de entrada se utiliza la capa de Voronoi y como capa de superposición aquella en la que aparece delimitada la provincia de Valencia.

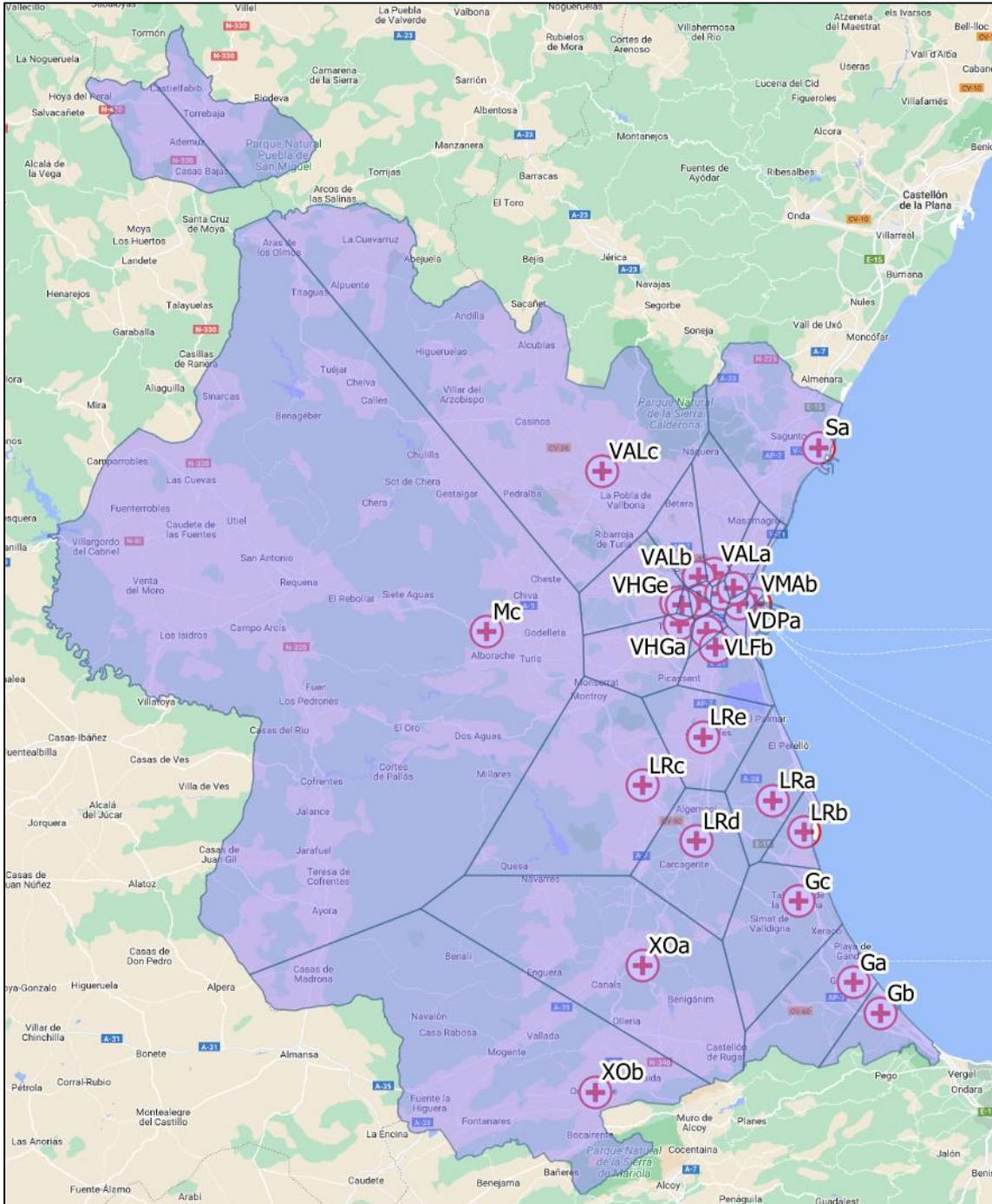


Figura 20: Departamentos de salud a partir de los polígonos de Voronoi en la provincia de Valencia.  
Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente, se hace uso de la capa tipo ráster que recoge la distribución de la población en la península Ibérica. Gracias a la capa que se tiene de la provincia de Valencia cortada por los polígonos de Voronoi, se va a poder conocer la cantidad de personas que habitan en cada uno de estos territorios aplicando estadísticas de zona, algoritmo que calcula las estadísticas de una capa ráster para cada entidad de una capa vectorial de polígono superpuesta. Una vez obtenidos los resultados, se ha utilizado el redondeo, ya que los valores obtenidos contenían decimales y por su naturaleza deben ser enteros positivos.

A los nuevos departamentos de salud se les denomina Polígonos. Estos Polígonos están formados por los polígonos de Voronoi de cada uno de los centros que componen los departamentos de salud. Tomando como ejemplo Gandía, su Polígono queda formado por la suma de los polígonos pertenecientes a *Ga*, *Gb* y *Gc*.

| Polígono                                     | Centro | Población |              |         |
|--|--------|-----------|--------------|---------|
| <b>Gandía</b>                                | Ga     | 109.328   | <b>Total</b> | 179.279 |
|  | Gb     | 35.508    |              |         |
|  | Gc     | 34.443    |              |         |
| <b>La Ribera</b>                             | LRa    | 53.717    | <b>Total</b> | 292.119 |
|  | LRb    | 23.939    |              |         |
|  | LRc    | 61.162    |              |         |
|  | LRd    | 106.222   |              |         |
|  | LRe    | 47.079    |              |         |
| <b>Manises</b>                               | Ma     | 117.278   | <b>Total</b> | 266.790 |
|  | Mb     | 52.712    |              |         |
|  | Mc     | 96.800    |              |         |
| <b>Sagunto</b>                               | Sa     | 115.295   | <b>Total</b> | 115.295 |
| <b>Valencia – Arnau de Vilanova – Llíria</b> | VALa   | 158.863   | <b>Total</b> | 400.701 |
|  | VALb   | 123.444   |              |         |
|  | VALc   | 118.394   |              |         |
| <b>Valencia – Clínico La Malvarrosa</b>      | VMAa   | 113.719   | <b>Total</b> | 209.282 |
|  | VMAb   | 95.563    |              |         |
| <b>Valencia – Doctor Peset</b>               | VDPa   | 161.565   | <b>Total</b> | 161.565 |
| <b>Valencia – Hospital General</b>           | VHGa   | 91.799    | <b>Total</b> | 369.182 |
|  | VHGb   | 73.842    |              |         |
|  | VHGb   | 47.006    |              |         |
|  | VHGb   | 133.557   |              |         |
|  | VHGe   | 22.978    |              |         |
| <b>Valencia – La Fe</b>                      | VLFa   | 192.798   | <b>Total</b> | 321.849 |
|  | VLfb   | 129.051   |              |         |
| <b>Xàtiva – Ontinyent</b>                    | XOa    | 126.927   | <b>Total</b> | 197.055 |
|  | XOb    | 70.128    |              |         |

Tabla 6: Población asignada a cada centro y Polígono aplicando los polígonos de Voronoi.  
Fuente: Elaboración propia.

## 4.4 Comparación entre los departamentos de salud y los Polígonos

Para poder analizar los resultados obtenidos y dado que hay información de los centros que no se puede conocer, se va a asumir que la capacidad de todos los centros es la misma, es decir, son homogéneos en cuanto a capacidad asistencial.

Para que ambos modelos sean comparables se van a utilizar los valores de la población por departamento sanitario en 2019 obtenidos usando QGIS, puesto que si se utilizaran los obtenidos del INE no se estarían aplicando los mismos criterios y por lo tanto no se podrían obtener conclusiones del análisis.

Debido a la propia definición de los polígonos de Voronoi en la que se busca reducir la distancia que hay que desplazarse, lo que se pretende con esta solución es maximizar la comodidad de las personas. Prima el individualismo a costa de aumentar la probabilidad de tener centros cargados.

### 4.4.1 Error cuadrático medio de la población asignada

Con el fin de comparar ambos modelos se va a hacer uso del error cuadrático medio de la población que está destinada a cada centro. El propósito de este apartado es medir la desviación de las propuestas con respecto a una situación ideal con igualdad de carga para cada centro. Por consiguiente, el propósito del análisis es comprobar si la solución alcanzada es justa o igualitaria.

El error cuadrático medio (ECM) de un estimador mide el promedio de los errores al cuadrado, es decir, la diferencia entre el estimador y lo que se estima.

$$ECM = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{p}_i - p_i)^2}{n}$$

En este caso como estimador se tiene a la población que acude a cada centro, CE y CSI, dentro de un mismo departamento de salud. Este valor no se especifica en la página web de la Conselleria de Sanitat de la Generalitat Valenciana, por lo que se no se puede conocer la asignación a cada centro. En consecuencia, se supone que el número de personas que acuden a cada centro es el mismo. Teniendo en cuenta el número de habitantes destinados a un mismo departamento se tendrá que repartir a partes iguales entre la cantidad de centros que tiene cada departamento.

Pese a que cuando se realizan los polígonos de Voronoi es fácil conocer cuántos habitantes acuden a cada centro, para poder comparar ambas soluciones se va a usar el mismo procedimiento.

Por otra parte, lo que se estima o el valor que se quiere alcanzar es el resultado de la asignación en partes iguales de los habitantes de la provincia de Valencia a cada uno de los centros.





La *Tabla 9* informa cómo los departamentos de salud, representados en cada una de las columnas, forman los Polígonos que han sido creados haciendo uso de los polígonos de Voronoi, visibles en cada una de las filas.

Para comprender mejor el mecanismo que se ha seguido para la creación de la tabla se van a tener en cuenta los siguientes ejemplos:

- El Polígono de Gandía, G, queda formado por 175.175 personas que provienen del Dpto. de salud de Gandía, 1.448 aportadas por el Dpto. de La Ribera y 2.661 por el de Xàtiva-Ontinyent. En total contaría con 179.284 individuos.
  
- El Polígono de La Fe, VLF, se constituye a partir de 146.252 personas que provienen del Dpto. de salud de La Fe, 20.477 aportadas por el Dpto. del Hospital General, 39.832 por el Dpto. Dr. Peset, 114.618 por el Dpto. de La Malvarrosa y finalmente 963 por el Dpto. de Sagunto. Sumaría un total de 322.142 individuos.

En conclusión, aquellos departamentos que se encuentran más próximos a la ciudad de Valencia sufrirán una mayor transferencia de la población. Esto es debido a que la densidad de la población en esta zona es significativamente superior al resto del territorio, por lo que un pequeño cambio en los límites del departamento provoca un cambio notable en la población asignada y, por tanto, lo que pierde y gana cada departamento al formar los Polígonos.

|                |                | Transferencia de la población |                |               |                |                |                |                |                |                |                |         | Total   | Voronoi | Dif. | Error   |
|----------------|----------------|-------------------------------|----------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------|---------|---------|------|---------|
|                |                | G                             | LR             | M             | R              | S              | VAL            | VMA            | VDP            | VHG            | VLf            | XO      |         |         |      |         |
| Polígono       | G              | 175.175                       | 1.448          |               |                |                |                |                |                |                |                | 2.661   | 179.284 | 179.279 | 5    | 0,0028% |
|                | LR             | 16                            | 252.646        |               |                |                |                |                |                | 12.166         | 20.201         | 7.116   | 292.145 | 292.119 | 26   | 0,0089% |
|                | M              |                               |                | 166.529       | 51.562         |                | 16.801         |                |                | 28.663         | 2.747          |         | 266.302 | 266.790 | 488  | 0,1829% |
|                | S              |                               |                |               |                | 114.279        |                | 1.016          |                |                |                |         | 115.295 | 115.295 | 0    | 0%      |
|                | VAL            |                               |                | 15.898        |                | 1.378          | 322.089        | 19.642         |                |                |                | 41.735  | 400.742 | 400.701 | 41   | 0,0102% |
|                | VMA            |                               |                |               |                |                |                | 153.281        | 56.001         |                |                |         | 209.282 | 209.282 | 0    | 0%      |
|                | VDP            |                               |                |               |                |                |                | 21.470         | 127.858        | 1.581          | 10.641         |         | 161.550 | 161.565 | 15   | 0,0093% |
|                | VHG            |                               |                | 17.213        |                |                |                |                | 57.933         | 259.300        | 35.338         |         | 369.784 | 369.182 | 602  | 0,1631% |
|                | VLf            |                               |                |               |                | 963            |                | 114.618        | 39.832         | 20.477         | 146.252        |         | 322.142 | 321.849 | 293  | 0,0910% |
|                | XO             | 4.032                         | 3.357          |               | 139            |                |                |                |                |                |                | 189.498 | 197.026 | 197.055 | 29   | 0,0147% |
| <b>Total</b>   | <b>179.223</b> | <b>257.451</b>                | <b>199.640</b> | <b>51.701</b> | <b>116.620</b> | <b>338.890</b> | <b>310.027</b> | <b>281.624</b> | <b>322.187</b> | <b>256.914</b> | <b>199.275</b> |         |         |         |      |         |
| <b>Depart.</b> | <b>179.223</b> | <b>257.451</b>                | <b>199.639</b> | <b>51.701</b> | <b>116.619</b> | <b>338.890</b> | <b>310.027</b> | <b>281.624</b> | <b>322.186</b> | <b>256.913</b> | <b>199.275</b> |         |         |         |      |         |
| <b>Dif.</b>    | <b>0</b>       | <b>0</b>                      | <b>1</b>       | <b>0</b>      | <b>1</b>       | <b>0</b>       | <b>0</b>       | <b>0</b>       | <b>1</b>       | <b>1</b>       | <b>0</b>       |         |         |         |      |         |
| <b>Error</b>   | <b>0%</b>      | <b>0%</b>                     | <b>0,0005%</b> | <b>0%</b>     | <b>0,0009%</b> | <b>0%</b>      | <b>0%</b>      | <b>0%</b>      | <b>0,0003%</b> | <b>0,0004%</b> | <b>0%</b>      |         |         |         |      |         |

Tabla 9: Transferencia de la población de cada departamento de salud para formar los Polígonos.  
Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, se debe de prestar especial atención al error que se produce en la contabilización a casusa de la estimación de la población a los diferentes polígonos. Para encontrar la población que aporta cada departamento de salud al Polígono de Voronoi se estima la población que contiene cada parte del polígono en su interior al igual que ha sucedido anteriormente en el cálculo de la población del Polígono de Voronoi entero.

La columna *Total* muestra la suma de las contribuciones que hacen los distintos departamentos de salud para formar los Polígonos. Esta suma se compara con el valor de la población obtenido en el apartado 4.3, es decir, cuando se tiene la provincia de Valencia dividida en polígonos de Voronoi. Así pues, el error es el porcentaje que forma el valor absoluto de la diferencia respecto al total de la población asignada cuando se crean estos Polígonos.

Como se puede apreciar, la diferencia obtenida es nula en algunos casos llegando hasta un valor de 602 individuos. Además, el máximo error que se comete es de un 0,1829% por lo que la diferencia es prácticamente insignificante respecto a la población asignada a cada Polígono.

Por otra parte, la fila *Total* muestra el recuento de población que pertenece a cada uno de los departamentos de salud. Esta suma se compara con la obtenida en el apartado 4.2, donde la capa vectorial que muestra la provincia de Valencia queda dividida por departamentos de salud.

En este caso la diferencia obtenida es cero o uno. En consecuencia, los valores que se han obtenido de error son nulos o prácticamente nulos, siendo el valor más elevado 0,0009%. Se puede considerar que cada departamento de salud ha transferido la totalidad de su población asignada a la creación de los Polígonos.

## CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Una manera de comprobar si la nueva asignación es más eficaz y eficiente que la que se tiene en la actualidad es tener en cuenta la distancia que tendrían que recorrer los pacientes hasta su centro más cercano y las características de la población que formaría cada uno de los Polígonos.

### 5.1 Análisis de la distancia

La accesibilidad y alcance de la población a los centros sanitarios es esencial para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo sostenible en los próximos años. Por esta razón se considera importante prestar atención a la distancia que tienen que recorrer los pacientes hasta llegar a su centro más cercano. Para ello, se va a hacer uso de las muestras que previamente se han generado de cada uno de los departamentos de la provincia de Valencia

Debido a que se quiere conseguir la distancia real, es necesario instalar un complemento en el programa QGIS que permita realizar los cálculos. Esta extensión denominada *ORS Tools* incluye el enrutamiento, el uso de isócronas y cálculos matriciales, ya sea de forma interactiva utilizando el mapa o en archivos generados. En los archivos de salida se establecen muchos atributos entre los que se incluyen la duración, longitud y lugares de inicio y finalización. Para el análisis tan solo se van a tener en cuenta los valores de distancia y de tiempo máximo y medio de cada centro.

El inconveniente que muestra esta extensión es que tan solo permite la generación de 3500 rutas como máximo. Esto causa que aquellos polígonos de mayor área no puedan ser cubiertos de la misma manera que los de tamaño más reducido.

El primer paso que se tiene que realizar para calcular esta distancia máxima es conocer dónde se encuentra la población, ya que no se reparte de forma uniforme por el territorio de la provincia de Valencia. Para ello, se ha hecho uso de una capa vectorial que contiene una categorización de la diferente tipología geográfica, facilitando la elección de los lugares de residencia. Se han escogido aquellas zonas en las que el tejido urbano es continuo o discontinuo junto con las zonas industriales o comerciales. Por tanto, la superficie que se tiene en cuenta para desarrollar el trabajo se reduce considerablemente como se puede apreciar, con un color más intenso, en la *Figura 21*.



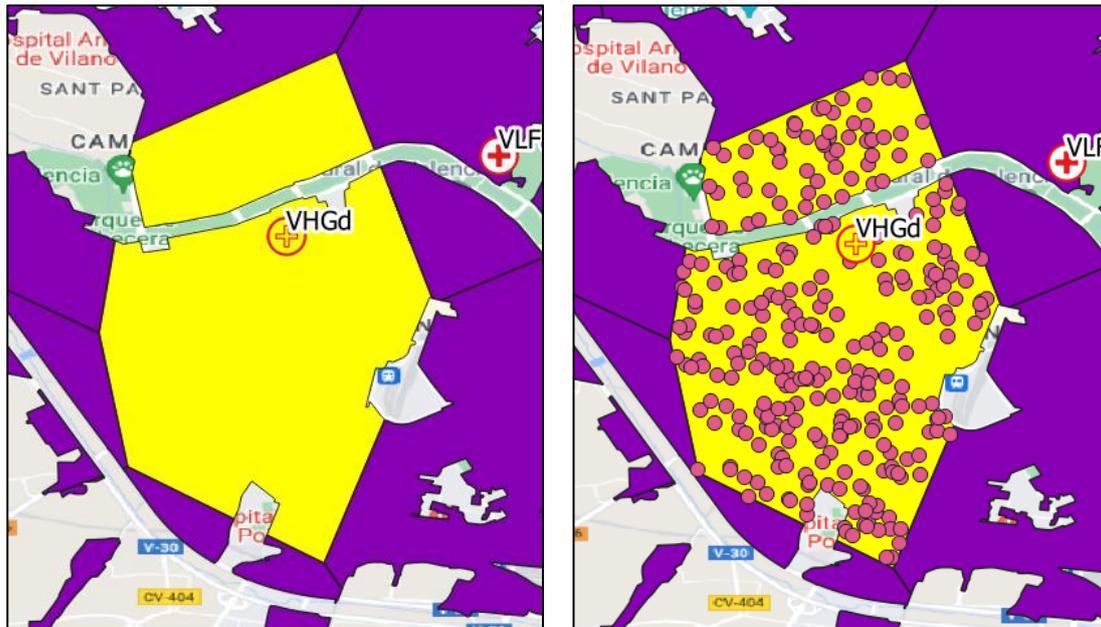


Figura 22: a) Polígono de VHGd junto con el Centro Sanitario Integrado correspondiente. b) Puntos aleatorios en el interior del polígono de VHGd  
 Fuente: Elaboración propia.

Para explicar el proceso que se ha seguido en la obtención de los diferentes parámetros se va a utilizar como ejemplo uno de los Centros Sanitarios Integrados del Hospital General de Valencia. Para ello, es necesario seleccionar el centro y el polígono de Voronoi correspondiente que como se puede apreciar en la *Figura 22 a)* están marcados en color amarillo.

Para la introducción de los puntos de forma aleatoria se ha hecho uso de otra herramienta conocida como *Point Sampling Tool*. Esta herramienta que proporciona QGIS crea una nueva capa solo de puntos sobre aquellos polígonos en los que se requiera. En la *Figura 22 b)* se han introducido 300 puntos en el interior del polígono de VHGd. Estos puntos se seleccionan como punto de partida, representando posibles ubicaciones de pacientes, y como destino se introduce el CSI. De esta manera, utilizando la herramienta *ORS Tools* se obtienen los valores de los parámetros

Teniendo en cuenta este proceso y repitiéndolo para cada uno de los centros que se han considerado en el trabajo, se obtiene la *Tabla 10* donde aparece la distancia máxima, mínima y media de la misma forma que lo hace el tiempo. Las unidades utilizadas son los kilómetros en el caso de la distancia y las horas para el tiempo.

Siguiendo con el ejemplo de VHGd, la distancia máxima que tendría que recorrer una persona desde su residencia hasta el CSI es de 4,680 km y por término medio cada paciente realizaría un trayecto de 2,493 km. Por otra parte, si se presta atención al tiempo transcurrido, el tiempo máximo sería de 0,152 horas (9,12 minutos) y por término medio cada individuo pasaría 0,085 horas (5,1 minutos) en el trayecto.

|                         |     |      | Distancia (km) |        |        | Tiempo (h) |        |       |
|-------------------------|-----|------|----------------|--------|--------|------------|--------|-------|
|                         |     |      | máxima         | mínima | media  | máximo     | mínimo | medio |
| Departamento<br>Voronoi | G   | Ga   | 17,782         | 0,516  | 6,027  | 0,357      | 0,028  | 0,170 |
|                         |     | Gb   | 10,870         | 0,562  | 5,234  | 0,269      | 0,026  | 0,141 |
|                         |     | Gc   | 40,372         | 0,327  | 10,383 | 0,653      | 0,022  | 0,239 |
|                         | LR  | LRa  | 22,270         | 0,201  | 6,028  | 0,484      | 0,012  | 0,140 |
|                         |     | LRb  | 8,857          | 0,002  | 3,206  | 0,237      | 0,000  | 0,088 |
|                         |     | LRc  | 53,366         | 0,472  | 12,199 | 0,989      | 0,031  | 0,295 |
|                         |     | LRd  | 30,941         | 0,390  | 5,817  | 0,526      | 0,026  | 0,192 |
|                         |     | LRe  | 24,844         | 0,304  | 4,909  | 0,474      | 0,018  | 0,134 |
|                         | M   | Ma   | 28,335         | 0,391  | 11,466 | 0,571      | 0,020  | 0,248 |
|                         |     | Mb   | 8,881          | 0,010  | 1,795  | 0,164      | 0,000  | 0,054 |
|                         |     | Mc   | 122,248        | 0,104  | 33,778 | 1,572      | 0,006  | 0,481 |
|                         | S   | Sa   | 26,689         | 0,291  | 9,366  | 0,434      | 0,012  | 0,200 |
|                         | VAL | VALa | 29,887         | 0,231  | 12,405 | 0,606      | 0,012  | 0,283 |
|                         |     | VALb | 19,650         | 0,131  | 8,567  | 0,385      | 0,009  | 0,207 |
|                         |     | VALc | 129,715        | 0,323  | 12,200 | 1,790      | 0,022  | 0,243 |
|                         | VMA | VMAa | 11,369         | 0,120  | 4,345  | 0,213      | 0,008  | 0,126 |
|                         |     | VMAB | 19,653         | 0,114  | 6,151  | 0,344      | 0,004  | 0,136 |
|                         | VDP | VDPa | 7,506          | 0,204  | 2,915  | 0,209      | 0,007  | 0,090 |
|                         | VHG | VHGa | 25,325         | 0,325  | 8,936  | 0,473      | 0,022  | 0,237 |
|                         |     | VHGb | 7,706          | 0,114  | 2,362  | 0,206      | 0,004  | 0,071 |
|                         |     | VHGC | 11,028         | 0,010  | 2,329  | 0,216      | 0,001  | 0,081 |
|                         |     | VHGD | 4,680          | 0,169  | 2,493  | 0,152      | 0,011  | 0,085 |
|                         |     | VHGe | 7,825          | 0,043  | 1,652  | 0,205      | 0,003  | 0,074 |
|                         | VLF | VLFa | 19,000         | 0,148  | 7,549  | 0,340      | 0,003  | 0,176 |
|                         |     | VLFb | 16,296         | 0,264  | 4,972  | 0,388      | 0,018  | 0,123 |
|                         | XO  | XOa  | 32,415         | 0,159  | 12,822 | 0,614      | 0,009  | 0,276 |
|                         |     | XOb  | 49,566         | 0,236  | 8,810  | 0,684      | 0,016  | 0,191 |

Tabla 10: Distancia y tiempo para acudir a cada CE o CSI.  
Fuente: Elaboración propia.

Este análisis no se puede concluir debido a que con la distribución por departamentos de salud no se conoce cómo queda repartida la población en cada CE o CSI. Es por ello por lo que se va a hacer un estudio de aquellos lugares en los que se produce un cambio en el centro asignado al utilizar los polígonos de Voronoi.

En un primer ejemplo se tiene el caso de la urbanización la Vall d'Aigües Vives marcada con un punto azul en la *Figura 23*. Si se trabaja con los departamentos de salud, esta urbanización pertenece al departamento de La Ribera (LR). Por el contrario, si se utilizan los Polígonos corresponde al Polígono de Gandía (G).

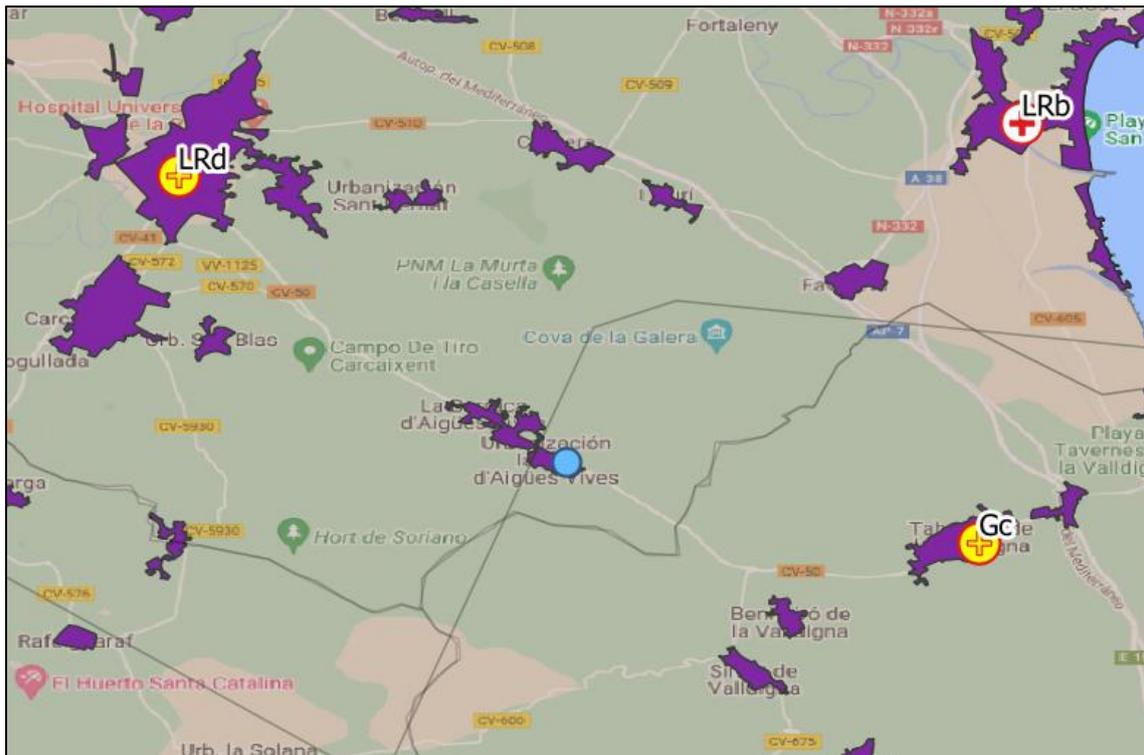


Figura 23: Punto crítico y los centros Gc y LRd con sus respectivos departamentos de salud y Polígonos.  
Fuente: Elaboración propia.

Se seleccionan aquellos centros sanitarios que se ven afectados por el cambio del criterio de asignación. A continuación, haciendo uso de la herramienta anteriormente introducida *ORS Tools*, se consiguen los valores de la duración y de la distancia mostrados en la *Tabla 11*.

| Desde      | Hasta      | Distancia (km) | Duración (h) |
|------------|------------|----------------|--------------|
| Punto azul | <b>Gc</b>  | 9,9296         | 0,2151       |
| Punto azul | <b>LRd</b> | 10,7245        | 0,2619       |

Tabla 11 Distancia y duración desde Gc y LRd hasta el punto azul.  
Fuente: Elaboración propia.

Como cabía esperar dada la definición de los polígonos de Voronoi, al utilizar los Polígonos disminuye la distancia y el tiempo que necesita una persona hasta alcanzar su centro sanitario de referencia. Actualmente la distancia que tiene que recorrer es de 10,7245 km mientras que si se hiciera uso de los Polígonos se reduciría a 9,9296 km.

En un segundo ejemplo, el punto azul queda ubicado sobre la Masía Pavías tal y como se muestra en la *Figura 24*. Si se trabaja con los departamentos de salud, esta masía pertenece al departamento de Manises (M). Por el contrario, si se utilizan los Polígonos corresponde al Polígono de Valencia - Hospital General (VHG).

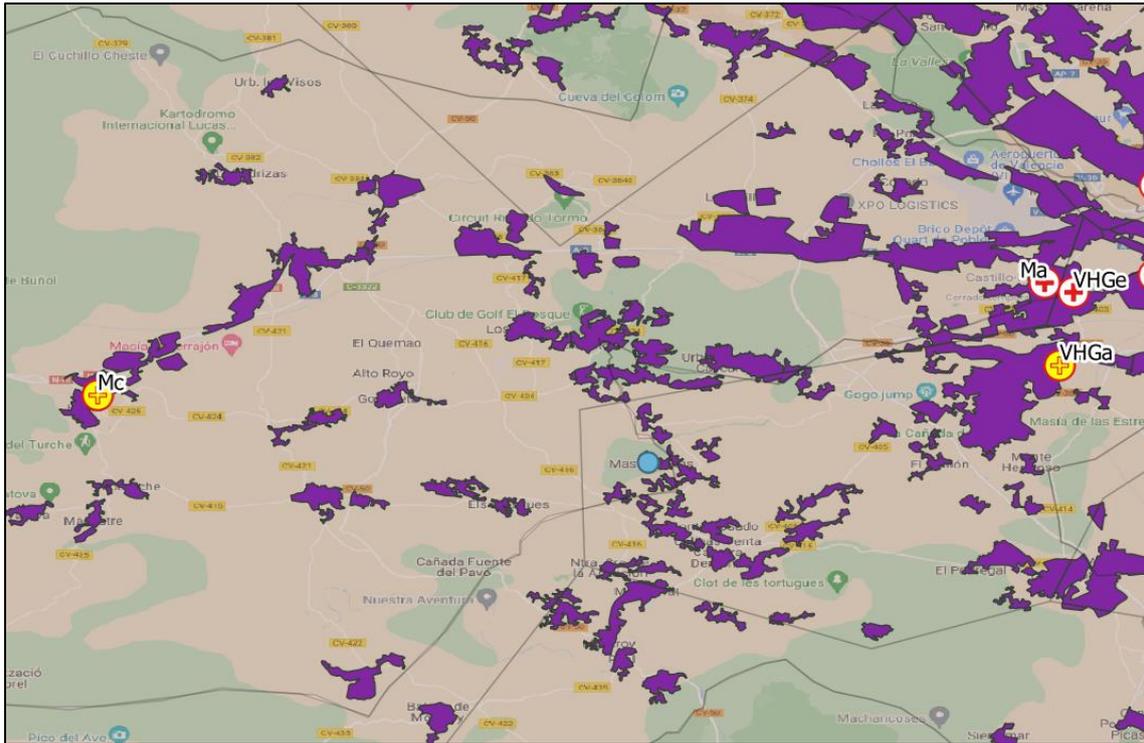


Figura 24: Punto crítico y los centros *Mc* y *VHGa* con sus respectivos departamentos de salud y Polígonos.  
Fuente: Elaboración propia.

El procedimiento de obtención de los valores de distancia y tiempo es idéntico que en el ejemplo anterior. Se seleccionan los centros de *Mc* y *VHGa* y se consiguen los resultados obtenidos en la *Tabla 12*.

| Desde      | Hasta       | Distancia (km) | Duración (h) |
|------------|-------------|----------------|--------------|
| Punto azul | <b>Mc</b>   | 22,7334        | 0,4256       |
| Punto azul | <b>VHGa</b> | 18,2958        | 0,4216       |

Tabla 12 Distancia y duración desde *Mc* y *VHGa* hasta el punto azul.  
Fuente: Elaboración propia.

Pese a que el tiempo transcurrido en el trayecto es similar, la distancia recorrida es significativamente inferior en el caso de acudir al centro *VHGa* siendo de 18,2598 km. Si se acude a *Mc* como determina la utilización de departamentos de salud, esta distancia aumentará a 22,7334 km.

Un tercer y último ejemplo tiene la localización en Puebla Larga señalada con un punto azul en la *Figura 25*. Si se trabaja con los departamentos de salud, este municipio pertenece al departamento de Xàtiva – Ontinyent (XO). Por el contrario, si se utilizan los Polígonos corresponde al Polígono de La Ribera (LR).

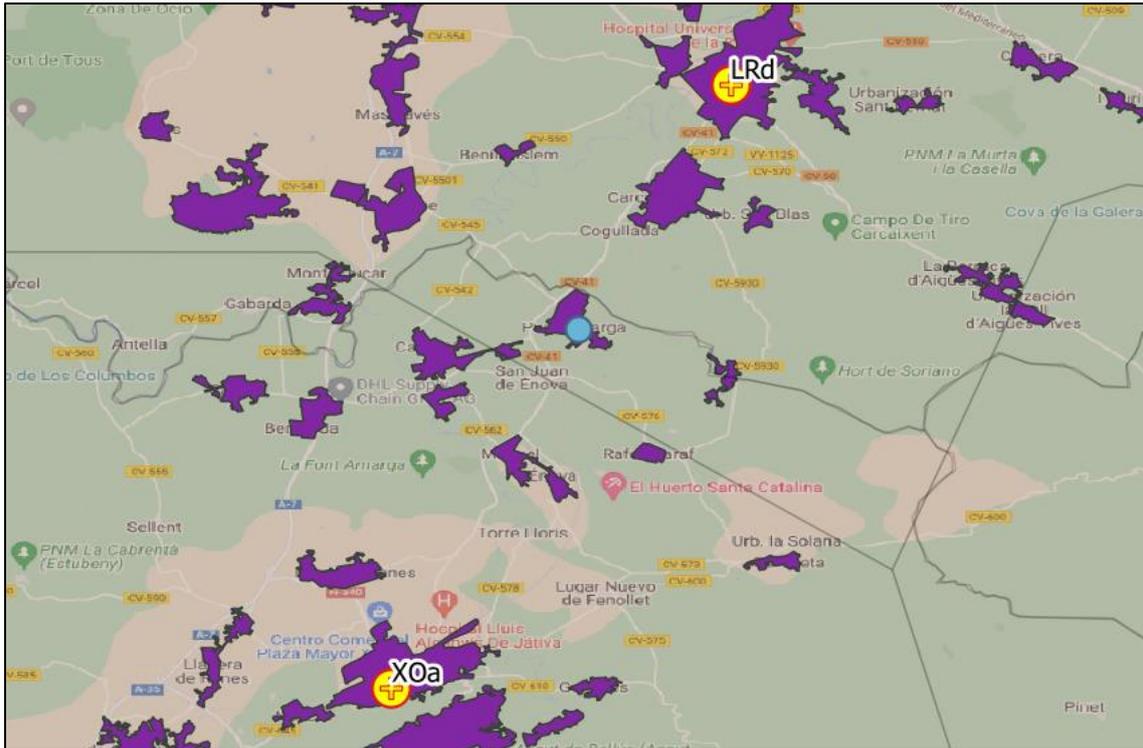


Figura 25: Punto crítico y los centros XOa y LRd con sus respectivos departamentos de salud y Polígonos.  
Fuente: Elaboración propia.

Siguiendo el mismo proceso que en los casos anteriores se obtienen los datos de distancia y tiempo indicados en la *Tabla 13*.

| Desde      | Hasta      | Distancia (km) | Duración (h) |
|------------|------------|----------------|--------------|
| Punto azul | <b>LRd</b> | 10,5860        | 0,3110       |
| Punto azul | <b>XOa</b> | 14,2542        | 0,3374       |

Tabla 13 Distancia y duración desde XOa y LRd hasta el punto azul.  
Fuente: Elaboración propia.

De nuevo, el valor de la distancia correspondiente al Polígono de La Ribera es inferior al propio del departamento de salud. Estos valores son de 10,5860 km y de 14,2542 km respectivamente.

Se concluye que en aquellas poblaciones en las que se produce un cambio en el centro asignado al utilizar los polígonos de Voronoi, la distancia que tienen que recorrer sus habitantes hasta alcanzar el centro sanitario cuando se utilizan los diagramas de Voronoi es inferior que cuando se hace uso de los departamentos de salud actuales.

## 5.2 Análisis de la población

Para poder apreciar cómo afecta la nueva distribución de la población a los centros sanitarios (CE y CSI), se va a contemplar el índice que marca el envejecimiento y la pirámide de edades de cada uno de los Polígonos.

### 5.2.1 Índice de envejecimiento

Este índice se trata del porcentaje que representa la población mayor de 64 años sobre la población menor de 16 años en un año en concreto. En este caso se va a analizar el correspondiente al año 2019. A partir de las tablas del Anexo II podemos extraer el índice de envejecimiento para cada uno de los departamentos.

| Departamento                                 |     | Ind. Envejecimiento |
|--|-----|---------------------|
| <b>Gandía</b>                                | G   | 127,62%             |
| <b>La Ribera</b>                             | LR  | 120,48%             |
| <b>Manises</b>                               | M   | 109,55%             |
| <b>Requena</b>                               | R   | 183,38%             |
| <b>Sagunto</b>                               | S   | 134,44%             |
| <b>Valencia – Arnau de Vilanova – Llíria</b> | VAL | 98,43%              |
| <b>Valencia – Clínico La Malvarrosa</b>      | VMA | 128,95%             |
| <b>Valencia – Doctor Peset</b>               | VDP | 143,90%             |
| <b>Valencia – Hospital General</b>           | VHG | 123,19%             |
| <b>Valencia – La Fe</b>                      | VLF | 116,56%             |
| <b>Xàtiva – Ontinyent</b>                    | XO  | 137,90%             |

*Tabla 14: Índice de envejecimiento de los departamentos de salud de la provincia de Valencia.  
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Dirección General de Planificación, Eficiencia Tecnológica y Atención al Paciente.*

Si se contempla la población de la Comunidad Valenciana en su conjunto, este índice tendría un valor medio porcentual del 126,25%.

Debido a que los índices vienen dados en porcentajes, se hace conveniente transformar en unidades porcentuales la composición de los Polígonos para tener en cuenta qué parte proviene de cada uno de los departamentos de salud. Se va a considerar que la reasignación de esta población se va a realizar de forma homogénea, ya que no se pueden conocer las características que tienen los individuos que cambian de departamento.

El procedimiento que se ha seguido para la elaboración de la *Tabla 15* se va a detallar a través de un ejemplo. El Polígono de Gandía está compuesto en un 97,71% por personas asignadas al departamento de salud de Gandía, un 0,81% provienen del Dpto. de La Ribera y un 1,48% del de Xàtiva-Ontinyent. La población asignada a este Polígono es de 179.284 personas, equivalente al 100%.

|                     |     | Transferencia de la población |         |         |         |         |        |         |         |         |         | Total   | Ind. Mod |         |         |
|---------------------|-----|-------------------------------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
|                     |     | G                             | LR      | M       | R       | S       | VAL    | VMA     | VDP     | VHG     | VLF     |         |          | XO      |         |
| Polígono            | G   | 97,71%                        | 0,81%   |         |         |         |        |         |         |         |         | 1,48%   | 100%     | 127,71% |         |
|                     | LR  | 0,01%                         | 86,48%  |         |         |         |        |         |         |         | 4,16%   | 6,91%   | 2,44%    | 100%    | 120,75% |
|                     | M   |                               |         | 62,53%  | 19,36%  |         |        | 6,31%   |         |         | 10,76%  | 1,03%   |          | 100%    | 124,68% |
|                     | S   |                               |         |         |         | 99,12%  |        | 0,88%   |         |         |         |         |          | 100%    | 134,39% |
|                     | VAL |                               |         | 3,97%   |         | 0,34%   | 80,37% | 4,90%   |         |         |         | 10,41%  |          | 100%    | 102,38% |
|                     | VMA |                               |         |         |         |         |        | 73,24%  | 26,76%  |         |         |         |          | 100%    | 132,95% |
|                     | VDP |                               |         |         |         |         |        | 13,29%  | 79,14%  | 0,98%   | 6,59%   |         |          | 100%    | 139,91% |
|                     | VHG |                               |         | 4,65%   |         |         |        |         | 15,67%  | 70,12%  | 9,56%   |         |          | 100%    | 125,17% |
|                     | VLF |                               |         |         |         | 0,30%   |        | 35,58%  | 12,36%  | 6,36%   | 45,40%  |         |          | 100%    | 124,82% |
|                     | XO  | 2,05%                         | 1,70%   |         | 0,07%   |         |        |         |         |         |         |         | 96,18%   | 100%    | 137,42% |
| Ind. Envejecimiento |     | 127,62%                       | 120,48% | 109,55% | 183,38% | 134,44% | 98,43% | 128,95% | 143,90% | 123,19% | 116,56% | 137,90% |          |         |         |

Tabla 15: Composición porcentual de los Polígonos por los departamentos de salud de la provincia de Valencia.  
Fuente: Elaboración propia.

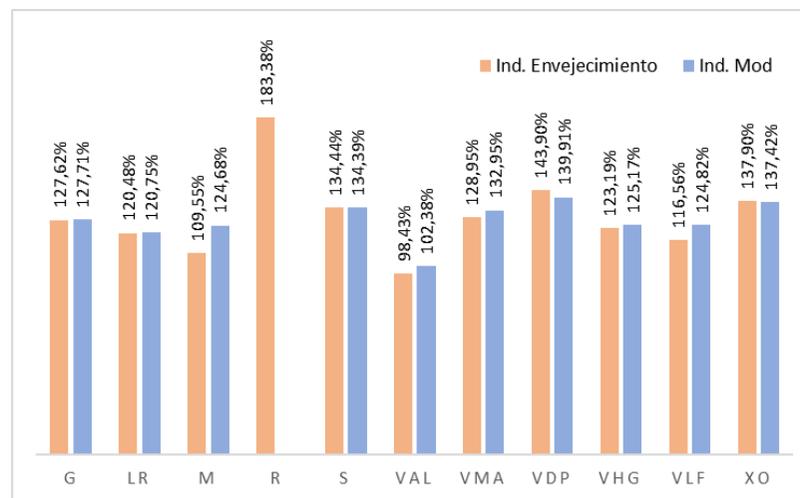


Figura 26: Índices de envejecimiento de los departamentos de salud y de los Polígonos.  
Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo del índice modificado se ha realizado la suma ponderada de los índices de envejecimiento por el peso que tiene cada departamento de salud en la composición de los Polígonos. Se van a hacer uso de varios ejemplos para poder comprender de forma más clara cómo se ha realizado.

- Índice de envejecimiento del Polígono Valencia – Hospital General:

$$Ind\ mod_{VHG} = 4,65\% * 109,55\% + 15,67\% * 143,9\% + 70,12\% * 123,19\% \\ + 9,56\% * 116,56\%$$

$$Ind\ mod_{VHG} = 125,1\%$$

- Índice de envejecimiento del Polígono Valencia – La Fe

$$Ind\ mod_{VLF} = 0,30\% * 134,44\% + 35,58\% * 128,95\% + 12,36\% * 143,9\% \\ + 6,36\% * 123,19\% + 45,4\% * 116,56\%$$

$$Ind\ mod_{VLF} = 124,82\%$$

Como se ha comentado lo largo del trabajo, el departamento de Requena desaparece cuando se crean los Polígonos. De esta manera, el efecto que tiene la asignación de la población de este departamento a los Polígonos sobre los índices de envejecimiento se puede visualizar en la *Figura 26*. En color naranja queda representado el índice de los departamentos de salud y en color azul el obtenido para los Polígonos.

El departamento de Requena tiene el índice de envejecimiento más elevado, de un 183,38%, por lo que, al ser absorbido prácticamente en su totalidad por el Polígono de Manises, hace que el índice de este Polígono aumente considerablemente pasando a alcanzar un 124,68%. Cabe destacar que el índice del departamento de Requena se diluye entre diferentes Polígonos consiguiendo mantener valores próximos a la media de la Comunidad.

En el resto de los Polígonos se mantiene prácticamente el valor o se producen ligeros cambios en comparación con los índices de sus respectivos departamentos de salud. Estos cambios vienen dados por la composición de los Polígonos que, al estar formados por diferentes departamentos de salud, se ven afectados por las características de la población que habita en cada uno de ellos. Este hecho provoca que el envejecimiento en la provincia de Valencia sea más similar en todos los Polígonos y, por tanto, una mayor proximidad a la media.

Para comprobar este hecho se va a hacer uso de nuevo del error cuadrático medio (ECM) ya que el propósito del análisis es analizar si la solución alcanzada es justa o igualitaria. Esta vez lo que se estima o el valor que se quiere alcanzar es el índice medio porcentual de la Comunidad Valenciana, correspondiente a un 126,25%. Este valor se compara con cada uno de los índices de envejecimiento en el caso de los departamentos de salud y los índices modificados cuando se hace uso de los Polígonos para obtener la diferencia cuadrática.

|     | Ind. Envejecimiento | Dif. cuadrática | Ind. Mod | Dif. Cuadrática |
|-----|---------------------|-----------------|----------|-----------------|
| G   | 127,62%             | 0,02%           | 127,71%  | 0,02%           |
| LR  | 120,48%             | 0,33%           | 120,75%  | 0,30%           |
| M   | 109,55%             | 2,79%           | 124,68%  | 0,02%           |
| R   | 183,38%             | 32,64%          |          |                 |
| S   | 134,44%             | 0,67%           | 134,39%  | 0,66%           |
| VAL | 98,43%              | 7,74%           | 102,38%  | 5,70%           |
| VMA | 128,95%             | 0,07%           | 132,95%  | 0,45%           |
| VDP | 143,90%             | 3,12%           | 139,91%  | 1,87%           |
| VHG | 123,19%             | 0,09%           | 125,17%  | 0,01%           |
| VLf | 116,56%             | 0,94%           | 124,82%  | 0,02%           |
| XO  | 137,90%             | 1,36%           | 137,42%  | 1,25%           |
|     | ECM                 | 4,52%           | ECM      | 1,03%           |

Tabla 16: ECM del índice de envejecimiento y del índice modificado.  
Fuente: Elaboración propia.

Comparando el ECM de cada uno de los modelos se puede observar que el obtenido cuando se utiliza Voronoi, índice modificado, es inferior que el resultante de la distribución actual, índice de envejecimiento. El valor se reduce un 77,21% al pasar a realizar el reparto de la población usando los polígonos de Voronoi, lo que indica que es una asignación más igualitaria y, como se había intuido, más próxima a la media.

## 5.2.2 Pirámide de edades

El uso de la pirámide de edades permite identificar la estructura poblacional. Como en la creación de los polígonos de Voronoi no se está diferenciando entre hombres y mujeres, los rangos de edad se deben de apreciar en conjunto independientemente del género.

Para el caso de los Polígonos, las barras de la pirámide representan a grupos quinquenales de edad en orden ascendente siguiendo el mismo patrón que las obtenidas de la *Dirección General de Planificación, Eficiencia Tecnológica y Atención al Paciente* para los distintos departamentos de salud.

En este caso, como se puede observar en la *Tabla 17*, los porcentajes se han calculado utilizando como referencia los departamentos de salud. Para ello, se ha obtenido el porcentaje de cada departamento que se ha utilizado para la creación de cada uno de los nuevos Polígonos. Utilizando como ejemplo el departamento de Valencia - Doctor Peset (VDP), se aprecia que el 19,89% de éste forma parte del Polígono Valencia - Clínico La Malvarrosa (VMA), el 45,40% del Polígono Valencia - Doctor Peset (VDP), el 20,57% del Polígono Valencia - Hospital General (VHG) y el 14,14% del Polígono Valencia - La Fe (VLf). La suma de todos los porcentajes alcanza el 100%, la totalidad del departamento de salud.

|          |      | Transferencia de la poblaci3n |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------|------|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|          |      | G                             | LR     | M      | R      | S      | VAL    | VMA    | VDP    | VHG    | VLF    | XO     |
| Polígono | G    | 97,74%                        | 0,56%  |        |        |        |        |        |        |        |        | 1,34%  |
|          | LR   | 0,01%                         | 98,13% |        |        |        |        |        |        | 3,78%  | 7,86%  | 3,57%  |
|          | M    |                               |        | 83,41% | 99,73% |        | 4,96%  |        |        | 8,90%  | 1,07%  |        |
|          | S    |                               |        |        |        | 97,99% |        | 0,33%  |        |        |        |        |
|          | VAL  |                               |        | 7,96%  |        | 1,18%  | 95,04% | 6,34%  |        |        | 16,24% |        |
|          | VMA  |                               |        |        |        |        |        | 49,44% | 19,89% |        |        |        |
|          | VDP  |                               |        |        |        |        |        | 6,93%  | 45,40% | 0,49%  | 4,14%  |        |
|          | VHG  |                               |        | 8,62%  |        |        |        |        | 20,57% | 80,48% | 13,75% |        |
|          | VLF  |                               |        |        |        | 0,83%  |        | 36,97% | 14,14% | 6,36%  | 56,93% |        |
|          | XO   | 2,25%                         | 1,30%  |        | 0,27%  |        |        |        |        |        |        | 95,09% |
| Total    | 100% | 100%                          | 100%   | 100%   | 100%   | 100%   | 100%   | 100%   | 100%   | 100%   | 100%   |        |

Tabla 17: Composici3n porcentual de los departamentos de salud por los Polígonos de la provincia de Valencia.  
Fuente: Elaboraci3n propia.

Para continuar con los siguientes pasos se va a suponer que la población que forma los Polígonos proviene de forma homogénea de los departamentos de salud, ya que no se pueden conocer las características que tienen los individuos reasignados.

En una hoja de Excel se introducen los datos de las pirámides de los departamentos de salud mostrados en el *Anexo III*. Estos datos se multiplicarán por los porcentajes anteriores cuando corresponda para de esta manera obtener las pirámides de los Polígonos. Se tiene que pasar a prestar atención a las filas en vez de a las columnas, ya que en éstas se encuentra la formación de cada uno de los Polígonos.

Para entender los pasos que se han seguido, se va a poner como ejemplo el Polígono Valencia - Doctor Peset (VDP). Este Polígono queda formado por un 6,93% del departamento Valencia - Clínico La Malvarrosa (VMA), un 45,40% del departamento Valencia - Doctor Peset (VDP), un 0,49% del departamento Valencia – Hospital General (VHG) y un 4,14% del departamento Valencia – La Fe (VLF).

Conocida la proporción de cada departamento que forma el Polígono, se contemplan las cuatro pirámides de los departamentos que lo componen. Como los valores de población del departamento proporcionado por las pirámides no coinciden con los obtenidos con QGIS se tienen que extrapolar. En la *Tabla 18* se realiza este cambio.

|                                | Dep. Dr. Peset |         | Dep. Dr. Peset |         | Dep. Dr. Peset |         |
|--------------------------------|----------------|---------|----------------|---------|----------------|---------|
|                                | Hombres        | Mujeres | Hombres        | Mujeres | Hombres        | Mujeres |
| 85+                            | 2.804          | 6.082   | 1,00%          | 2,18%   | 2.825          | 6.127   |
| 80-84                          | 3.153          | 4.912   | 1,13%          | 1,76%   | 3.176          | 4.948   |
| 75-79                          | 4.869          | 6.730   | 1,74%          | 2,41%   | 4.905          | 6.780   |
| 70-74                          | 6.210          | 7.967   | 2,22%          | 2,85%   | 6.256          | 8.026   |
| 65-69                          | 6.791          | 8.357   | 2,43%          | 2,99%   | 6.841          | 8.419   |
| 60-64                          | 8.288          | 9.362   | 2,96%          | 3,35%   | 8.349          | 9.431   |
| 55-59                          | 9.767          | 10.570  | 3,49%          | 3,78%   | 9.839          | 10.648  |
| 50-54                          | 10.799         | 11.432  | 3,86%          | 4,09%   | 10.879         | 11.516  |
| 45-49                          | 11.500         | 11.505  | 4,11%          | 4,12%   | 11.585         | 11.590  |
| 40-44                          | 11.752         | 11.594  | 4,20%          | 4,15%   | 11.839         | 11.680  |
| 35-39                          | 9.585          | 9.648   | 3,43%          | 3,45%   | 9.656          | 9.719   |
| 30-34                          | 7.981          | 8.113   | 2,85%          | 2,90%   | 8.040          | 8.173   |
| 25-29                          | 7.448          | 7.436   | 2,66%          | 2,66%   | 7.503          | 7.491   |
| 20-24                          | 6.999          | 6.864   | 2,50%          | 2,46%   | 7.051          | 6.915   |
| 15-19                          | 6.946          | 6.631   | 2,48%          | 2,37%   | 6.997          | 6.680   |
| 10-14                          | 7.550          | 6.827   | 2,70%          | 2,44%   | 7.606          | 6.877   |
| 5-9                            | 6.393          | 6.095   | 2,29%          | 2,18%   | 6.440          | 6.140   |
| 0-4                            | 5.491          | 5.110   | 1,96%          | 1,83%   | 5.532          | 5.148   |
| <b>Valencia – Doctor Peset</b> | VDP            | 279.561 |                |         | VDP            | 281.624 |

*Tabla 18: Población por grupo de edad y sexo del departamento Valencia - Doctor Peset.  
Fuente: Elaboración propia.*

En primer lugar, se calcula el porcentaje del total que representa cada grupo de edad y sexo. Para ello se divide cada valor entre la cantidad de población total perteneciente a este departamento. Estos porcentajes se multiplican por el valor de población

obtenido con QGIS y se obtienen los valores extrapolados teniendo en cuenta los 281.624 habitantes. Conseguido el departamento Valencia - Doctor Peset (VDP), el mismo proceso se aplica al resto. Como en este ejemplo solo entran en juego cuatro departamentos, la *Tabla 19* muestra los datos de los tres que faltan.

|       | Dep. Malvarrosa |         | Dep. V Hosp General |         | Dep. La Fe |         |
|-------|-----------------|---------|---------------------|---------|------------|---------|
|       | Hombres         | Mujeres | Hombres             | Mujeres | Hombres    | Mujeres |
| 85+   | 2.853           | 6.008   | 3.054               | 6.707   | 2.312      | 4.945   |
| 80-84 | 3.132           | 4.980   | 3.178               | 5.124   | 2.560      | 4.026   |
| 75-79 | 4.973           | 6.656   | 5.080               | 6.905   | 4.146      | 5.325   |
| 70-74 | 6.623           | 8.413   | 6.552               | 8.175   | 5.423      | 6.729   |
| 65-69 | 7.465           | 9.054   | 7.566               | 8.848   | 5.810      | 7.066   |
| 60-64 | 9.108           | 10.327  | 9.170               | 10.281  | 7.057      | 7.955   |
| 55-59 | 10.305          | 11.397  | 11.072              | 11.642  | 8.180      | 8.830   |
| 50-54 | 11.627          | 12.045  | 12.575              | 12.602  | 9.688      | 9.859   |
| 45-49 | 12.616          | 12.667  | 13.712              | 13.323  | 11.130     | 10.813  |
| 40-44 | 13.434          | 13.116  | 14.126              | 13.819  | 11.630     | 11.611  |
| 35-39 | 10.702          | 11.031  | 11.495              | 11.420  | 9.299      | 9.763   |
| 30-34 | 8.639           | 9.169   | 9.385               | 9.629   | 7.433      | 7.716   |
| 25-29 | 8.548           | 8.882   | 8.636               | 8.785   | 6.820      | 6.923   |
| 20-24 | 8.141           | 8.660   | 8.322               | 8.160   | 6.333      | 6.172   |
| 15-19 | 8.027           | 7.849   | 8.513               | 7.983   | 6.495      | 6.087   |
| 10-14 | 8.453           | 8.040   | 8.834               | 8.559   | 7.126      | 6.944   |
| 5-9   | 7.574           | 7.283   | 8.082               | 7.568   | 6.882      | 6.475   |
| 0-4   | 6.312           | 5.919   | 6.863               | 6.441   | 5.817      | 5.537   |

*Tabla 19: Población extrapolada de los departamentos de VMA, VHG y VLF.  
Fuente: Elaboración propia.*

En la creación de la pirámide de edades del Polígono Valencia - Doctor Peset (VDP) se tiene que multiplicar cada uno de los rangos de edad por los porcentajes. Como modelo se van a realizar los cálculos para los hombres (H) de 0 a 4 años.

$$H_{0 a 4 \text{ años}} = 6,93\% * 6.312 + 45,40\% * 5.532 + 0,49\% * 6.863 + 4,14\% * 5.817$$

$$H_{0 a 4 \text{ años}} = 3.223$$

Tras realizar los cálculos se concluye que el Polígono VDP está formado por 3.223 hombres de 0 a 4 años. Este mismo cómputo se realiza para cada uno de los grupos de edad y de los diferentes sexos consiguiendo así la pirámide deseada.

La *Figura 27* muestra la pirámide de edades tanto del departamento de salud VDP, representando la población extrapolada con barras sombreadas, como del Polígono VDP, donde la población queda figurada en una barra bordeada.

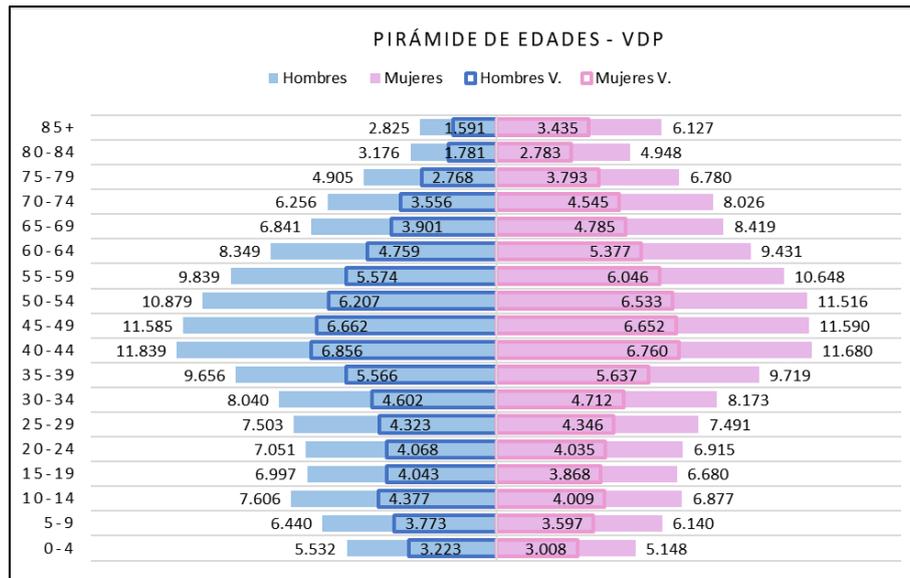


Figura 27: Pirámide de edades del departamento y Polígono Valencia – Doctor Peset.  
Fuente: Elaboración propia.

Apreciando el gráfico obtenido, es bastante notoria la diferencia entre la cantidad de población que abarca la distribución por departamentos y por Polígonos, siendo significativamente inferior esta última.

Este mismo procedimiento se desarrolla en cada uno de los Polígonos pudiendo observar los resultados conseguidos en el *Anexo IV*.

Para concluir este apartado cabe remarcar la diferencia entre las pirámides de edades de cada uno de los Polígonos. En el caso de Sagunto, Gandía y Xàtiva - Ontinyent la representación es bastante similar a la de sus respectivos departamentos de salud. Este hecho se puede deber a que el cambio producido en sus fronteras no afecta casi al número de habitantes. Por otra parte, se produce una disminución de la población y, por tanto, de la longitud de las barras en el caso de Valencia - Clínico La Malvarrosa y Valencia - Doctor Peset. El descenso producido está relacionado directamente con la reducción de la superficie comprendida. Finalmente, el resto de los Polígonos aumentan su población. Esta situación se debe a factores como el aumento del terreno que abarca el Polígono o un cambio en las fronteras que hace que comprenda zonas más pobladas. Manises es el principal afectado de la desaparición del departamento de Requena ya que absorbe prácticamente la totalidad del territorio y, en consecuencia, a sus habitantes.

A pesar de los cambios producidos en las pirámides de edades, los valores porcentuales de cada uno de los rangos de edad se mantienen similares independientemente de la asignación de la población que se escoja. Dicho de otra forma, no se produce un cambio significativo en la distribución de la población, pero sí en la cantidad de pacientes que se deben de atender.

## CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

### 6.1 Conclusiones

Como se ha detallado a lo largo de este trabajo, las personas de mayor edad son las que más atención sanitaria necesitan, por lo que la tendencia de la población ser cada vez más envejecida afectaría al sistema sanitario debido al aumento de consultas. Una mejor asignación de los recursos, en este caso un mejor reparto de la población a los centros sanitarios (CE y CSI), ayudaría a distribuir con un mayor grado de equilibrio la carga asistencial a cada uno de los centros.

Se ha hecho uso del programa QGIS 3.16.16, un Sistema de Información Geográfica de software libre y de código abierto que ayuda a la toma de decisiones permitiendo una visualización casi instantánea del problema que se quiere abordar. Es capaz de realizar simulaciones en un corto espacio de tiempo, por lo que si se produce un cambio en la localización de los centros o la construcción de nuevos centros se pueden conseguir nuevos resultados al problema de forma rápida. La introducción de nuevos datos, así como las herramientas de visualización son bastante intuitivas permitiendo trazar los polígonos de Voronoi tan solo introduciendo la localización de los centros y el territorio de estudio. De esta manera, esta herramienta sirve para ayudar a determinar una asignación de la población donde lo que prima es la distancia recorrida.

Con los datos proporcionados por la Generalitat Valenciana se puede conocer la cantidad de población total que hay en un departamento de salud, pero se desconoce la cantidad asignada a cada centro sanitario. Debido a esta falta de información, en el estudio de este problema se ha supuesto que los centros sanitarios tienen la misma capacidad asistencial y que la redistribución de la población se realiza de forma homogénea.

El primer paso que se ha realizado es comprobar la idoneidad del uso de los polígonos de Voronoi para la reasignación de la población. Para ello se ha confirmado estadísticamente que el reparto de la población efectuado utilizando los polígonos de Voronoi es más equitativo que el de los departamentos de salud.

Como era de esperar, el uso de los polígonos de Voronoi hace que la distancia desde la vivienda hasta el centro sanitario se vea reducido. En consecuencia, el usuario se ve favorecido por la reducción del tiempo de trayecto, produciendo una mejora común en la reducción de las emisiones a la atmósfera. Por otra parte, los valores porcentuales de las pirámides de edades se mantienen prácticamente constantes en el cambio de departamentos de salud a Polígonos. Si bien es cierto que la cantidad total de la población si que se modifica, la estructura poblacional se sigue manteniendo. Cabe destacar que, al desaparecer el departamento de salud de Requena, el índice de envejecimiento tan elevado que tenía con respecto a la media queda diluido en la reasignación.

## 6.2 Trabajo futuro

Para finalizar este Trabajo Fin de Grado, es importante mencionar aquellas líneas de trabajo futuro que se puedan llevar a cabo a partir de la herramienta que se ha creado, aprovechando el uso libre que permite el software QGIS.

En primer lugar, debido al uso y la importancia que tiene en la comparación de los resultados, sería interesante tratar de conseguir el número de habitantes que están asignados a cada CE o CSI en la actualidad. De esta manera se podrían obtener unos resultados más fieles a la realidad permitiendo también una comparación de modelos más exhaustiva.

Además, se podría desarrollar una herramienta que permitiera la introducción de algunas de las restricciones dispuestas en la Ley General de Sanidad que no se han contemplado en la realización de este trabajo. Se menciona que el Área de Salud tiene que extender su acción a una población no inferior a 200.000 habitantes ni superior a 250.000. En los resultados obtenidos utilizando Voronoi, este valor límite se ve superado en algunos de los Polígonos.

Por otra parte, puesto que el departamento de Requena no tiene CE ni CSI, al utilizar los polígonos de Voronoi este departamento desaparece y queda formando parte del resto. Se podría hacer uso de la localización de su hospital o averiguar a qué centro acude la población de este territorio para así mejorar las conclusiones obtenidas.

Finalmente, se podría llevar a cabo una asignación que no solo tenga en cuenta motivos de distancia, sino que también incluya otras variables como puede ser características de la población (edad, sexo, etc.) o características de cada uno de los centros que componen cada uno de los departamentos de salud.

La introducción de más información permite mejorar la metodología propuesta y hacer que los resultados obtenidos sean más exactos, posibilitando la toma de decisiones con menor error de equivocación.

## Bibliografía

- Ajuntament de València. (18 de julio de 2022). *Missions València 2030*. Obtenido de <https://www.missionsvalencia.eu/?lang=es>
- Billhardt, H., Lujak, M., Sánchez-Brunete, V., Fernández, A., & Ossowski, S. (2014). Dynamic coordination of ambulances for emergency medical assistance. *Elsevier*.
- Cabrero Ortega, Y., & García Pérez, A. (2015). Análisis estadístico de datos espaciales con QGIS y R. En Y. Cabrero Ortega, & A. García Pérez, *Análisis estadístico de datos espaciales con QGIS y R* (págs. 11, 16, 17). UNED.
- CHGUV. (16 de junio de 2022). *Consorti Hospital General Universitari Valencia*. Obtenido de <https://chguv.san.gva.es/servicios-salud/csi>
- Documentación de QGIS2.14. (14 de junio de 2022). *Documentación de QGIS2.14*. Obtenido de [https://docs.qgis.org/2.14/es/docs/gentle\\_gis\\_introduction/](https://docs.qgis.org/2.14/es/docs/gentle_gis_introduction/)
- Fundación IDIS. (4 de julio de 2022). *Sanidad en España: Encuesta de percepción*. Obtenido de <https://www.fundacionidis.com/informes/analisis-de-situacion-de-la-sanidad-privada/sanidad-en-espana-encuesta-de-percepcion>
- Generalitat Valenciana. (18 de mayo de 2007). *DECRETO 74 /2007*. Obtenido de [https://dogv.gva.es/portal/ficha\\_disposicion\\_pc.jsp?sig=6634/2007&L=1](https://dogv.gva.es/portal/ficha_disposicion_pc.jsp?sig=6634/2007&L=1)
- Institut Valencià d'Estadística. (16 de julio de 2022). *Proyecciones de población, 2020-2035*. Obtenido de [https://pegv.gva.es/es/noticias/-/asset\\_publisher/CWK0IEKbs79H/content/proyecciones-de-poblacion-2020-2035](https://pegv.gva.es/es/noticias/-/asset_publisher/CWK0IEKbs79H/content/proyecciones-de-poblacion-2020-2035)
- Mendoza, F. R. (2016). Geometría Computacional. En F. R. Mendoza, *Geometría Computacional* (págs. 52-71). Mérida, Venezuela: Universidad de los Andes.
- Ministerio de Sanidad. (4 de julio de 2022). *Estadística de Gasto Sanitario Público*. Obtenido de <https://www.sanidad.gob.es/estadEstudios/estadisticas/docs/EGSP2008/egspPrincipalesResultados.pdf>
- Morse, P., & Kimball, G. (1951). *Methods of Operations Research*. MIT Press.
- ONU. (30 de junio de 2022). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Samoza, J. E. (2001). Política sanitaria española. En J. E. Samoza, *Política sanitaria española* (pág. 16). Ediciones Díaz de Santos.

Sanitat GVA. (1 de junio de 2019). *Memoria de Gestión 2020*. Obtenido de [https://www.san.gva.es/documents/157385/8958678/Memoria\\_2019\\_resumen\\_es](https://www.san.gva.es/documents/157385/8958678/Memoria_2019_resumen_es)

SESCAM. (16 de junio de 2022). *Sanidad Castilla La Mancha*. Obtenido de <https://sanidad.castillalamancha.es/ciudadanos/servicios-sanitarios/red-hospitalaria-y-centros-de-especialidades-diagnostico-y>

Vecina García, M. (2020). *Resolución de un problema real de relocalización de los vehículos de emergencia sanitaria*. Valencia: Universitat Politècnica de València.

Wikipedia. (17 de junio de 2022). *QGIS*. Obtenido de Wikipedia, La enciclopedia libre: <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=QGIS&oldid=143547472>

Z. Ríos-Mercado, R. (2021). *Optimal Districting and Territory Design*. Springer.

## ANEXOS

### ANEXO I: Objetivos de Desarrollo Sostenible implicados



Dada la importancia que tiene en la sociedad alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) adoptados por los principales líderes mundiales el 25 de septiembre de 2015, se ha considerado oportuno relacionar este Trabajo de Fin de Grado con aquellos objetivos que se podrían ver implicados.

En primer lugar, teniendo en cuenta el orden de importancia, se encuentra el Objetivo 3, cuya misión es garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades. En particular, se estaría fomentando la meta 3.8: Lograr la cobertura sanitaria universal, en particular la protección contra los riesgos financieros, el acceso a servicios de salud esenciales de calidad y el acceso a medicamentos y vacunas seguros, eficaces, asequibles y de calidad para todos. (ONU, 2022)

Una mejor asignación de la población a los departamentos de salud y en consecuencia a los centros de especialidades y centros sanitarios integrados, incrementaría la calidad de estos servicios evitando la sobrecarga asistencial, mejorando también la accesibilidad ya que la población acudiría al centro más próximo de su lugar de residencia.

El segundo ODS que se podría ver afectado sería el Objetivo 11 que busca lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles. En concreto, se estaría trabajando la meta 11.b: De aquí a 2030, aumentar considerablemente el número de ciudades y asentamientos humanos que adoptan e implementan políticas y planes integrados para promover la inclusión, el uso eficiente de los recursos, la mitigación del cambio climático y la adaptación a él y la resiliencia ante los desastres, y desarrollar y poner en práctica, en consonancia con el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030, la gestión integral de los riesgos de desastre a todos los niveles. (ONU, 2022)

Un reparto equitativo de la población a cada uno de los centros conlleva un mejor uso de los recursos, entendiendo como recursos cada uno de los Centros de Especialidades y Centros Sanitarios Integrados. En este caso, los recursos son limitados debido a que no se contempla la construcción de nuevos centros.

## ANEXO II: Índices demográficos por departamento de salud

En las siguientes tablas se los índices demográficos de cada uno de los departamentos sanitarios en 2019, año de referencia utilizado en la realización de este trabajo.

|   | Departamento 12 GANDÍA | Com. Valenciana |
|---|------------------------|-----------------|
| Índice de Dependencia (%)                       | 54,35                  | 54,88           |
| Índice de Envejecimiento (%)                    | 127,62                 | 126,25          |
| Índice de Longevidad (%)                        | 51,61                  | 50,18           |
| Índice de Maternidad (%)                        | 18,52                  | 18,93           |
| Índice de Tendencia (%)                         | 83,19                  | 84,74           |
| Índice de Renovación de la Población Activa (%) | 74,17                  | 76,50           |
| Índice de Masculinidad (%)                      | 97,69                  | 96,59           |

Tabla 20: Índices demográficos del Departamento de Gandía.

Fuente: Dirección General de Planificación, Eficiencia Tecnológica y Atención al Paciente.

|   | Departamento 11 LA RIBERA | Com. Valenciana |
|---|---------------------------|-----------------|
| Índice de Dependencia (%)                       | 54,52                     | 54,88           |
| Índice de Envejecimiento (%)                    | 120,48                    | 126,25          |
| Índice de Longevidad (%)                        | 51,27                     | 50,18           |
| Índice de Maternidad (%)                        | 19,89                     | 18,93           |
| Índice de Tendencia (%)                         | 85,36                     | 84,74           |
| Índice de Renovación de la Población Activa (%) | 75,52                     | 76,50           |
| Índice de Masculinidad (%)                      | 98,13                     | 96,59           |

Tabla 21: Índices demográficos del Departamento de La Ribera.

Fuente: Dirección General de Planificación, Eficiencia Tecnológica y Atención al Paciente.

|   | Departamento 23 MANISES | Com. Valenciana |
|---|-------------------------|-----------------|
| Índice de Dependencia (%)                       | 51,28                   | 54,88           |
| Índice de Envejecimiento (%)                    | 109,55                  | 126,25          |
| Índice de Longevidad (%)                        | 48,61                   | 50,18           |
| Índice de Maternidad (%)                        | 18,59                   | 18,93           |
| Índice de Tendencia (%)                         | 82,75                   | 84,74           |
| Índice de Renovación de la Población Activa (%) | 76,54                   | 76,50           |
| Índice de Masculinidad (%)                      | 99,16                   | 96,59           |

Tabla 22: Índices demográficos del Departamento de Manises.

Fuente: Dirección General de Planificación, Eficiencia Tecnológica y Atención al Paciente.

|   | Departamento 8 REQUENA | Com. Valenciana |
|---|------------------------|-----------------|
| Índice de Dependencia (%)                       | 63,52                  | 54,88           |
| Índice de Envejecimiento (%)                    | 183,38                 | 126,25          |
| Índice de Longevidad (%)                        | 55,81                  | 50,18           |
| Índice de Maternidad (%)                        | 18,84                  | 18,93           |
| Índice de Tendencia (%)                         | 82,85                  | 84,74           |
| Índice de Renovación de la Población Activa (%) | 59,76                  | 76,50           |
| Índice de Masculinidad (%)                      | 101,81                 | 96,59           |

Tabla 23: Índices demográficos del Departamento de Requena.

Fuente: Dirección General de Planificación, Eficiencia Tecnológica y Atención al Paciente.

|   | Departamento 4 SAGUNTO | Com. Valenciana |
|---|------------------------|-----------------|
| Índice de Dependencia (%)                       | 58,72                  | 54,88           |
| Índice de Envejecimiento (%)                    | 134,44                 | 126,25          |
| Índice de Longevidad (%)                        | 51,55                  | 50,18           |
| Índice de Maternidad (%)                        | 18,81                  | 18,93           |
| Índice de Tendencia (%)                         | 78,66                  | 84,74           |
| Índice de Renovación de la Población Activa (%) | 67,71                  | 76,50           |
| Índice de Masculinidad (%)                      | 97,19                  | 96,59           |

Tabla 24: Índices demográficos del Departamento de Sagunto.

Fuente: Dirección General de Planificación, Eficiencia Tecnológica y Atención al Paciente.

|   | Departamento 6 VALENCIA ARNAU LLIRIA | Com. Valenciana |
|---|--------------------------------------|-----------------|
| Índice de Dependencia (%)                       | 53,27                                | 54,88           |
| Índice de Envejecimiento (%)                    | 98,43                                | 126,25          |
| Índice de Longevidad (%)                        | 48,73                                | 50,18           |
| Índice de Maternidad (%)                        | 19,65                                | 18,93           |
| Índice de Tendencia (%)                         | 80,07                                | 84,74           |
| Índice de Renovación de la Población Activa (%) | 77,24                                | 76,50           |
| Índice de Masculinidad (%)                      | 97,52                                | 96,59           |

Tabla 25: Índices demográficos del Departamento Valencia – Arnau de Vilanova - Liria.

Fuente: Dirección General de Planificación, Eficiencia Tecnológica y Atención al Paciente.

|   | Departamento 5 VALENCIA - CLINICO | Com. Valenciana |
|---|-----------------------------------|-----------------|
| Índice de Dependencia (%)                       | 52,56                             | 54,88           |
| Índice de Envejecimiento (%)                    | 128,95                            | 126,25          |
| Índice de Longevidad (%)                        | 49,34                             | 50,18           |
| Índice de Maternidad (%)                        | 17,14                             | 18,93           |
| Índice de Tendencia (%)                         | 82,33                             | 84,74           |
| Índice de Renovación de la Población Activa (%) | 83,21                             | 76,50           |
| Índice de Masculinidad (%)                      | 91,97                             | 96,59           |

Tabla 26: Índices demográficos del Departamento Valencia - Clínico La Malvarrosa.

Fuente: Dirección General de Planificación, Eficiencia Tecnológica y Atención al Paciente.

|   | Departamento 10 VALENCIA - DR. PESET | Com. Valenciana |
|---|--------------------------------------|-----------------|
| Índice de Dependencia (%)                       | 54,06                                | 54,88           |
| Índice de Envejecimiento (%)                    | 143,90                               | 126,25          |
| Índice de Longevidad (%)                        | 51,09                                | 50,18           |
| Índice de Maternidad (%)                        | 17,16                                | 18,93           |
| Índice de Tendencia (%)                         | 84,89                                | 84,74           |
| Índice de Renovación de la Población Activa (%) | 75,68                                | 76,50           |
| Índice de Masculinidad (%)                      | 92,49                                | 96,59           |

Tabla 27: Índices demográficos del Departamento Valencia – Doctor Peset.

Fuente: Dirección General de Planificación, Eficiencia Tecnológica y Atención al Paciente.

|   | Departamento 9 VALENCIA HOSPITAL GENERAL | Com. Valenciana |
|---|--|-----------------|
| Índice de Dependencia (%)                       | 52,46                                    | 54,88           |
| Índice de Envejecimiento (%)                    | 123,19                                   | 126,25          |
| Índice de Longevidad (%)                        | 50,66                                    | 50,18           |
| Índice de Maternidad (%)                        | 18,19                                    | 18,93           |
| Índice de Tendencia (%)                         | 85,01                                    | 84,74           |
| Índice de Renovación de la Población Activa (%) | 80,41                                    | 76,50           |
| Índice de Masculinidad (%)                      | 94,12                                    | 96,59           |

Tabla 28: Índices demográficos del Departamento Valencia – Hospital General.

Fuente: Dirección General de Planificación, Eficiencia Tecnológica y Atención al Paciente.

|   | Departamento 7 VALENCIA - LA FE | Com. Valenciana |
|---|---------------------------------|-----------------|
| Índice de Dependencia (%)                       | 53,75                           | 54,88           |
| Índice de Envejecimiento (%)                    | 116,56                          | 126,25          |
| Índice de Longevidad (%)                        | 50,08                           | 50,18           |
| Índice de Maternidad (%)                        | 19,22                           | 18,93           |
| Índice de Tendencia (%)                         | 85,00                           | 84,74           |
| Índice de Renovación de la Población Activa (%) | 81,96                           | 76,50           |
| Índice de Masculinidad (%)                      | 93,50                           | 96,59           |

*Tabla 29: Índices demográficos del Departamento Valencia – La Fe.  
Fuente: Dirección General de Planificación, Eficiencia Tecnológica y Atención al Paciente.*

|   | Departamento 14 XATIVA - ONTINYENT | Com. Valenciana |
|---|------------------------------------|-----------------|
| Índice de Dependencia (%)                       | 53,77                              | 54,88           |
| Índice de Envejecimiento (%)                    | 137,90                             | 126,25          |
| Índice de Longevidad (%)                        | 51,87                              | 50,18           |
| Índice de Maternidad (%)                        | 18,20                              | 18,93           |
| Índice de Tendencia (%)                         | 85,34                              | 84,74           |
| Índice de Renovación de la Población Activa (%) | 71,73                              | 76,50           |
| Índice de Masculinidad (%)                      | 98,89                              | 96,59           |

*Tabla 30: Índices demográficos del Departamento de Xàtiva – Ontinyent.  
Fuente: Dirección General de Planificación, Eficiencia Tecnológica y Atención al Paciente.*

### ANEXO III: Pirámide de edades por departamento de salud

En las figuras mostradas a continuación se pueden observar los rangos de edad de la población que forma cada uno de los departamentos sanitarios en 2019. Esta herramienta permite identificar rápidamente las diferencias en las estructuras poblacionales pudiendo ser comparadas con la media de la Comunidad Valenciana y con el resto de los departamentos.

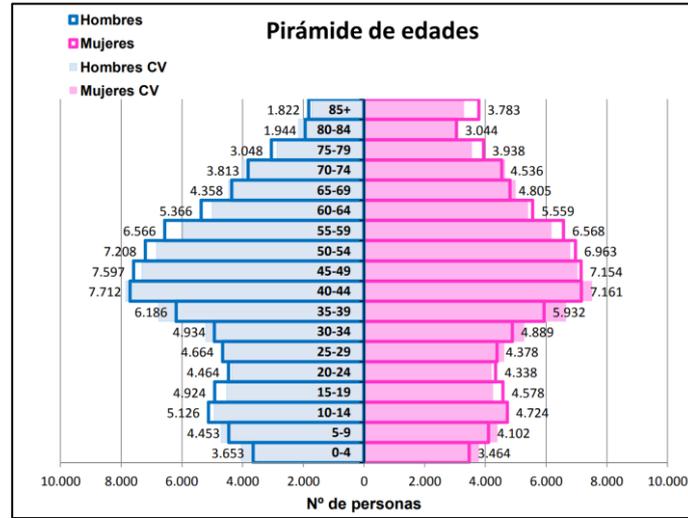


Figura 28: Pirámide de edades del Departamento de Gandía.

Fuente: Dirección General de Planificación, Eficiencia Tecnológica y Atención al Paciente.

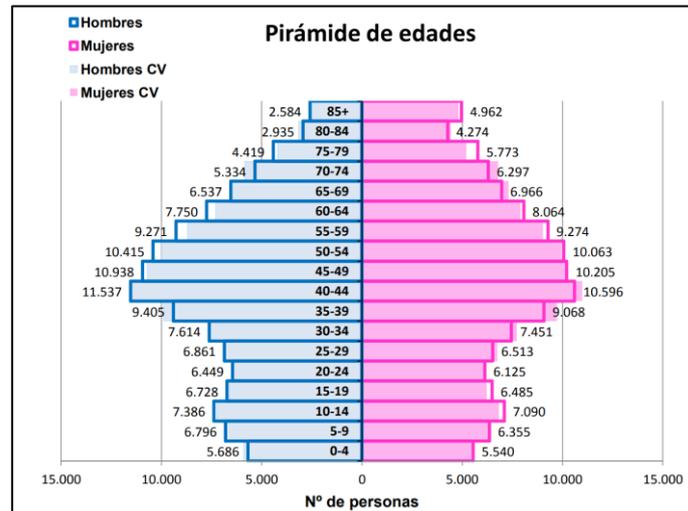


Figura 29: Pirámide de edades del Departamento de La Ribera.

Fuente: Dirección General de Planificación, Eficiencia Tecnológica y Atención al Paciente.

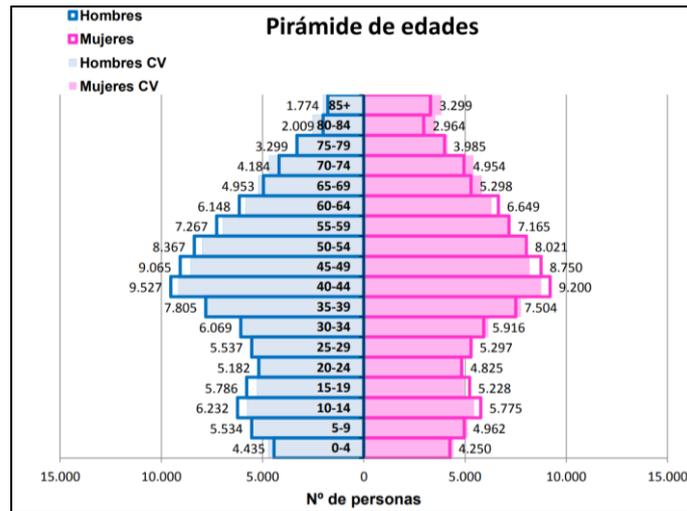


Figura 30: Pirámide de edades del Departamento de Manises.  
 Fuente: Dirección General de Planificación, Eficiencia Tecnológica y Atención al Paciente.

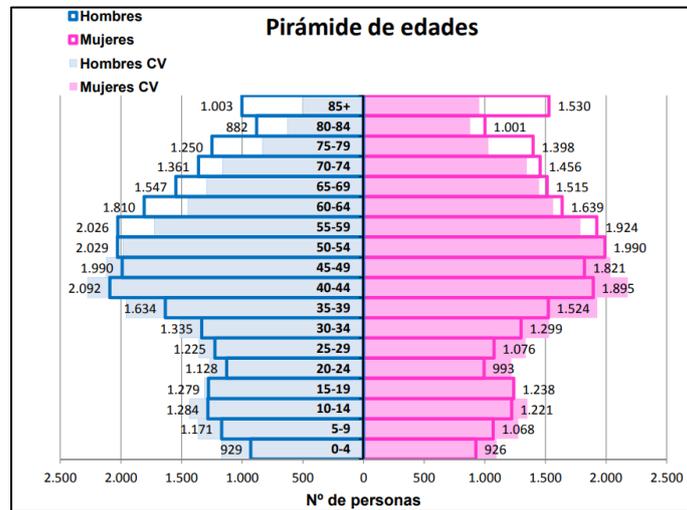


Figura 31: Pirámide de edades del Departamento de Requena.  
 Fuente: Dirección General de Planificación, Eficiencia Tecnológica y Atención al Paciente.

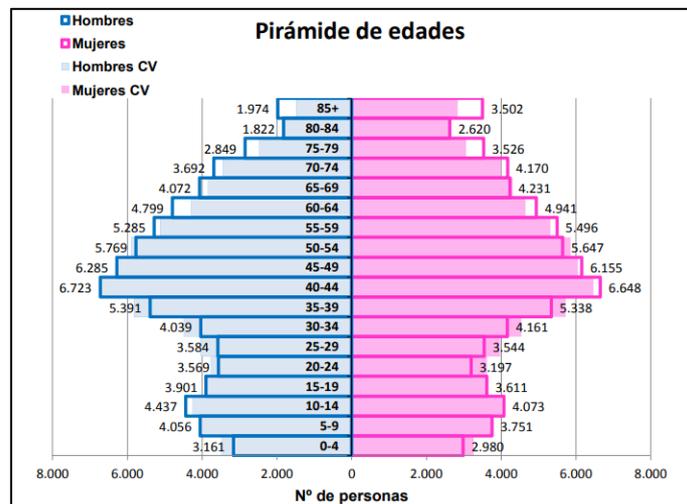


Figura 32: Pirámide de edades del Departamento de Sagunto.  
 Fuente: Dirección General de Planificación, Eficiencia Tecnológica y Atención al Paciente.

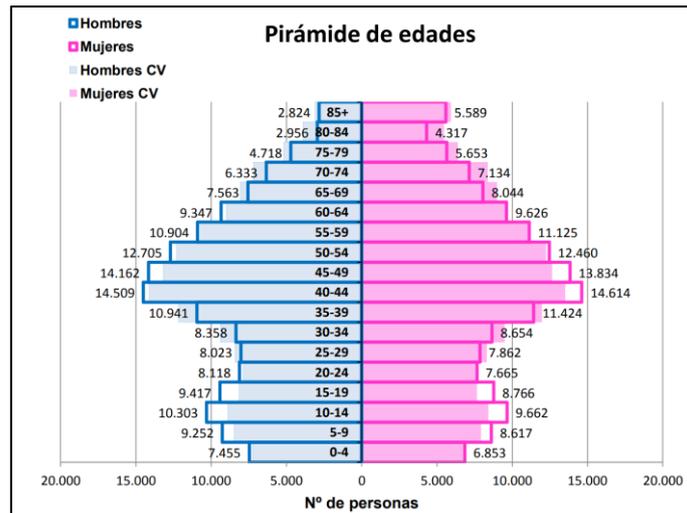


Figura 33: Pirámide de edades del Departamento Valencia – Arnau de Vilanova - Liria.  
Fuente: Dirección General de Planificación, Eficiencia Tecnológica y Atención al Paciente.

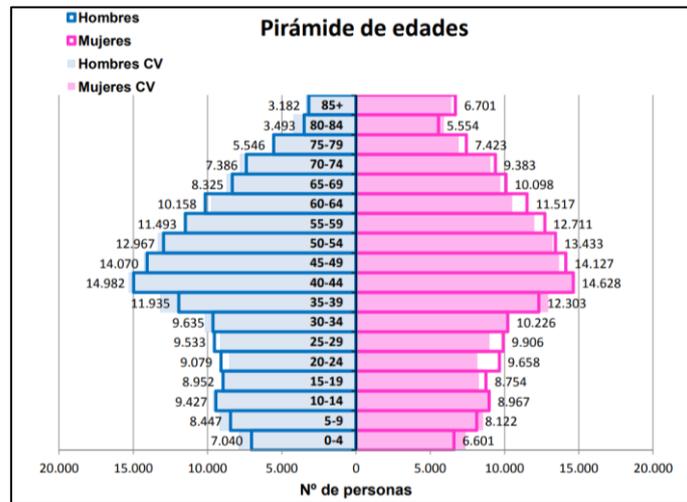


Figura 34: Pirámide de edades del Departamento Valencia - Clínico La Malvarrosa.  
Fuente: Dirección General de Planificación, Eficiencia Tecnológica y Atención al Paciente.

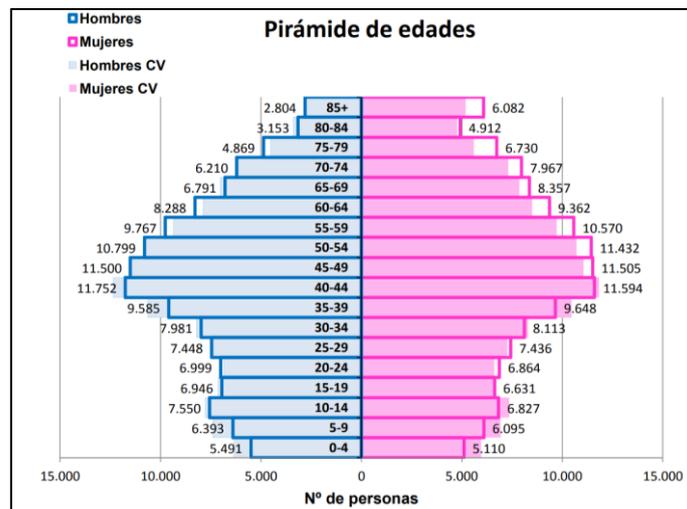


Figura 35: Pirámide de edades del Departamento Valencia – Doctor Peset.  
Fuente: Dirección General de Planificación, Eficiencia Tecnológica y Atención al Paciente.

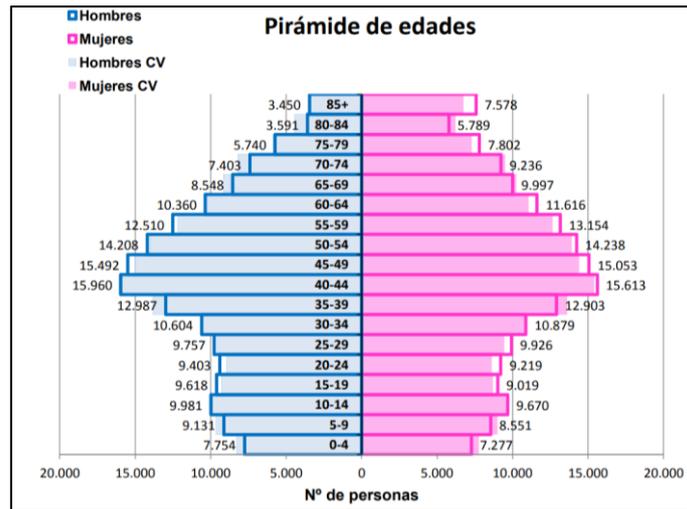


Figura 36: Pirámide de edades del Departamento Valencia – Hospital General.  
Fuente: Dirección General de Planificación, Eficiencia Tecnológica y Atención al Paciente.

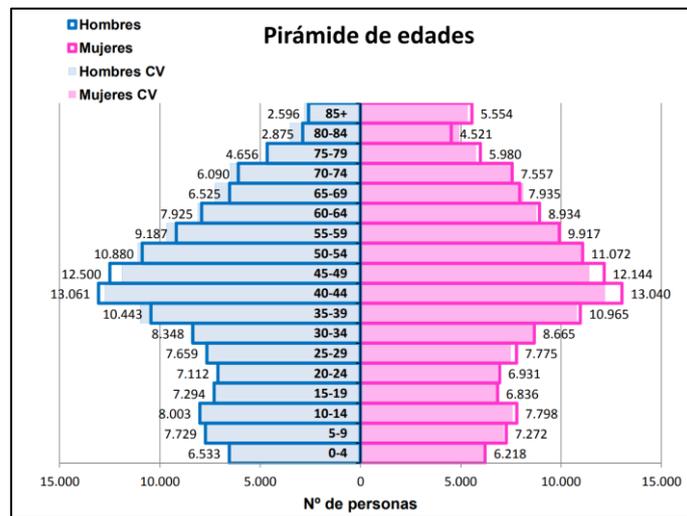


Figura 37: Pirámide de edades del Departamento Valencia – La Fe.  
Fuente: Dirección General de Planificación, Eficiencia Tecnológica y Atención al Paciente.

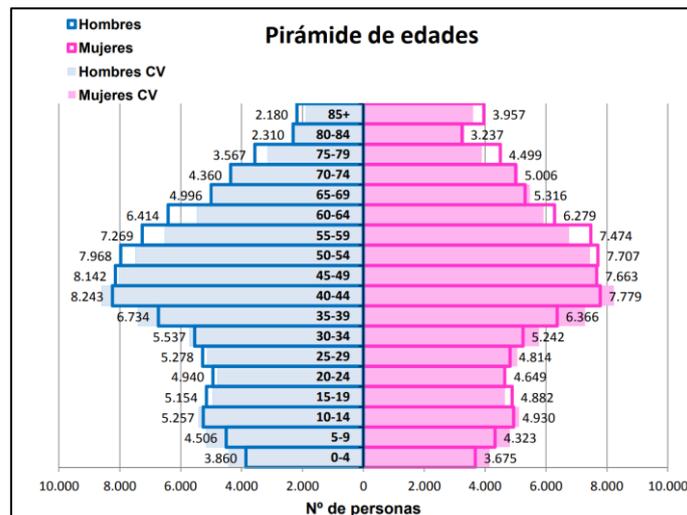


Figura 38: Pirámide de edades del Departamento de Xàtiva – Ontinyent.  
Fuente: Dirección General de Planificación, Eficiencia Tecnológica y Atención al Paciente.

## ANEXO IV: Pirámide de edades por polígono de Voronoi

Al igual que se ha realizado con los departamentos de salud actuales, también se ha conseguido elaborar cuál sería el aspecto de las pirámides de edades si la población se repartiera de acuerdo con los polígonos de Voronoi obtenidos.

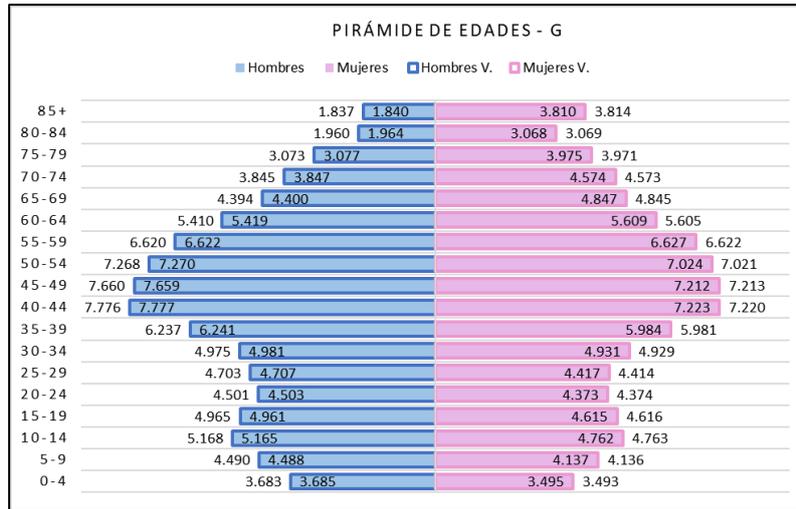


Figura 39: Pirámide de edades del Polígono de Gandía.  
Fuente: Elaboración propia.

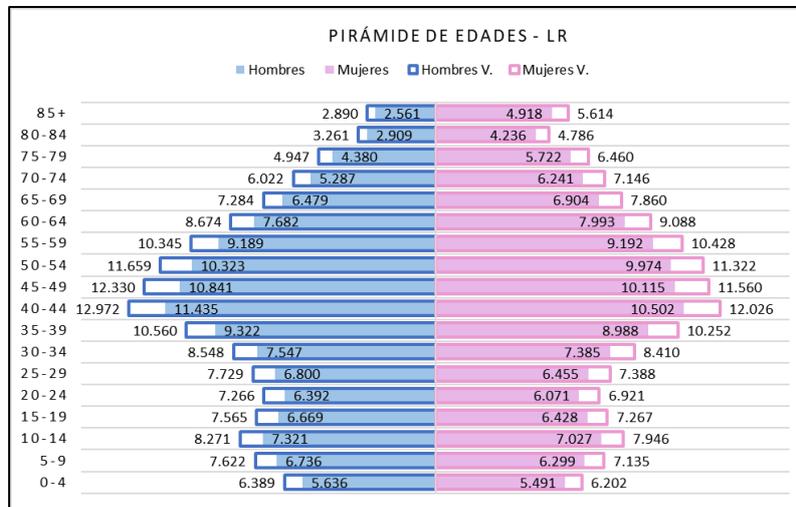


Figura 40: Pirámide de edades del Polígono de La Ribera.  
Fuente: Elaboración propia.

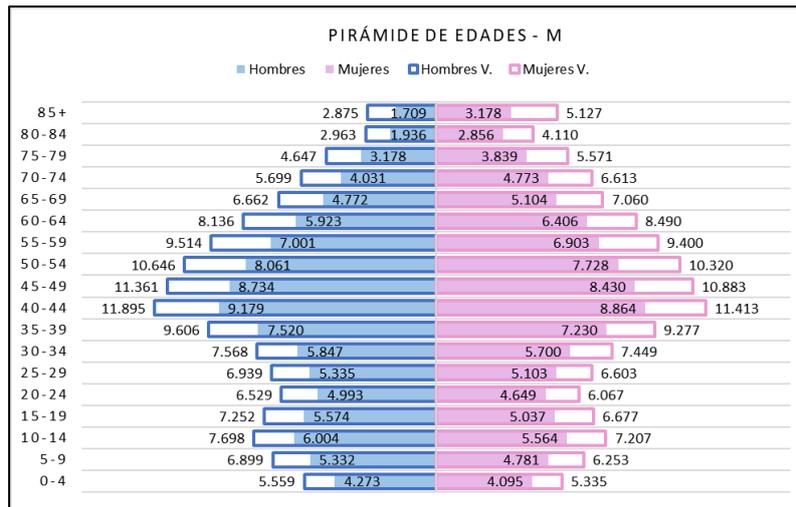


Figura 41: Pirámide de edades del Polígono de Manises.  
Fuente: Elaboración propia.

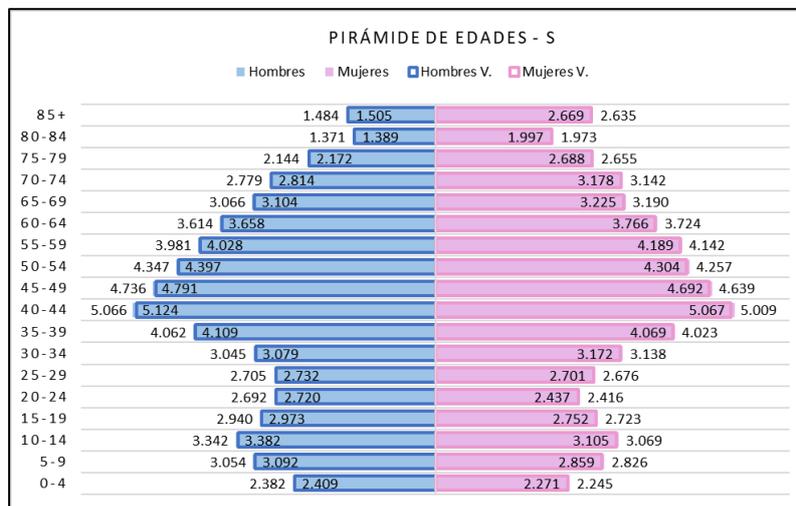


Figura 42: Pirámide de edades del Polígono de Sagunto.  
Fuente: Elaboración propia.

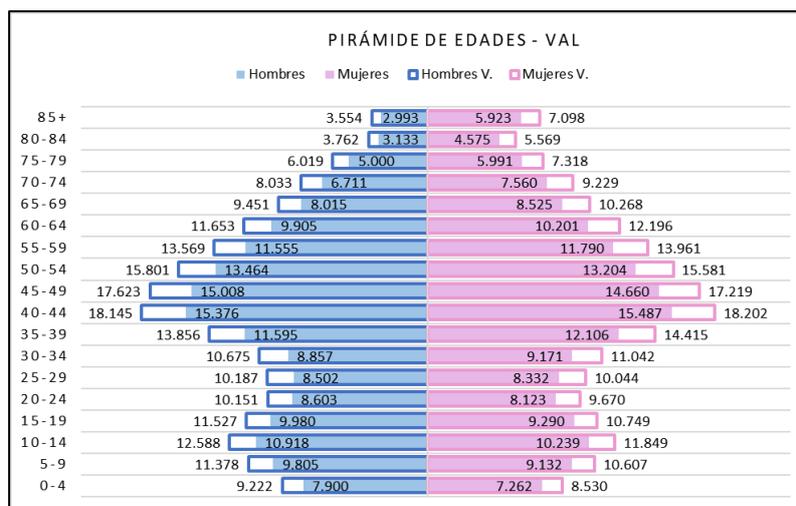


Figura 43: Pirámide de edades del Polígono Valencia – Arnau de Vilanova - Liria.  
Fuente: Elaboración propia.

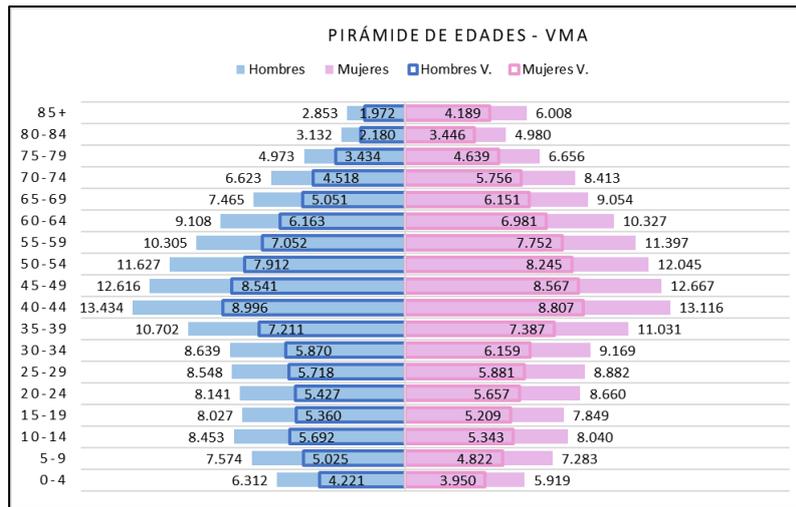


Figura 44: Pirámide de edades del Polígono Valencia - Clínico La Malvarrosa.  
Fuente: Elaboración propia.

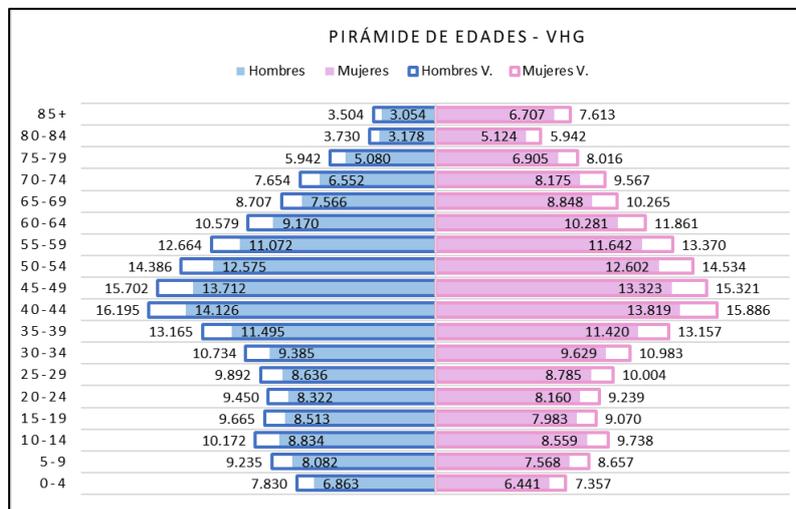


Figura 45: Pirámide de edades del Polígono Valencia – Hospital General.  
Fuente: Elaboración propia.

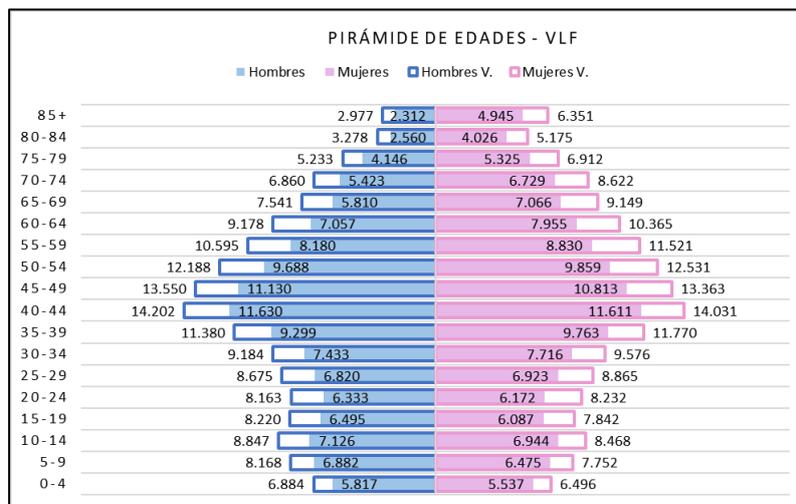
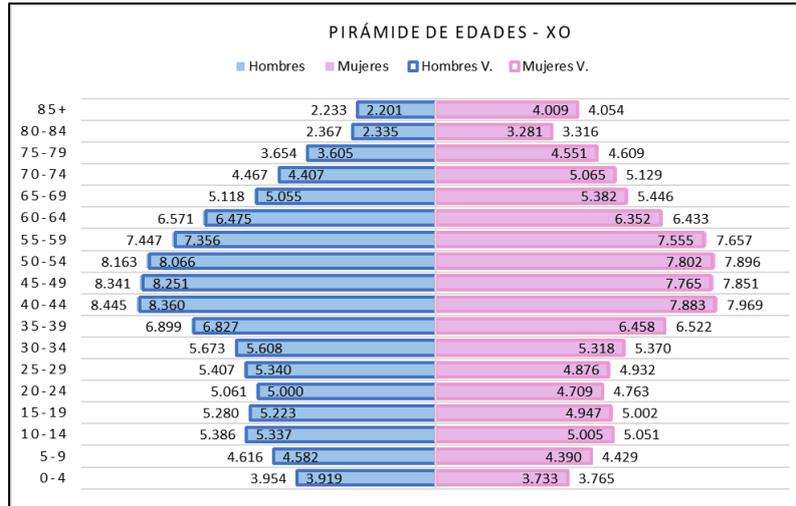


Figura 46: Pirámide de edades del Polígono Valencia – La Fe.  
Fuente: Elaboración propia.



*Figura 47: Pirámide de edades del Polígono de Xàtiva – Ontinyent.  
Fuente: Elaboración propia.*