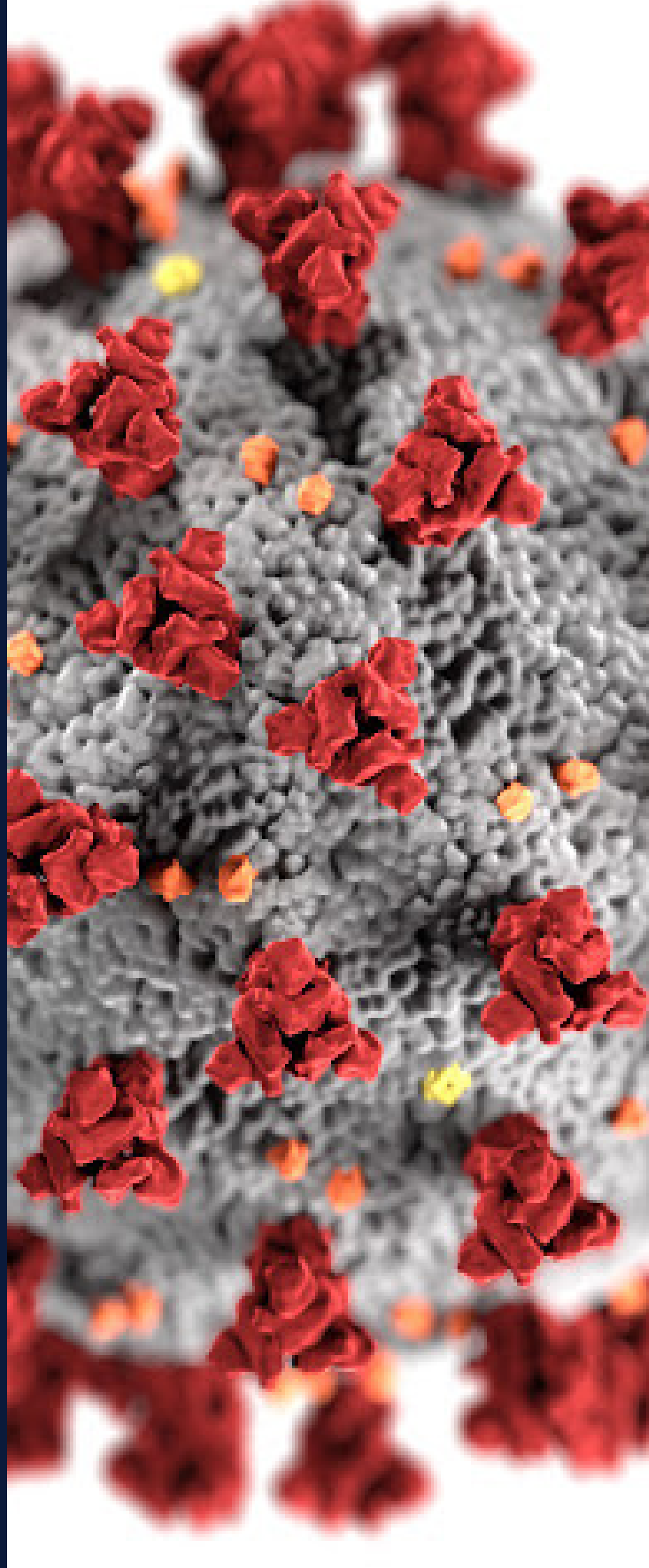


**HERRAMIENTAS
PARA LA
GESTIÓN
SANITARIA DE
LA COVID-19
EN EL ÁREA
METROPOLITANA
DE GRANADA**



Investigadores:

Angeles Sánchez Domínguez. Profesora Titular. Dept. Economía Aplicada. *Universidad de Granada*. (Investigadora Principal).

Eduardo Jiménez Fernández. Profesor Contratado Doctor. Dept. Economía. *Universitat Jaume I*.

Jorge Chica Olmo. Profesor Titular Dept. Métodos Cuantitativos. *Universidad de Granada*.

Enrique A. Sánchez Pérez. Catedrático. Dept. Matemática Aplicada. *Universitat Politècnica de València*.

Jose M. Calabuig Rodríguez. Profesor Titular Dept. Matemática Aplicada. *Universitat Politècnica de València*.

Agradecimientos:

Servicio Andaluz de Salud (SAS).

Hospital Virgen de las Nieves.

Hospital San Cecilio.

M. Angeles García (gerente *Hospital Virgen de las Nieves*).

Manuel Reyes (gerente *Hospital San Cecilio*).

Sebastián Manzanares (director médico *Hospital Virgen de las Nieves*).

Cristina Carvajal (directora médica *Hospital Virgen de las Nieves*).

Equipo TIC Hospitales de Granada: Rosario Moreno, Teresa Jiménez, María del Mar Ceres.

Resumen

Uno de los retos que plantea esta crisis sanitaria consiste en anticiparse a los efectos de los rebotes de la COVID-19. Los objetivos principales de esta investigación son estudiar la incidencia espacial de la COVID-19 en el Área Metropolitana de Granada y analizar los factores socioeconómicos que permitan identificar las áreas de mayor vulnerabilidad a la enfermedad. Con ello se pretende dotar a los gestores sanitarios de herramientas de la información obtenida en el periodo de tiempo en el cual la enfermedad se ha mostrado más hostil para orientar sus decisiones, así como facilitar instrumentos que permitan optimizar los recursos ante un rebrote. El estudio proporciona información cuantitativa y cualitativa sobre el comportamiento espacial y temporal de la enfermedad en dos periodos de tiempo del Área Metropolitana de Granada, el primero que abarca desde el 11 de marzo hasta el 15 de junio de 2020, y el segundo del 16 de junio hasta el 9 de septiembre del mismo año. Como resultados del trabajo se han obtenido los mapas de densidades o puntos calientes de la incidencia de la COVID-19, se han identificado los factores demográficos y socioeconómicos más correlacionados con la enfermedad en los 48 distritos que integran el Área Metropolitana de Granada, se ha construido un índice de vulnerabilidad socioeconómica de la COVID-19 para cada distrito, y se ha realizado una aplicación de los modelos de Kaplan-Meier para medir la ocupación de camas por casos de la COVID-19 en los hospitales de Granada. Las bases de datos han sido facilitadas por el Servicio Andaluz de Salud (incluye los resultados de las pruebas diagnósticas y serológicas de la COVID-19) y por el INE (información demográfica y socioeconómica a nivel de distrito).

Índice

1. Antecedentes	5
2. Objetivos	7
3. Materiales y métodos	9
3.1. Materiales	9
3.1.1. Microdatos	9
3.1.2. Información por distritos	9
3.1.3. Consideraciones éticas	9
3.2. Métodos	10
4. Análisis descriptivo de los positivos COVID-19	12
5. Patrones geográficos	15
5.1. Densidad espacial de positivos COVID-19	15
5.2. Edad de positivos COVID-19 por distritos	22
6. Determinantes demográficos y socio-económicos	25
6.1. Efecto ciudad y tamaño del distrito	25
6.2. Factores socioeconómicos del distrito	28
7. Vulnerabilidad de los distritos del Area Metropolitana de Granada	32
8. Evolución de la ocupación hospitalaria	34
8.1. Curvas de Kaplan-Meier	34
8.2. Extrapolación de la función de ingresos	37
8.3. Resultado final: cálculo del balance	37
9. Conclusiones	41

1. Antecedentes

La pandemia de la enfermedad del coronavirus de 2019, conocido como COVID-19, causada por el SARS-CoV2 (Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2) ha desafiado a la humanidad, generando un elevado estrés en los sistemas sanitarios y en la economía mundial. Las cifras globales a 11 de octubre de 2020, facilitadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en su página Web (Who Coronavirus Disease (COVID-19) Dashboard) indica que casi 37 millones se han infectado en el mundo (de ellas el 18,4% en Europa) y 1.067.476 han muerto (el 23% en Europa).

Pocos antecedentes se tienen de una pandemia de estas dimensiones. El más reciente por similitudes es el síndrome agudo respiratorio severo (SARS), causado también por un coronavirus y que también tuvo su origen en China a finales de 2002. En julio de 2003 la OMS consideró superada la enfermedad. De acuerdo a las estadísticas de la OMS, 8.098 personas en todo el mundo sufrieron la enfermedad, de las cuales 774 fallecieron a causa de este virus. Tanto las infecciones como las muertes estuvieron localizadas principalmente en Asia Oriental y Suboriental. En España solo se registró un contagio.

Este brote amenazó las perspectivas de crecimiento a corto plazo en Asia, sobre todo en China y Hong Kong. Las consecuencias económicas a corto plazo en esas regiones derivaron en una drástica reducción de la demanda interna, generada por una disminución de la confianza de los consumidores y, en consecuencia, del gasto en consumo. La demanda externa también se vio muy afectada, especialmente en aquellos países con elevada dependencia del turismo debido al aumento de riesgos e incertidumbre (Lee & McKibbin, 2004). Para contrarrestar los efectos depresivos en la economía, los gobiernos afectados se vieron obligados a expandir el gasto público, generando un aumento considerable de la deuda pública (Xiaoqin Fan, 2003). Con todo, los efectos negativos sobre la economía tuvieron una duración muy corta (entre un mes y dos trimestres), de modo que en el corto plazo las economías se recuperaron (Keogh-Brown & Smith, 2008).

Las cifras de casos de infección y de muertes de las dos situaciones, COVID-19 y SARS de 2003, ponen de manifiesto que la capacidad de propagación del actual SARS-Cov2 es mucho mayor que la del SARS de 2003, de modo que la enfermedad se está extendiendo a la población de forma generalizada y, previsiblemente, las consecuencias económicas y sociales negativas serán de mayor intensidad.

Una de las implicaciones que se desprende del análisis de las anteriores crisis sanitarias es que las estrategias de prevención son necesarias para amortiguar el impacto de una pandemia de estas características (Lai et al., 2004; Yen et al., 2006). En el contexto actual, las estrategias de prevención son también claves ante la aparición de nuevos brotes de esta enfermedad. Goscé et al. (2020) muestran que la acción inmediata en las primeras etapas de una epidemia en los distritos afectados en Londres habría amortiguado la propagación. No obstante, si bien un cierre prolongado es muy eficaz, dadas las consecuencias económicas y sociales tan negativas que genera (véase Blasco-Belled et al., 2020; Bonaccorsia et al., 2020; Fetting, 2020), deben considerarse también otras medidas como el confinamiento de la población de edad avanzada, pruebas diagnósticas generalizadas y el uso de

mascarillas para contribuir potencialmente a reducir las infecciones y las muertes (Leung et al., 2020; Prem, et al. 2020).

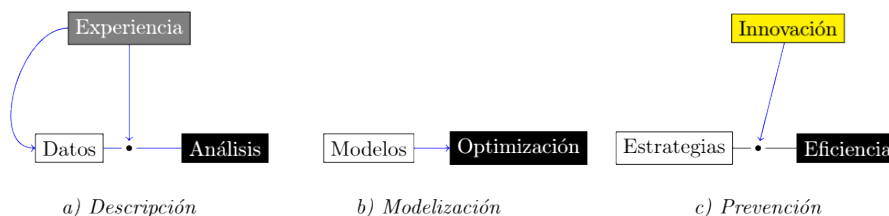
2. Objetivos

En esta investigación se analiza la incidencia espacial de la COVID-19 en el Área Metropolitana de Granada (la ciudad de Granada y sus 34 municipios circundantes), y se estudian los factores no clínicos que permitan identificar las áreas más vulnerables desde el punto de vista socioeconómico. Para ello, los objetivos específicos y consecutivos de este trabajo son los siguientes:

1. Analizar la incidencia de la enfermedad por edad y género (nivel de micro-datos).
2. Identificar los patrones geográficos de la enfermedad o puntos calientes donde el virus SARS-cov2 se ha mostrado con más virulencia y obtener la agrupación o imputación a los 48 distritos INE que conforman el Área Metropolitana de Granada.
3. Modelización de la asociación o correlación entre la incidencia de la enfermedad y factores demográficos y socioeconómicos de los 48 distritos estudiados (edad media, distribución de la población por edad, población, renta personal, renta del hogar, prestaciones por desempleo y carácter urbano).
4. Construcción de un índice compuesto de vulnerabilidad socioeconómica a la incidencia de la COVID-19 en los distritos.
5. Desarrollar modelos de optimización Kaplan-Meier para estimar proyecciones de la ocupación futura de camas por pacientes COVID-19.

Los resultados de esta investigación podrían proporcionar a los responsables de la gestión sanitaria información cuantitativa y cualitativa del comportamiento espacial y de la pandemia que les ayudaría en la optimización de los recursos sanitarios limitados ante la aparición de un nuevo rebrote. Asimismo, de este análisis se pueden establecer métodos y protocolos de actuación para futuras epidemias. La Figura 1 sintetiza el proceso en el que partiendo de la descripción del comportamiento espacial de la pandemia en el Área Metropolitana de Granada se pueden construir modelos que suministren información para la optimización de los recursos sanitarios ante un posible rebrote de forma que el sistema sanitario sea más eficiente.

Figura 1: Esquema de los objetivos.



En consecuencia, este proyecto contribuirá a desarrollar herramientas para informar y aportar mayores elementos de juicio en la toma de decisiones en la gestión sanitaria. En concreto, es muy deseable que los resultados de la investigación proporcionen mayor información sobre los factores no clínicos que pueden estar más correlacionados con la expansión del SARS-CoV2, así como la identificación de las micro-zonas más vulnerables al contagio de la enfermedad. El conocimiento de esta información es clave en la toma de decisiones de gestión sanitaria ante la posibilidad de un rebrote del virus.

Además, la experiencia acumulada a partir de la respuesta dada en los últimos meses a la epidemia, permite conocer con cierta precisión la función de transferencia que sustenta el modelo de la gestión de recursos por parte de los centros de salud en general. Asumiendo que su capacidad de respuesta será similar cuando se dé un rebrote, podemos adelantarnos para facilitar la información estratégica de gestión (número previsto de plazas UCI disponibles, respiradores, servicios de planta, camas generales, etc.), de forma que se puedan dimensionar adecuadamente los servicios, o preparar nuevas instalaciones o los recursos necesarios. Implementaremos también correcciones al modelo basadas en sistemas de inteligencia artificial, de aprendizaje automático, que permitirían al modelo matemático auto-corregirse en el caso de que la capacidad de respuesta no sea la misma, debido a otras circunstancias: por ejemplo, la apertura de nuevas salas UCI, u otros centros de apoyo, en positivo; o la tan temida coincidencia de la epidemia de la COVID-19 con la característica epidemia estacional de la gripe, en negativo.

Finalmente, querríamos indicar que, aunque la complejidad matemática del sistema propuesto es elevada y su utilidad real está sujeta a la inevitable asunción de una cierta estabilidad en las condiciones (desconocidas) del rebrote, los recursos necesarios para poder implementarlo son pequeños respecto del beneficio en capacidad y eficiencia que puede aportar.

3. Materiales y métodos

3.1. Materiales

En esta investigación se ha trabajado con información procedente de varias bases de datos, tanto a nivel individual o micro datos como a nivel agregado de distrito.

3.1.1. Microdatos

La información a nivel individual se refiere a las personas a las que se les ha realizado alguna prueba diagnóstica de la COVID-19 en la provincia de Granada durante dos periodos de tiempo diferentes: el primero de 11 de marzo a 15 de junio de 2020 y el segundo de 16 de junio a 9 de septiembre de 2020. La información procede de dos ficheros del Servicio Andaluz de Salud (SAS), el primero procedente de los resultados de las pruebas diagnósticas y serológicas de la COVID-19, y el segundo de Ingreso y Altas por esta enfermedad en los hospitales de Granada. Las variables analizadas son edad, género, enfermedades de riesgo, resultado de la prueba diagnóstica COVID-19, fecha en la que se realizó la prueba, traslado del paciente que suponga entrada o salida de la UCI y domicilio de residencia. A partir de esta información, se ha obtenido una base de microdatos que recoge la información de las personas que han registrado positivo en alguna de las pruebas diagnósticas de la COVID-19 y que residen en alguno de los 35 municipios que conforman el Área Metropolitana de Granada. Para el periodo de 11 de marzo a 15 de junio, el tamaño muestral es 4.084 personas. Para el periodo 16 de junio a 9 de septiembre el tamaño muestral es de 2.033 personas.

3.1.2. Información por distritos

Con la información sobre el domicilio de los pacientes positivos en COVID-19, se han georreferenciado las observaciones resultando un tamaño muestral de 3.443 personas para el periodo 11 de marzo a 15 de junio de 2020. El tamaño se ha reducido de 4.084 a 3.443 personas por errores en los domicilios y en el proceso de georreferenciación. Posteriormente, la información de las 3.443 personas positivas en COVID-19 se ha agregado o imputado a los 48 distritos código INE que conforman el Área Metropolitana de Granada. La información sobre el número de positivos por distrito se ha complementado con la información demográfica y socioeconómica que facilita el INE por distritos en el proyecto, “Atlas de distribución de renta de los hogares”.

3.1.3. Consideraciones éticas

La investigación no tiene carga ética, y no es necesario el consentimiento informado de las personas a las que se les ha realizado una prueba de detección de la COVID-19. El equipo de trabajo no tiene relación alguna con los pacientes. Se trata de un estudio retrospectivo con información sobre los positivos COVID-19 detectados a los que se les realizó alguna prueba diagnóstica desde marzo a septiembre de 2020, en la Área Metropolitana de Granada de Granada. Para asegurar el anonimato de los pacientes el NUHSA ha sido sustituido por un identificador anónimo, y a partir de la calle y número del domicilio se ha asignado el distrito que constituye una unidad de análisis anónima. Con todo, para tener

acceso a las bases de datos del SAS, la investigadora principal ha firmado un compromiso de confidencialidad y se ha requerido el consentimiento del Hospital Virgen de las Nieves y del Hospital San Cecilio. Asimismo, se ha cursado la correspondiente solicitud al Comité Coordinador de Ética de la Investigación Biomédica de Andalucía.

3.2. Métodos

La metodología que llevada a cabo para alcanzar los objetivos descritos en la sección anterior esta estructurada en cuatro fases que se describen a continuación.

- 1 Detección de patrones geográficos (distritos INE) que denominamos áreas calientes (hot spots), en los cuales la propagación de la enfermedad muestra una heterogeneidad espacial significativa. El análisis espacial puede arrojar información muy útil durante el proceso de infección aguda de la población (Higgs et al., 2020; Meade, 2000).

La visualización de patrones espaciales y temporales permite vigilar y mejorar la comprensión de la dinámica de transmisión de la enfermedad y, posteriormente, implementar el diseño, aplicación y evaluación de estrategias para el control de la pandemia. Para llevar a cabo esta investigación se utilizan estrategias cuantitativas estadísticas e inteligencia artificial junto con herramientas de visualización. Esta metodología se ha utilizado en el estudio de otras epidemias en el Sudeste de Asia con resultados satisfactorios y que también están mostrando ser eficaces en el control de esta enfermedad (Lee et al., 2004).

- 2 La segunda fase de la investigación consiste en identificar un conjunto de indicadores que determinen la concentración espacial de la enfermedad y que subyacen en una segunda capa no visible del fenómeno. La identificación de sistemas de indicadores socioeconómicos que puedan definir aglomeraciones geográficas o puntos calientes dentro de cada distrito sanitario permitirá proporcionar posibles estrategias de prevención ante un rebrote del virus. De acuerdo a Goscé et al. (2020) el refuerzo de la atención primaria en esos distritos, junto con medidas complementarias, contribuirían a un control de la epidemia más eficiente y, por consiguiente, a prevenir futuras saturaciones en los hospitales.
- 3 La identificación de los sistemas de indicadores o variables socioeconómicas permite la construcción de indicadores compuestos a través de métricas. Estos indicadores compuestos proporcionan un mapa de vulnerabilidad ante epidemias que permiten diseñar estrategias precoces para atenuar el impacto de nuevos rebrotes en los sistemas sanitarios de salud.
- 4 En la cuarta fase se desarrollan modelos de optimización de Kaplan-Meier (Kleinbaum and Klein, 2012) que nos permiten la medición de la presión asistencial y estrategias para la contención de un brote de la COVID-19. A partir de la experiencia documentada en los últimos meses sobre la gestión de la pandemia, es posible hacer una estimación de la flexibilidad y capacidad de respuesta de los sistemas sanitarios (centros de atención primaria, hospitales, distritos sanitarios). Nuestra metodología

combina procedimientos clásicos de obtención de curvas de supervivencia con la extensión de indicadores siguiendo desarrollos propios de inteligencia artificial que hemos desarrollado recientemente (Calabuig et al., 2020).

4. Análisis descriptivo de los positivos COVID-19

En esta sección se reporta un análisis descriptivo de la incidencia de la COVID-19 en el Area Metropolitana de Granada. La base de datos analizada incluye todos los casos de COVID-19 con resultado positivo en algún test diagnóstico (PCR, serología o test de anticuerpos) desde el 11 de marzo de 2020 hasta el 15 de junio del mismo año.

El total de personas con resultado residentes en el Area Metropolitana de Granada es 4084. El 63.10% de las personas con una prueba positiva era mujer. El rango de edad varía de 0 a 102 años. De quienes se tiene la información sobre su nacionalidad (4.031 pacientes COVID-19), el 98.46% son de nacionalidad española y el resto de 27 nacionalidades diferentes.

La Tabla 2 muestra los estadísticos descriptivos y de posición de la edad de todos los positivos COVID-19 y también distinguiendo entre hombres y mujeres. La información sobre los estadísticos permite deducir que la dispersión respecto a la edad media (desviación estándar y CV) de pacientes COVID-19 es similar en hombres y mujeres. Sin embargo, las medidas de posición muestran diferencias destacables entre la edad de los positivos COVID-19 hombres y mujeres. En el primer cuartil de la edad de los pacientes hombres y mujeres hay una diferencia de cuatro años. Es decir, el 25% de las mujeres están por debajo de los 42 años de edad, mientras que en el caso de los hombres el 25% está por debajo de los 46. Con la mediana la diferencia de edad es prácticamente la misma (tres años), pero con el tercer cuartil la diferencia de edad aumentó a 7 años. El 75% de los positivos hombres tiene una edad entre 0 y 71 años, mientras que el 75% de las positivos mujeres estaba por debajo de 64 años. Al igual que nos mostraban las figuras anteriores, se deduce que, en términos porcentuales o relativos, la enfermedad COVID-19 ha afectado a más hombres mayores que a mujeres mayores. La edad media de los positivos fue de 55,75 años.

Tabla 1: Estadísticos descriptivos y medidas de posición de la edad de los positivos COVID-19 en el Area Metropolitana de Granada, 11 marzo a 15 junio de 2020

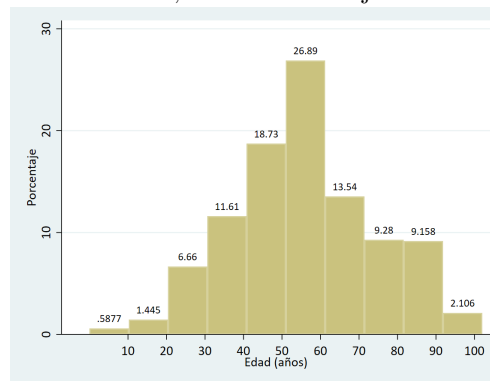
	Hombres	Mujeres	Total
Media	57,48	54,74	55,75
Desviación típica	18,16	18,30	18,29
Mínimo	0	0	0
Máximo	99	102	102
Primer Cuartil	46	42	44
Mediana	57	54	55
Tercer cuartil	71	64	67
CV	0,32	0,33	0,33
n	1507	2577	4084

n representa el número de observaciones y CV es el coeficiente de variación de Pearson

(desviación estándar/media)

La Figura 2 recoge las frecuencias y densidades de personas diagnosticadas de COVID-19 por intervalos de edad. Teniendo en cuenta el rango de edad, se han considerado 10 intervalos de clase de modo que cada partición se refiere a un intervalo de 10 años. Así, en el intervalo 50-60 años es donde más casos se registraron, aproximadamente el 27 % del total. A partir de 60 años, que es la edad señalada como factor de riesgo (Abellán et al., 2020), se registró el 34,08 %. Por el contrario la incidencia en la población más joven (20 años o menos) fue la más baja, alrededor del 2 % del total de los diagnosticados.

Figura 2: Histograma de frecuencias de la edad de los positivos COVID-19 en el Área Metropolitana de Granada, 11 marzo a 15 junio de 2020 (n=4.084)



La edad media de los hombres (57,48 años) es mayor que la de las mujeres (54,74 años) y esta diferencia es estadísticamente significativa (test t de Student: $t(4081) = 4,63$, p-valor $< 0,001$), aunque puede ser considerada una diferencia muy pequeña (d Cohen=0,15). La figura 3 recoge el histograma de frecuencias de la edad de positivos COVID-19 distinguiendo entre hombres y mujeres. De 50 a 60 años se localizaron alrededor del 28 % de las pacientes COVID-19 mujeres y el 25,55 % de los pacientes hombres. Los pacientes hombres mayores de 60 años representaron el 39 % de todos los pacientes hombres, mientras que las pacientes mujeres de más de 60 años representaron el 30,66 % de todas las pacientes mujeres. Es decir, el porcentaje de pacientes en edad de riesgo es inferior en las mujeres. La incidencia en la población más joven (20 años o menos) distinguiendo por género fue 2,59 % en hombres y 1,71 % en mujeres.

La Figura 4 ayuda a visualizar la misma idea al presentar la distribución de la edad de los pacientes COVID-19 distinguiendo por género. Un mayor porcentaje de pacientes hombres está situado en una edad más elevada (la caja está más alta), pero las observaciones de las mujeres están más concentradas (altura de la caja o rango intercuartílico = 22 años) que la de los hombres (rango intercuartílico = 25 años).

Figura 3: Histograma de frecuencias de la edad de los positivos COVID-19 por género en el Área Metropolitana de Granada, 11 marzo a 15 junio de 2020 ($n_{Hombre}=1.507$, $n_{Mujer}=2.577$)

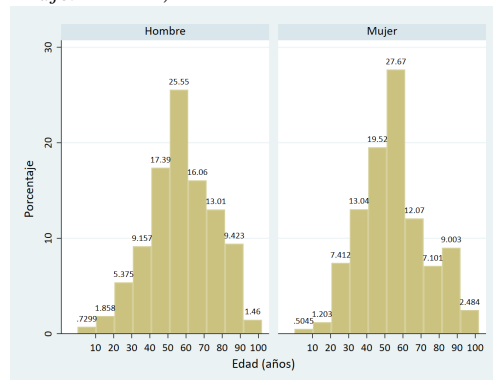
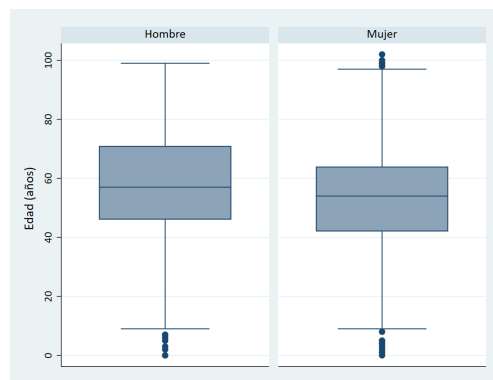


Figura 4: Diagrama de caja de la edad de los positivos COVID-19 por género en el Área Metropolitana de Granada, 11 marzo a 15 junio de 2020 ($n_{Hombre} = 1,507$, $n_{Mujer} = 2,577$)



5. Patrones geográficos

La representación gráfica de patrones geográficos de un determinado fenómeno permite una mejor interpretación de la información implícita que poseen. Por consiguiente, se pueden desvelar pautas o comportamientos que los datos en bruto no consiguieran mostrar. En la actualidad, la metodología de expresar distribuciones y densidades geográficas de la enfermedad COVID-19 se ha convertido en una necesidad para poder conocer el impacto del virus. En esta sección, se examinan los patrones geográficos de la enfermedad en los dos periodos analizados en este estudio en el Area Metropolitana de Granada y también a través de la división administrativa en 48 distritos de Granada (Figuras 5 y 6).

Esta división en distritos INE obedece a una unidad geográfica sub-municipal cuya finalidad persigue localizar de una forma más exhaustiva la variabilidad que puede mostrar la enfermedad en el área estudiada¹. Cabe destacar que esta partición es distinta a las Zonas Básicas de Salud del Area Metropolitana de Granada contemplado en el Mapa de Atención Primaria de Salud en Andalucía establecido en la Orden de 7 de junio de 2002. Aun existiendo coincidencias entre las dos subdivisiones existen divergencias que deben ser tenidas en cuenta a la hora de tomar decisiones en el ámbito de la gestión sanitaria.

5.1. Densidad espacial de positivos COVID-19

Siguiendo la metodología presentada de Silverman (1986), se han elaborado mapas que representan puntos georreferenciados de concentraciones espaciales que permiten definir densidades. Las Figuras 7 y 8 proporcionan los mapas de densidades de los dos periodos analizados. Para examinar con mayor detalle los distritos que acumulan mayor número de positivos, presentamos las Figuras 9 y 10 que muestran las densidades en las áreas más afectadas por la enfermedad y que corresponden al municipio de Granada. En todas ellas, se puede observar que las acumulaciones de positivos se registran en los mismos distritos. Se desprende de estos comportamientos que existen determinantes asociados a esas zonas geográficas que favorecen una mayor concentración de positivos y que posteriormente pasaremos a analizar.

Sin embargo, el número de casos positivos se puede acumular en aquellos distritos donde más población reside. Para eliminar esta posible relación espuria, y tener en cuenta el efecto escala, a continuación se realiza el análisis espacial en términos de ratio, es decir considerando el número de positivos por cada 1.000 habitantes. La Figura 11 izquierda muestra la tasa de contagios por cada 1.000 habitantes por COVID-19 en cada distrito del Area Metropolitana entre el 11 de marzo y el final de la desescalada, el 15 de junio de 2020. El Distrito 1 de Granada, Fuente Vaqueros, el Distrito 3 de Granada, el Distrito 2 de Maracena y Cajar son las zonas con mayor tasa de contagio en este primer periodo. En el lado

¹El Proyecto Europeo “data collection for sub-national statistics (mainly cities)” proporciona información sobre las condiciones de vida en las ciudades de la Unión Europea y cuyo objetivo pretende recopilar, estimar y publicar datos estadísticos demográficos y socioeconómicos. Dicho proyecto es llevado a cabo por la Dirección General de Política Regional y Urbana (DG REGIO), coordinado por Eurostat y desarrollado por el Instituto Nacional de Estadística (INE)

Figura 5: Distritos Area Metropolitana de Granada.



Figura 6: Distritos municipio de Granada.

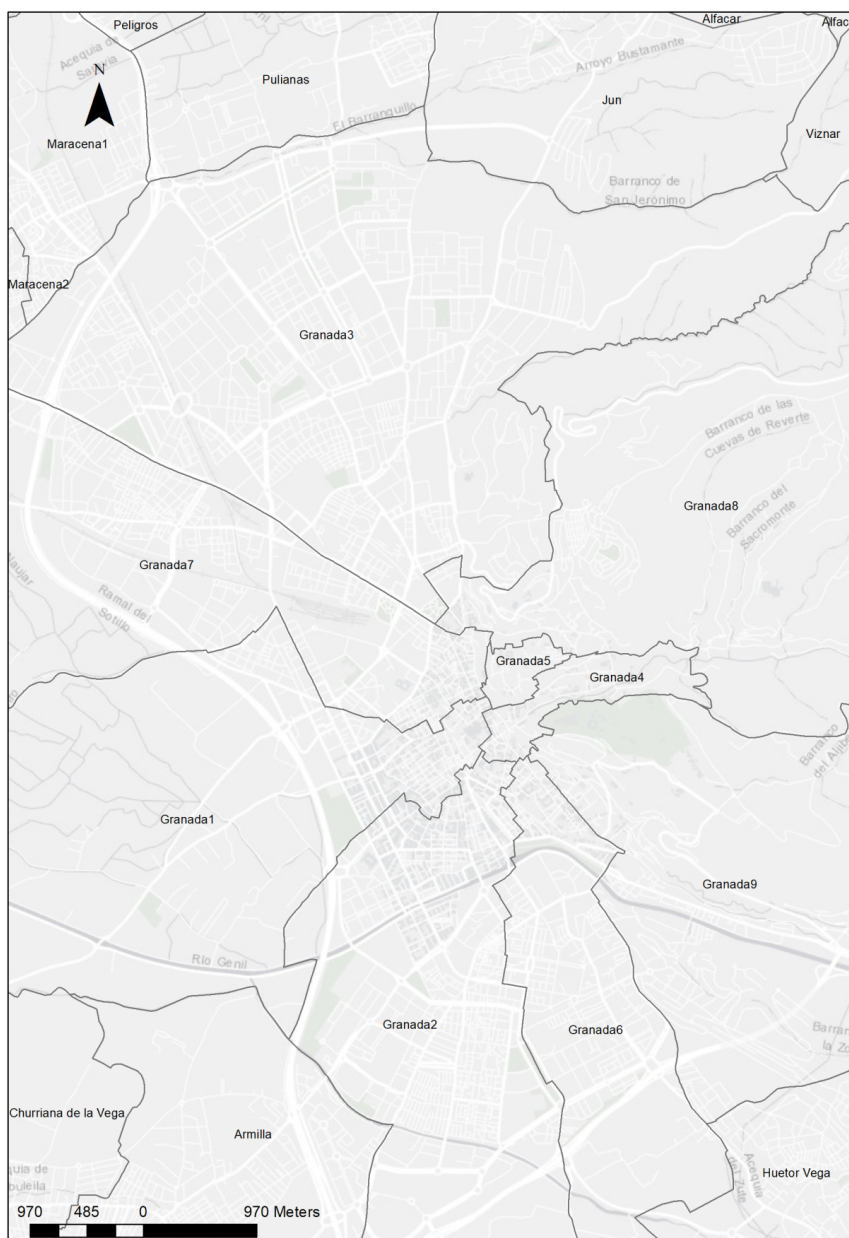


Figura 7: Densidad de positivos detectados del Area Metropolitana de Granada entre el 1 de marzo y el 15 de junio de 2020

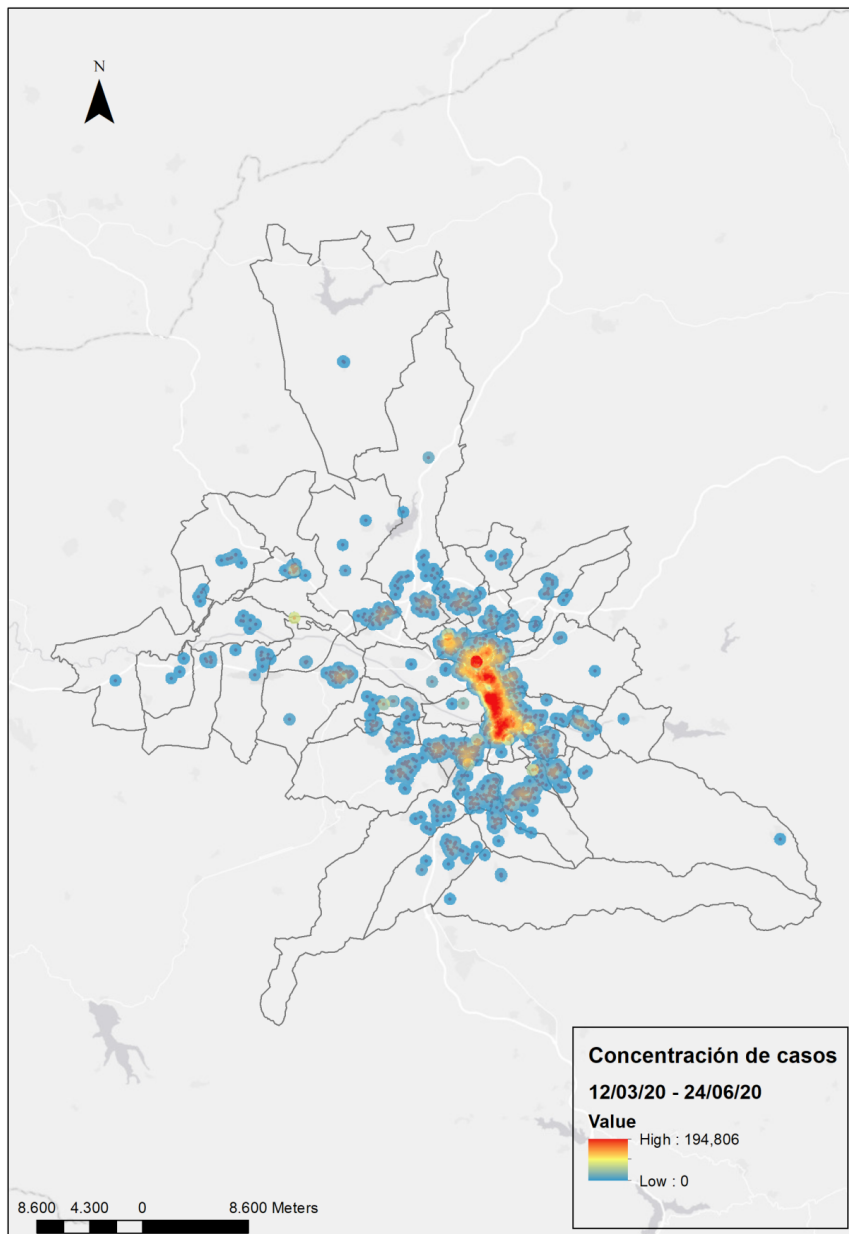


Figura 8: Densidad de positivos del Area Metropolitana de Granada entre el 16 de junio y el 7 de septiembre de 2020

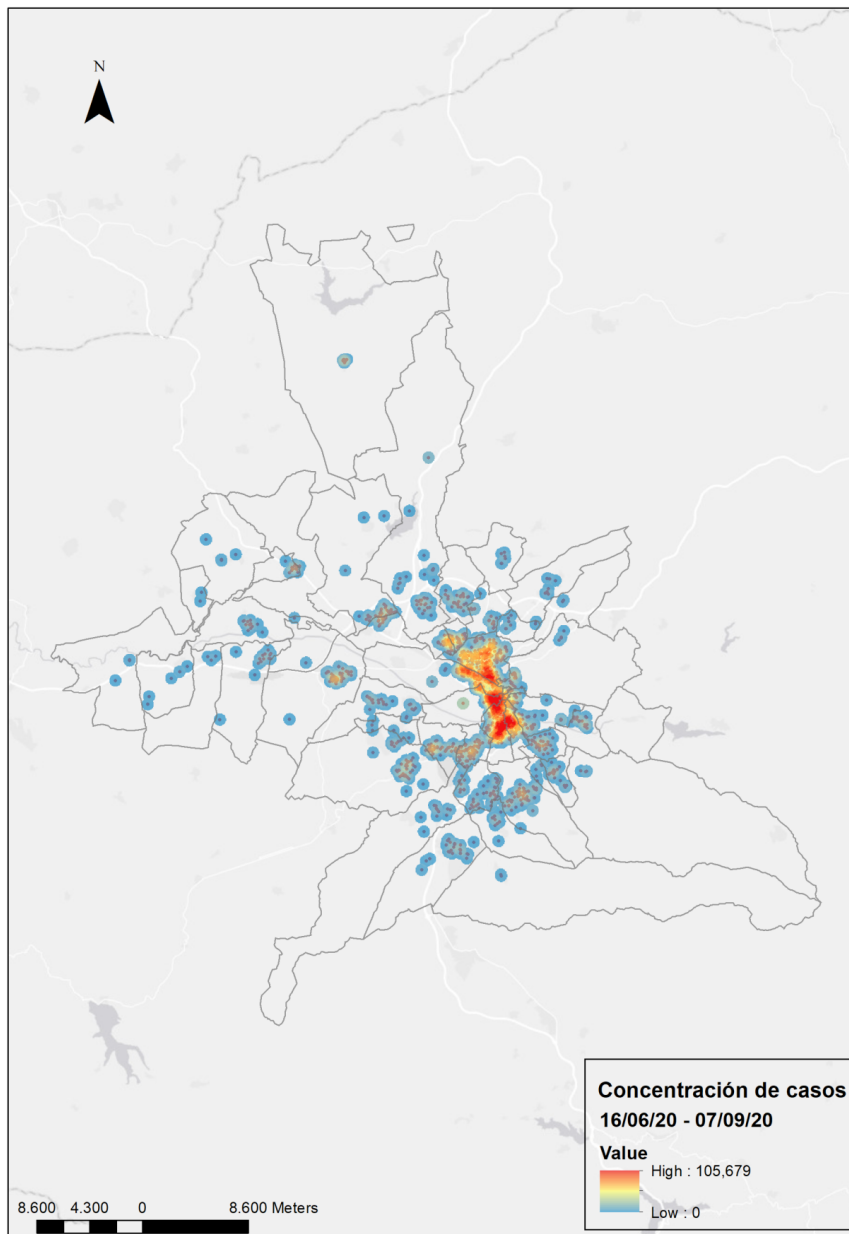


Figura 9: Densidad de positivos en el municipio de Granada entre el 1 de marzo y el 15 de junio de 2020

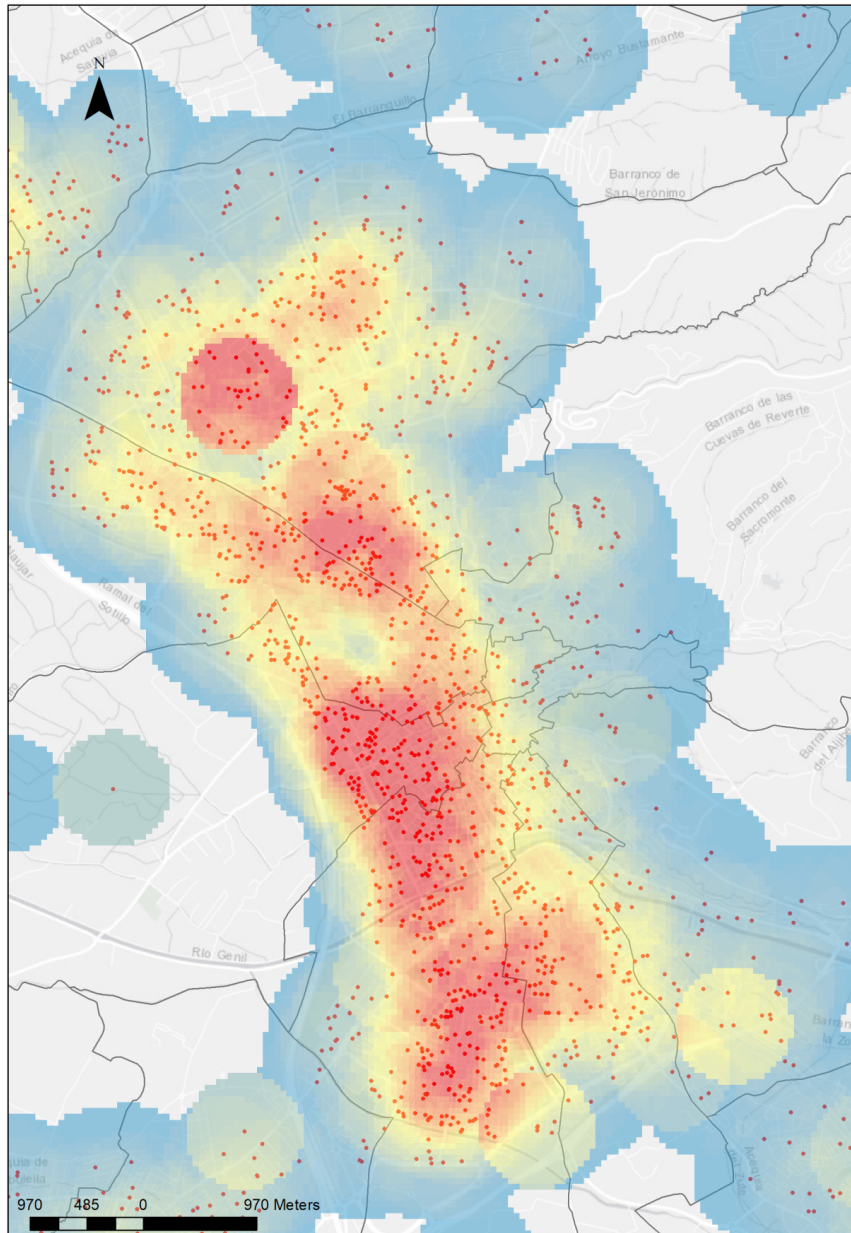
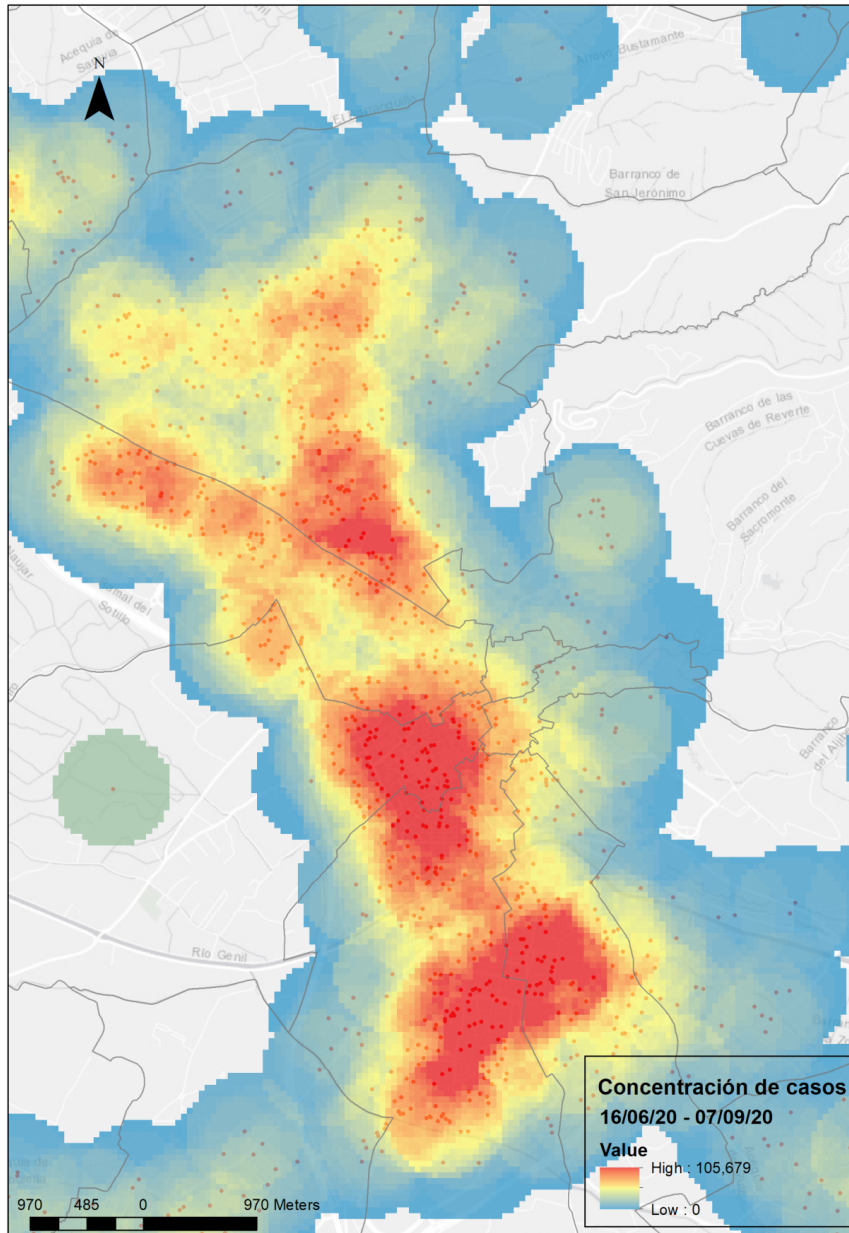


Figura 10: Densidad de positivos en el municipio de Granada entre el 16 de junio y el 7 de septiembre de 2020

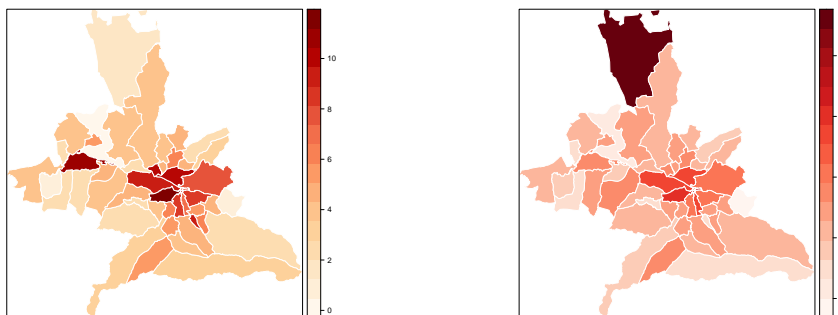


opuesto, El segundo Distrito de Pinos Puente, Pinos Genil, Lachar, Colomera y Cijuela presentan tasas más bajas. En términos generales el Area Metropolitana de Granada presenta un promedio de 5 contagios por cada 1000 habitantes en este periodo.

Adicionalmente, la Figura 11 derecha muestra la tasa de positivos por cada 1.000 habitantes desde el 16 de junio hasta el 9 de septiembre. En este periodo los distritos que muestran una mayor incidencia son Colomera, Granada 4, Granada 1, Granada 7, Granada 3. En el lado opuesto los distritos que muestran una menor incidencia son Pinos Genil, Pinos Puente 2, Cullar Vega, Cijuela, Valderrubio.

Aunque el mapa muestra diferencias significativas en la distribución coloreada de positivos respecto de la etapa anterior, las correlaciones de Kendall y de Spearman proporcionan evidencias estadísticas de correlación en orden entre las dos muestras ($\rho=0,71$ y $\tau=0,58$ respectivamente). Aunque las estimaciones de estos parámetros son algo inferiores respecto del análisis sobre el número de positivos por distrito, no parece existir una evolución heterogénea en la distribución de la tasa de positivos por cada 1.000 habitantes en los distritos de Granada entre los periodos analizados. Se puede concluir que salvo algunas excepciones que señalan a algunos distritos del extrarradio del municipio de Granada con altas tasas de contagio por cada 1.000 habitantes, que los distritos del centro del municipio de Granada reflejan tasas de contagio elevadas en los dos periodos estudiados, exhibiendo un patrón que se repite y que es necesario analizar.

Figura 11: Número de positivos por cada 1.000 habitantes en el Area Metropolitana de Granada Izquierda: 11 de marzo al 15 de junio. Derecha: del 16 de junio al 09 de septiembre.



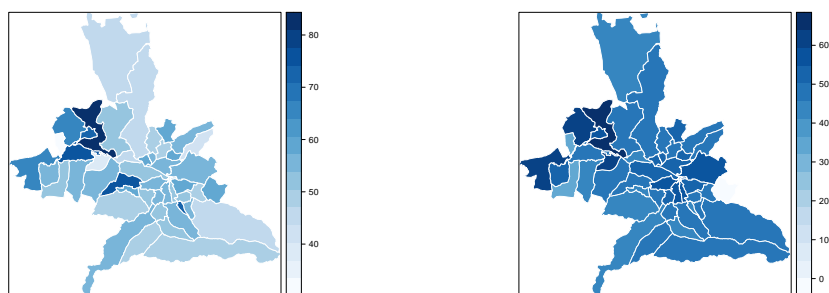
5.2. Edad de positivos COVID-19 por distritos

Otro aspecto a destacar que se desprende del análisis descriptivo está relacionado con la edad media de los positivos en cada distrito del Area Metropolitana de Granada. Atendiendo a los informes semanales que proporciona la Junta de Andalucía, la edad del paciente representa un factor de riesgo respecto de las hospitalizaciones². Se han calculado los promedios de edad de los positivos en el

²<https://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/salud/COVID19.html> Dirección General de Salud Pública y Ordenación Farmacéutica (SAS). 2020

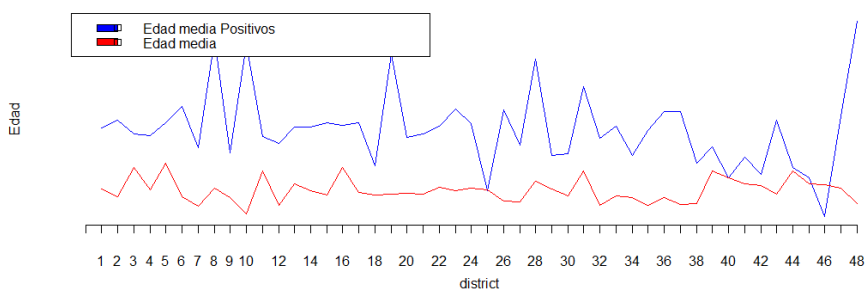
periodo del 11 de marzo al 15 de junio y se ha comparado con la edad media por cada distrito en el siguiente periodo analizado del 16 de junio al 09 de septiembre de 2020. La Figura 14 muestra en la izquierda el promedio por distrito de los positivos detectados en el primer periodo, en la parte derecha se muestran los promedios de edad por distrito obtenidos el segundo periodo.

Figura 12: Izquierda: Promedio de edad de positivos detectados entre el 16 de junio y 09 de septiembre de 2020 en los distritos del Area Metropolitana de Granada. Derecha: Promedio de edad por distritos del Area Metropolitana de Granada.



La Figura 13 pone de relieve que la edad media de los positivos entre el 11 de marzo y el 15 de junio de 2020 es muy superior a la edad media de cada distrito del Area Metropolitana. En los periodos iniciales de la pandemia se realizaban pruebas diagnósticas de la COVID-19 a los positivos que enfermaban. En consecuencia la edad promedio de los positivos resultaba más elevada que el promedio de edad de la población.

Figura 13: Comparativa por distritos de Area Metropolitana de Granada entre el promedio de edad y el promedio de edad de los positivos detectados entre el 11 de marzo y el 15 de junio de 2020

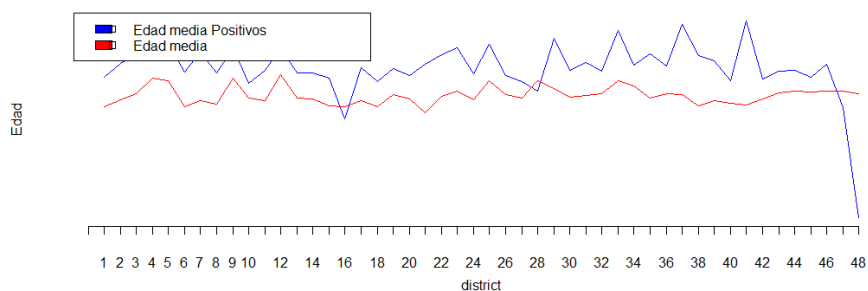


Adicionalmente podemos realizar el análisis comparativo anterior pero en esta ocasión en el periodo comprendido entre el 15 de junio y el 9 de septiembre.

De nuevo, la Figura 14 muestra diferencias notables entre los dos promedios, sin embargo tal y como se desprende de la Figura 13 la diferencia no es tan notable como en el periodo anterior. Las pruebas diagnósticas realizadas reflejan una disminución de la edad promedio en general.

A medida que el número de contagios aumente, la edad promedio de la población contagiada acumulada convergerá a la edad promedio de cada distrito. Por consiguiente, se puede analizar qué rangos de edad de la población todavía no han pasado la enfermedad en cada distrito. Atendiendo a estos resultados, es posible imputar a cada distrito un riesgo mayor o menor en función de la proporción de población vulnerable que no ha sufrido la enfermedad.

Figura 14: Comparativa por distritos entre el promedio de edad y el promedio de edad de los positivos detectados entre el 16 de junio y el 9 de septiembre de 2020



6. Determinantes demográficos y socio-económicos

El objetivo de esta fase consiste en identificar un conjunto de indicadores que determinen la concentración espacial de la enfermedad y que subyacen en una segunda capa no visible del fenómeno en el periodo del 11 de marzo hasta el 15 de junio. La identificación de un conjunto de indicadores que puedan definir aglomeraciones geográficas o puntos calientes dentro de cada distrito puede proporcionar estrategias de prevención ante rebrotes del virus. Atendiendo a esta identificación y en virtud de los resultados obtenidos, es posible proponer estrategias sanitarias para una mayor eficiencia de los recursos.

A partir de la información a nivel individual ($n=3.443$) se ha imputado a cada uno de los 48 distritos que integran la ciudad de Granada y su Área Metropolitana la información sobre el número de positivos en COVID-19.

6.1. Efecto ciudad y tamaño del distrito

Como primera aproximación estudiamos la distribución del número de positivos en COVID-19 y del ratio número de positivos por cada 1.000 habitantes distinguiendo entre: (1) los distritos localizados en la ciudad de Granada y los localizados en el área metropolitana y (2) los distritos con 10.000 o más habitantes y los distritos con menos de 10.000 habitantes. Las tablas 6 y 7 presentan los valores de los principales estadísticos descriptivos, tanto del número de positivos COVID-19 como del ratio por cada 1.000 habitantes, de 11 de marzo a 15 de junio de 2020.

Tabla 2: Estadísticos descriptivos y medidas de posición del número de positivos COVID-19 por distritos del Área Metropolitana de Granada, 11 marzo a 15 junio de 2020

	Ciudad	A. Metr.	≥ 10000 hab.	< 10000 hab.	Total
Media	229,56	35,31	152,42	18,86	71,73
Desviación	208,63	32,29	158,44	15,96	118,84
Mínimo	8	1	48	1	1
Máximo	616	148	616	57	616
1 ^{er} cuartil	57	7	55	6	10,50
Mediana	208	28	72	15	36,50
3 ^{er} cuartil	308	55	208	28	59,50
Cv	0,91	0,91	1,04	0,85	1,66
n	9	39	19	29	48

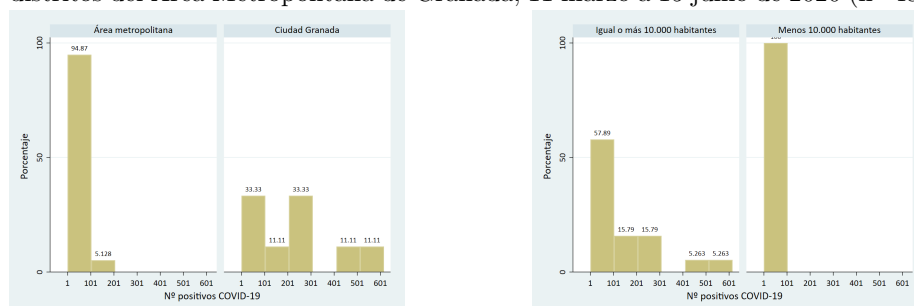
Las Figuras 15 y 16 muestran los histogramas de distribución de la incidencia de la COVID-19 en los distritos del Área Metropolitana de Granada considerando esa doble distinción geográfica y demográfica. La Figura 17 representa el diagrama de caja para el ratio número de positivos COVID-19 por 1.000 habitantes, distinguiendo por localización de los distritos (área metropolitana o en la ciudad) y por el tamaño de los distritos (igual o más de 10.000 habitantes y menos de

Tabla 3: Estadísticos descriptivos y medidas de posición del número de positivos COVID-19 por cada 1.000 habitantes para los distritos del Area Metropolitana de Granada, 11 marzo a 15 junio de 2020

	Ciudad	A. Metr.	≥ 10000 hab.	< 10000 hab.	Total
Media	8,62	4,19	6,16	4,27	5,20
Desviación	1,28	2,26	2,53	2,63	2,73
Mínimo	6,94	0,47	2,75	0,47	0,47
Máximo	11,21	11,07	11,21	11,07	11,21
1 ^{er} cuartil	8,02	2,73	4,19	2,59	2,86
Mediana	8,50	3,81	5,16	3,64	4,59
3 ^{er} cuartil	8,93	5,08	8,54	5,30	6,74
CV	0,15	0,54	0,41	0,62	0,54
n	9	39	19	29	48

10.000 habitantes).

Figura 15: Histograma de frecuencias del número de positivos COVID-19 en los distritos del Área Metropolitana de Granada, 11 marzo a 15 junio de 2020 (n=48)



Considerando el número de positivos COVID-19, sin corregir por la población de los distritos, parece evidente que la incidencia de la COVID-19 es un fenómeno asociado a la ciudad de Granada y a los distritos de más de 10.000 habitantes. El 95% de los distritos del área metropolitana ha registrado menos de 100 casos y todos los distritos de menos de 10.000 habitantes registraron menos de 58 casos (la media del Área Metropolitana que incluye la ciudad de Granada es 71,73 casos por distrito).

Tomando como referencia el número de positivos de COVID-19 por 1.000 habitantes, es decir, considerando la incidencia del virus en términos relativos, las conclusiones van en la misma dirección. Para el conjunto de los 48 distritos el número de positivos por 1.000 habitantes es 6,47. Los nueve distritos de la ciudad de Granada han alcanzado ratios por encima de esta cifra. Exceptuando los distritos Fuente Vaqueros, Cájar y Pulianas, todos los distritos del área metropolitana con menos de 10.000 habitantes han registrado ratios inferiores a 6,47 positivos por 1.000 habitantes.

En la misma dirección, el diagrama de caja refleja la mayor incidencia en los

Figura 16: Histograma de frecuencias del número de positivos COVID-19 por 1.000 habitantes en los distritos del Área Metropolitana de Granada, 11 marzo a 15 junio de 2020 (n=48)

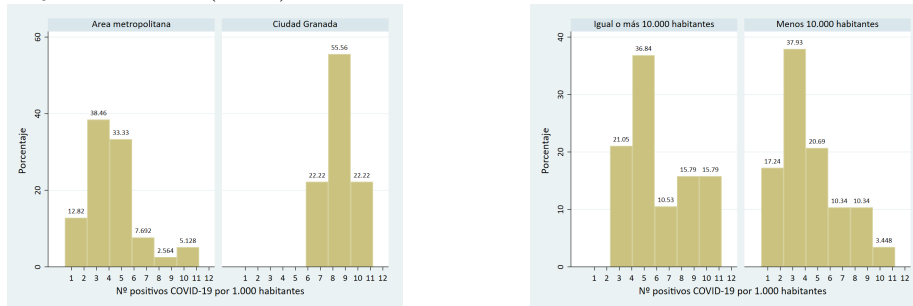
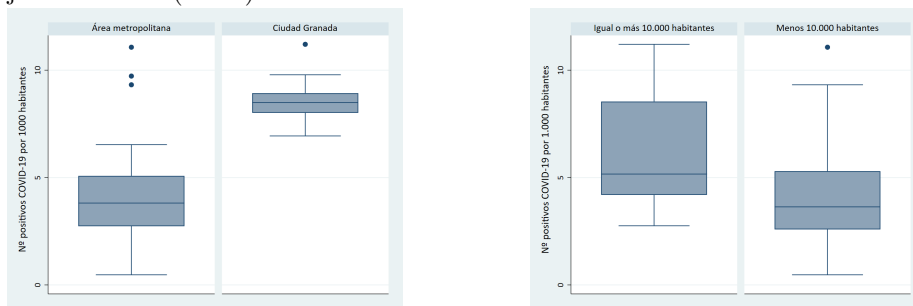


Figura 17: Diagramas de caja del número de positivos COVID-19 por 1.000 habitantes en los distritos del Área Metropolitana de Granada, 11 marzo a 15 junio de 2020 (n=48)



distritos de la ciudad y en los de mayor tamaño. La incidencia de la COVID-19 ha sido estadísticamente mayor en los distritos de la ciudad que en los localizados en el área metropolitana (test Mann-Whitney, $z = 2,604$, $p = 0,0092$) y también ha sido más alta en los distritos de 10.000 habitantes o más (test Mann-Whitney, $z = -4,055$, $p = 0,0001$). Adicionalmente, el diagrama de caja detecta un distrito en la ciudad de Granada con un valor atípicamente alto teniendo en cuenta como está distribuido el ratio COVID-19 en el resto de los distritos de la ciudad. Se trata del distrito Granada 1 con un ratio de COVID-19 de 11,21. Asimismo, los distritos Fuente Vaqueros (ratio COVID-19 = 11,07), Maracena 2 (9,73) y Cájjar (9,32) localizados en el área metropolitana también registraron valores atípicamente altos.

El diagrama detecta un distrito en la ciudad de Granada un valor atípicamente alto teniendo en cuenta como está distribuida la ratio COVID-19 en el resto de distritos de la ciudad. Se trata del distrito 1 con un ratio de COVID-19 de 11,21. Asimismo, los distritos Fuente Vaqueros (ratio COVID-19 = 11,07), Maracena 2 (9,73) y Cajar (9,32) localizados en el Area Metropolitana también registraron valores atípicamente altos.

6.2. Factores socioeconómicos del distrito

La Tabla 4 informa sobre las variables que vamos a estudiar en esta sección. La información ha sido obtenida de INE, Atlas de distribución de renta de los hogares. Adicionalmente, como ya se ha indicado, la información para elaborar la variable COVID-19 se ha obtenido a partir de la información geográfica a nivel individual o de paciente ($n=3.443$), a partir de la imputación geográfica por distritos del número de positivos y la tasa de positivos por cada 1.000 habitantes.

Tabla 4: Variables y definiciones

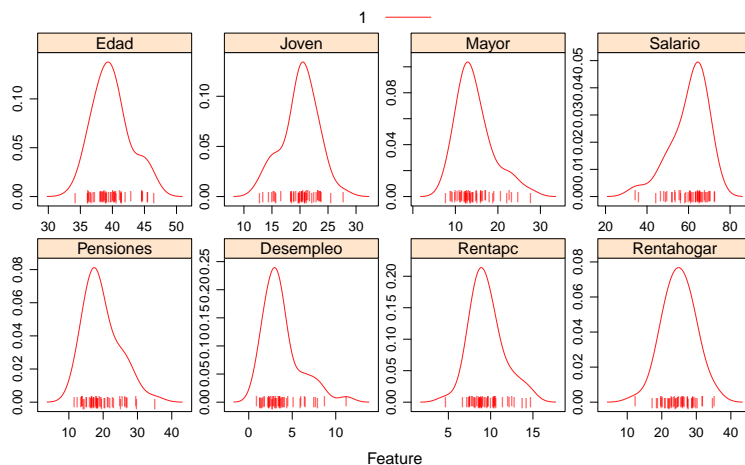
Variable	Definición
COVID-19	Número de positivos residentes en la ciudad de Granada y su área metropolitana por cada 1.000 habitantes
edad	Edad media de la población del distrito.
joven	Porcentaje de la población del distrito menor 18 años.
mayor	Porcentaje de la población del distrito mayor 65 años.
salario	Porcentaje del ingreso familiar en concepto de salario.
pensiones	Porcentaje del ingreso familiar en concepto de pensiones.
desempleo	Porcentaje del ingreso familiar en concepto de prestación por desempleo.
rentahogar	Renta por hogar en miles de euros.
ciudad	Toma valor 1 si el distrito es de la ciudad de Granada y 0 en caso contrario.
tamaño	Toma valor 1 si la población del distrito es igual o superior a 10.000 habitantes y 0 en caso contrario.

La Figura 18 muestra las densidades de cada variable respecto de los cuartiles de la variable tasa de positivos por cada 1.000 habitantes. La línea roja corresponde a los distritos que están por debajo del 25 % de la tasa media de positivos (1), la azul discontinua entre el 25 % y el 50 % (2), la verde entre el 50 % y el 75 % (3) y por último la negra discontinua mayor del 75 % y el 100 % (4). Por ejemplo, para la variable desempleo se observa como los distritos que se encuentran en el último cuartil, es decir aquellos que tienen una tasa de positivos por cada 1.000 habitantes más elevada, su densidad se concentra entre el 0 y el 5 por ciento, es decir, un desempleo muy bajo, sin embargo los que tienen una incidencia más baja en la tasa de positivos, la densidad es más plana y con porcentajes de desempleo más elevados.

Adicionalmente, la Figura 19 nos muestra los diagramas de cajas por cada cuartil y variable. Estas cajas permiten visualizar de forma ágil las relaciones que existen entre los distritos que muestran más incidencia o menos y las variables analizadas, y que posteriormente serán analizadas en modelos de regresión.

Para estudiar las asociaciones entre el ratio de pacientes COVID-19 por cada 1.000 habitantes (11 marzo a 15 junio de 2020) en los 48 distritos del Área Metropolitana de Granada y los factores demográficos y socioeconómicos, calculamos el coeficiente de correlación de Pearson. La Figura 20 muestra la matriz de correlaciones. Los coeficientes de correlación de Pearson entre el número de

Figura 18: Densidades respecto de los cuartiles de la tasa de positivos por cada 1.000 habitantes.

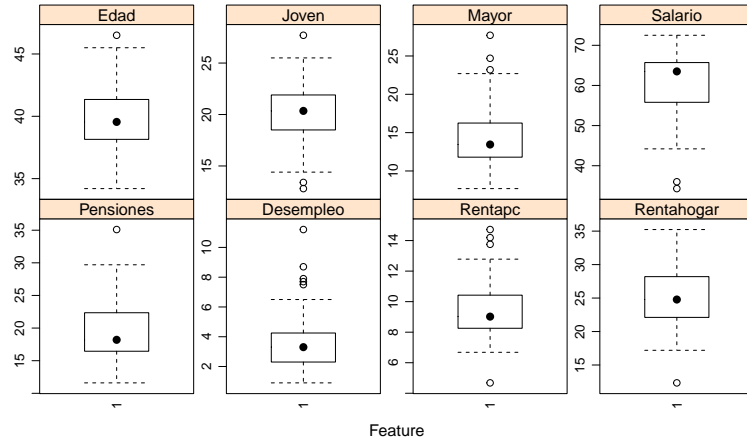


pacientes COVID-19 por cada 1.000 habitantes y las variables de Edad, Jóvenes, Mayores, Desempleo, Renta per cápita y Renta hogar son significativos al 5%. La renta per cápita y la renta del hogar aportan la misma información. En este tipo de estudios la OCDE recomienda trabajar con renta del hogar porque es más representativa de la verdadera situación económica de una persona. Por ejemplo, en un hogar hay gastos comunes que hay que compartir y también hay economías de escala de las que se benefician todos los que viven. Todo esto se refleja mejor con la renta disponible del hogar que con la renta per cápita. La variable Pensiones y Mayores de 65 años muestran una fuerte correlación, pero Pensiones no está correlacionada significativamente con el número de pacientes COVID-19 por cada 1.000 habitantes.

Estos resultados nos orientan en la selección de las variables de un modelo de regresión que nos proporcione intuiciones sobre los factores socioeconómicos explicativos de la incidencia de la COVID-19 en el Área Metropolitana de Granada sin incurrir en problemas de multicolinealidad. Utilizamos algoritmos de selección de modelos mediante búsqueda exhaustiva, por pasos hacia adelante o hacia atrás, o por sustitución secuencial para seleccionar los determinantes que mejor explican la distribución de los casos positivos por cada 1.000 habitantes en el Área Metropolitana de Granada entre el 1 de marzo y el 15 de junio de 2020.

La Tabla 5 presenta los resultados de las estimaciones de siete modelos de regresión por mínimo cuadrados ordinarios. Las últimas filas de la tabla muestran los resultados de los diferentes criterios de selección y de bondad de los modelos, tales como el contraste de la significatividad del modelo en su conjunto (p-valor), el coeficiente de determinación (R²), el criterio de información de Akaike (AIC) y el criterio de información bayesiano (BIC). En los siete modelos presentados, las variables explicativas son significativas al 10%. Estas estimaciones en su conjunto nos aportan unas evidencias que nos ayudan a comprender el tipo de relación o asociación que puede existir entre los factores demográficos y socioeconómicos de

Figura 19: Diagramas de cajas respecto de los cuartiles de la tasa de positivos por cada 1.000 habitantes.



los distritos y la incidencia de la COVID-19.

En primer lugar, respecto a los factores demográficos Edad, Mayores y Jóvenes (respectivamente, edad media de los residentes del distrito, porcentaje de población del distrito mayor de 65 años y porcentaje de población del distrito menor de 18 años) puede deducirse que, permaneciendo constante el resto de factores que pueden influir, cuanto mayor es la población mayor es la tasa de COVID-19 en el distrito; y, también, lo contrario, cuanto más joven es la población del distrito, menor es la incidencia de COVID-19. Respecto a las variables económicas estudiadas (Renta del hogar y Desempleo), los resultados también son muy consistentes en las dos direcciones: a mayor renta mayor incidencia de COVID-19, y a mayor porcentaje de los ingresos familiares procedentes de las prestaciones por desempleo, menor incidencia de COVID-19. Es decir, este hallazgo podría estar justificado porque la renta familiar es más alta cuanto más miembros de la unidad familiar trabajan (por tanto, tienen que moverse fuera del domicilio, incluso fuera el distrito). Por el contrario, las personas desempleadas durante el confinamiento no tenían justificada -por motivos laborales- su salida del domicilio, por tanto es razonable su correlación negativa con la incidencia de COVID-19.

En síntesis, los resultados de las regresiones a nivel de distritos están en sintonía con los trabajos que han señalado la edad como un factor de riesgo (Abellán García et al., 2020); y, dado que la movilidad de las personas en un factor clave en la propagación del virus, la renta o ingreso familiar por cuanto que requiere salir del domicilio puede ser considerado un factor de vulnerabilidad para la COVID-19.

Figura 20: Matriz de correlaciones

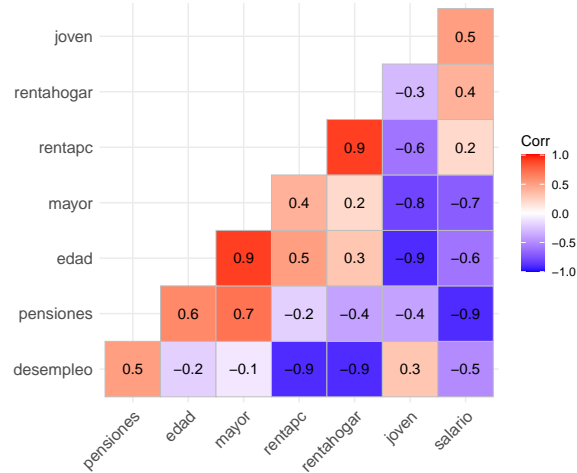


Tabla 5: Selección de los mejores modelos lineales asumiendo la tasa de positivos cada 1.000 habitantes como variable latente

Variable dependiente: pacientes COVID-19 por 1.000 habitantes							
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Renta Hogar	0,26 (0,002)	0,27 (0,001)	0,27 (0,001)	0,16 (0,044)			
Desempleo					-0,37 (0,040)	-0,52 (0,002)	-0,34 (0,072)
Edad	0,25 (0,045)				0,31 (0,013)		
Mayores		0,18 (0,022)				0,21 (0,009)	
Jóvenes			-0,20 (0,086)				-0,25 (0,034)
Ciudad				3,56 (<0,001)			
Tamaño					1,28 (0,088)		1,42 (0,068)
Constante	-11,57 (0,018)	-4,41 (0,033)	2,36 (0,491)	0,45 (0,806)	-5,53 (0,291)	3,89 (0,007)	10,79 (<0,001)
(p-valor)	0,0002	0,0001	0,0003	0,0001	0,0004	0,0002	0,0009
R²	0,32	0,34	0,31	0,46	0,34	0,31	0,31
AIC	219,07	217,79	220,22	208,07	219,93	219,59	221,79
BIC	224,68	223,41	225,84	213,69	227,41	225,2	229,28

7. Vulnerabilidad de los distritos del Area Metropolitana de Granada

A tenor de los resultados obtenidos en las secciones anteriores se puede establecer un criterio que nos permita asignar a cada distrito del Área Metropolitana de Granada un índice de vulnerabilidad a la COVID-19. Este índice de vulnerabilidad debe sintetizar la información de las variables o indicadores demográficos y sociodemográficos, que se han revelado más correlacionados con la incidencia de la enfermedad en los 48 distritos del Área Metropolitana de Granada desde el 11 de marzo al 15 de junio de 2020. Este instrumento puede resultar de utilidad para la planificación y el establecimiento de prioridades a nivel de distrito y la asignación eficaz de los recursos sanitarios (Acharya & Porwal, 2020). Para construir el Índice de Vulnerabilidad a la COVID-19 (a partir de ahora abreviado IVC) de los distritos del Área Metropolitana de Granada consideramos los siguientes indicadores: edad media de la población del distrito (Edad), renta del hogar (Rentahogar), porcentaje del ingreso familiar en concepto de prestación por desempleo (Desempleo) y la población del distrito en 2017 (Población). Asimismo, los análisis realizados en las secciones anteriores, también nos indican la polaridad³. Concretamente, aumentos en los indicadores Edad, Renta hogar y Población estarían asociados con aumentos en el IVC (polaridad positiva), mientras que aumentos en Desempleo se asociarían con una menor vulnerabilidad a la COVID-19 (polaridad negativa).

Para construir el IVC se sigue la metodología propuesta por Pena Trapero (1977) que ha sido aplicada en un gran número de investigaciones recientes (véase por ejemplo Cuenca et al., 2020; Sánchez & Ruiz-Martos, 2018; Sánchez et al., 2018). El método proporciona información acerca del peso que aporta cada indicador al índice de Vulnerabilidad IVC. Los resultados vienen reflejados en la Tabla 6, de la cual se desprende que la *Rentahogar* la que aporta más información y que la variable *Desempleo* es la que aporta menos peso al indicador compuesto. Los distritos cuyo IVC se sitúe próximo a 1, reflejarán mayor vulnerabilidad ante la aparición de un nuevo rebrote de la COVID-19 y atendiendo a la Tabla 6 serán aquellos cuya renta del hogar, población y edad se muestren más elevadas, siendo el desempleo menos relevante. Por el contrario, aquellos distritos más próximos a cero, reflejarán menor vulnerabilidad.

Tabla 6: Aportación de los indicadores al índice de vulnerabilidad IVC al Area Metropolitana de Granada

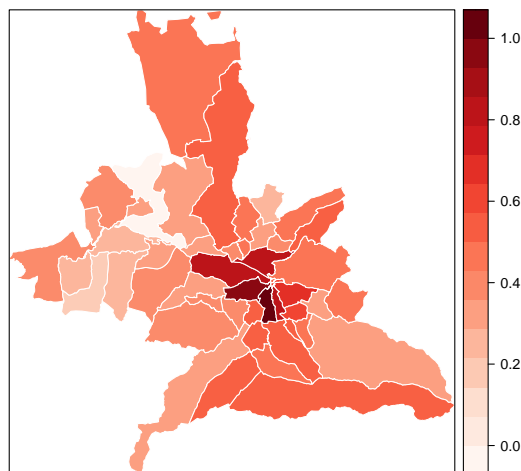
Rentahogar	Desempleo	Población	Edad
1,00	0,20	0,85	0,88

La Figura 21 muestra que los distritos más vulnerables ante un rebrote de COVID-19 son del municipio de Granada y en particular los distritos 2,1 y 7. Los que muestran menos vulnerabilidad son Pinos Puente 2, Cijuela y Lachar. La correlación de Spearman entre la ordenación de distritos según el índice compuesto IVC y la ordenación de distritos en cuanto a la tasa de positivos

³La polaridad del indicador se denota como el signo de la relación entre el indicador y el fenómeno a medir (indicador compuesto)

en el primer periodo de estudio (11 de marzo al 15 de junio) es significativo y proporciona un parámetro $\rho = 0,661$, la correlación de para el segundo periodo (16 de junio al 9 de septiembre de 2020) es significativo y arroja un valor estimado de $\rho = 0,610$. Por lo tanto, el índice de vulnerabilidad IVC asociado a cada distrito del Area Metropolitana ha explicado de forma significativa la distribución de la tasa de contagios en el siguiente periodo y puede servir como indicador aproximado de selección de vulnerabilidad ante rebrotes de COVID-19.

Figura 21: Distritos vulnerables ante rebrotes de COVID-19.

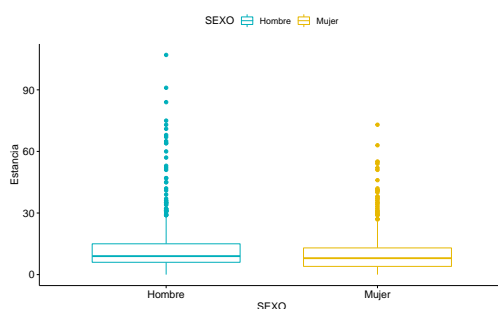


8. Evolución de la ocupación hospitalaria

En esta sección se proporciona un estudio basado en modelos de optimización de Kaplan-Meier (Kleinbaum and Klein, 2012). Estos modelos permiten analizar la presión asistencial en términos de ocupación de camas, así como ofrecer estrategias para la contención de un brote COVID-19. A partir de los datos facilitados sobre ingresos y altas y de los casos positivos por COVID-19 del Servicio Andaluz de Salud en el Área Metropolitana de Granada, durante los meses de marzo a junio (primera ola de infecciones por COVID-19) se calcula la curva de Kaplan-Meier de supervivencia del virus en los hospitales.

Previamente se proporciona una descripción estadística por grupos de la base de datos de ingresos y altas. La base de datos está constituida por 625 hombres y 551 mujeres, siendo el promedio de estancia de 12,6 y 10,4 días y las desviación típica 12,4 y 9,82, respectivamente. La Figura 22 o diagrama de caja permite visualizar las diferencias y la distribución de las observaciones por género. Un contraste de medias indica que las diferencias en género en cuanto al número de días de hospitalización son estadísticamente significativas ($t = 3,3884, p = 0,0007265$).

Figura 22: Diagrama de caja del número de días de hospitalización por COVID-19 en los hospitales del Área Metropolitana de Granada, distinguiendo por género (11 marzo-15 junio 2020)

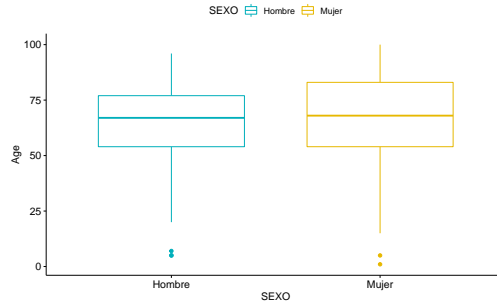


Considerando la edad de los hombres y mujeres hospitalizados por COVID-19, la edad media de los 625 hombres es de 65,4 años con una desviación típica de 15,7 y la edad media de las 551 mujeres es 66,9 años y una desviación típica de 18,5. El diagrama de caja (figura 21) muestra estas distribuciones y pone de manifiesto que tan solo se ha registrado dos casos atípicos, tanto en hombres como en mujeres, de pacientes muy jóvenes. En cuanto a la edad de los hospitalizados por COVID-19 tampoco hay diferencias estadísticamente significativas entre hombres y mujeres ($t=-1,5547, p=0,1203$). Por otro lado, el promedio de estancia para aquellos pacientes cuyo motivo de alta es exitus es de 9,25, siendo el de mejoría 11,24 y el de traslado 24 días. En el periodo analizado se contabilizan 176 exitus, 992 mejorías y 8 traslados.

8.1. Curvas de Kaplan-Meier

Este sistema no está relacionado con variaciones mas o menos acertadas del modelo SIR que se ha impuesto en la modelización de la epidemia y que se

Figura 23: Diagrama de caja de la edad de los pacientes ingresados en los hospitales del Area Metropolitana de Granada por COVID 19



centra en la descripción de la curva de infectados (Calafiore, G. C., 2020), sino calcular la función de transferencia que permite decir, a partir de un número dado de entradas hospitalarias, cuál es la capacidad de un centro de gestionar eficazmente la disponibilidad de camas y cuanto tiempo necesita para hacerlo. Con esta información, una cota superior no necesariamente muy precisa del pico de infectados y una temporización burda de la previsión de ingresos hospitalarios, el gestor puede conocer la capacidad de su centro de atender las necesidades impuestas.

A partir de los datos facilitados sobre ingresos y altas de Servicio Andaluz de Salud en el Area Metropolitana de Granada, durante los meses de marzo a junio (primera ola de infecciones por COVID-19), se calcula la curva de Kaplan-Meier de supervivencia del virus en los hospitales, que representa la probabilidad $P(t)$ que tiene un individuo cualquiera de estar todavía hospitalizado el día t después del ingreso. Por lo tanto, esta curva representa la velocidad con que el sistema hospitalario es capaz de gestionar los ingresos por COVID-19, y a partir de ella se pueden modelar las salidas netas de pacientes cada día particular, suponiendo que se conoce la función de ingresos, es decir el número de pacientes que ingresan por día (Calabuig et al., 2020).

En general, esta función de ingresos no es conocida, pero, una vez empezada la segunda ola de infecciones, se puede modelar a corto plazo usando los datos de incremento de casos aportados de los primeros días de septiembre mediante una extrapolación directa de los datos de los días 1 al 22 de septiembre mediante una función lineal.

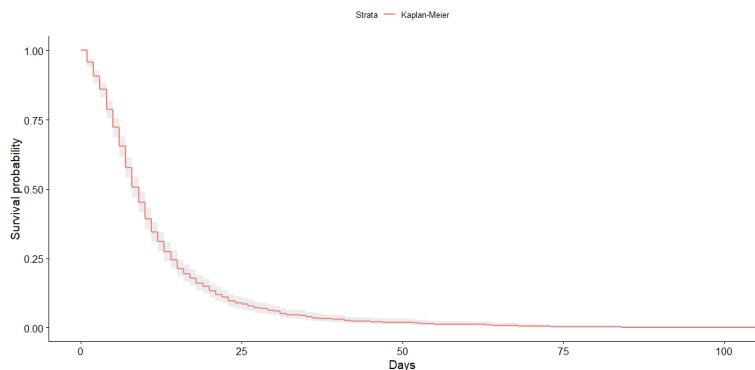
El resultado más importante es el balance entre número acumulado de ingresos menos número acumulado de altas + fallecidos, que podemos obtener directamente del modelo.

La curva de Kaplan-Meier de los hospitales (curva KM en adelante), obtenida a partir de los datos reales entre marzo y junio representa la capacidad de gestión, y puede considerarse como la “huella dactilar” de la respuesta del sistema frente a un número creciente de ingresos. Actúa como la función de transferencia entre las entradas al sistema y las salidas, que pueden representarse como la

convolución⁴ de las entradas con la curva KM. La hipótesis principal del modelo es que, básicamente, la gestión hospitalaria va a ser similar en esta segunda ola que en la primera, por lo que esos datos, convenientemente analizados, pueden permitir la predicción del comportamiento, aunque la dinámica de ingresos no sea la misma (aunque si similar), mediante el cálculo de su curva KM. Además, aunque estimar la función de entradas es el talón de Aquiles de cualquier modelo, la convolución de su extrapolación con la curva KM, técnica usada para calcular el balance (camas ocupadas en cualquier día t), puede ayudar a amortiguar el error cometido en esa extrapolación.

La representación de la citada curva KM calculada a partir de los datos de marzo a junio puede verse a continuación, en la Figura 25.

Figura 24: Curva de Kaplan-Meier para la ocupación hospitalaria por pacientes de la COVID-19 en los hospitales del Área Metropolitana de Granada entre el 11 marzo-15 junio 2020



Para la interpretación de los resultados son necesarias las siguientes consideraciones:

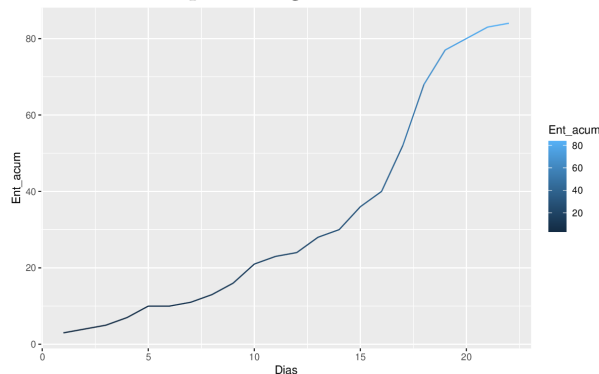
- Debe tenerse en cuenta que se trata, en último término, de una extrapolación, con lo que los resultados deben interpretarse con la mayor de las reservas.
- También debe tenerse en cuenta que, puesto que no se dispone de más datos, se asume que el 31 de agosto el número de pacientes ingresados por COVID-19 era igual a cero.
- Se considera que todos los pacientes llevan a término su estancia en el hospital, es decir, no hay casos a los que deje de seguirse la pista. Esto tiene relevancia dentro del modelo clásico de Kaplan-Meier (empty set of censored population).
- Dado el carácter preliminar y simplificado del presente informe, no se exponen los aspectos estadísticos relativos a la fiabilidad de la solución (barras de error, desviaciones previstas, etc.).

⁴Entendemos por convolución al operador matemático que transforma la función de entradas F_e y la función de Kaplan-Meier (KM) y en una tercera función, la cual representa cuantitativamente como se superponen F_e y una traslación de la función invertida de KM.

8.2. Extrapolación de la función de ingresos

La Figura 25 representa ingresos hospitalarios de pacientes COVID-19 al hospital Virgen de las Nieves durante el mes de septiembre para testear el modelo, partiendo de la hipótesis del día 1 hay 0 pacientes COVID-19 ingresados. Hay que tener en cuenta que la curva no contempla salidas, únicamente refleja entradas acumuladas hasta el día 20. Las salidas son desconocidas y precisan de una estimación para obtener la ocupación final. Este es el punto clave en la gestión de la ocupación, a partir de una curva de ingresos y la curva de Kaplan-Meier calculada en la primera ola, se puede estimar la función de salidas y realizar proyecciones a corto plazo.

Figura 25: Curva de hospitalizaciones por COVID-19 acumuladas desde el 1 de septiembre de 2020 en el Hospital Virgen de las Nieves



La obtención de previsiones sobre niveles de ocupación de los hospitales se basa en la extrapolación de esta función de ingresos. Aunque es bastante irregular, un ajuste a funciones relativamente simples que conserven de forma razonable las sumas acumuladas, da buenos resultados. Los modelos epidemiológicos conocidos proponen fórmulas para esta función construidas mediante la combinación de funciones exponenciales, ajustando los datos que aparecen en la gráfica. Para mostrar la metodología de forma sencilla, obtenemos las estimaciones de la recta que mejor ajusta la nube de puntos generadas por las entradas de hospitalizaciones por COVID-19 en el Hospital Virgen de las Nieves en el mes de septiembre (ver Figura 26), y para el cual se obtiene un valor de 0,00 en el intercepto y 0,331 de pendiente.

Representamos a continuación los resultados para una previsión a 35 días, desde el 1 de septiembre. La Figura 27 nos da la función de entradas asociada al modelo lineal.

8.3. Resultado final: cálculo del balance

Nuestro sistema aporta la descripción de las altas que puede verse en la Figura 28 en los 22 primeros días del mes de septiembre en el hospital Virgen de las Nieves. Una descripción más precisa del modelo, a partir de más datos, nos daría resultados más fiables en periodos de tiempo mayores.

Figura 26: Aproximación lineal de la curva de hospitalizaciones por COVID-19 acumuladas desde el 1 de septiembre de 2020 en el Hospital Virgen de las Nieves

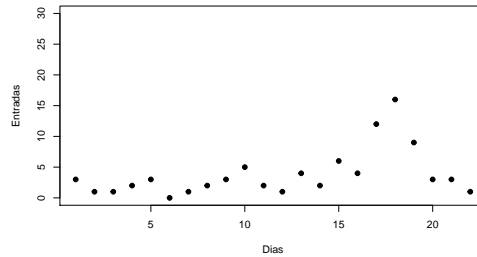
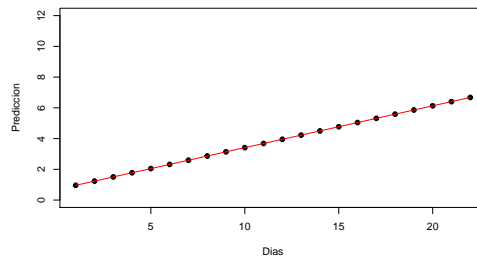


Figura 27: Modelo a 35 días para los ingresos hospitalarios acumulados desde el 1 de septiembre



Para hacer una extrapolación a 35 días, usando la función de entradas $y = 0,331 t$ propuesta en el apartado anterior, usamos las mismas ecuaciones, pero alargando a 35 el periodo temporal descrito. En el resultado se puede ver en la Figura 29.

A partir del modelo obtenido en la primera etapa que está comprendida entre el 1 de marzo y el 15 de junio de la pandemia en el Area Metropolitana de Granada, se extrae el balance de la curva de los ingresos acumulados en los primeros 22 días de septiembre, menos las salidas del hospital. La Figura 30 proporciona una descripción de la ocupación por días en el hospital analizado. Como se puede observar, la ocupación tienen una tendencia creciente llegando a una ocupación de 45 camas por pacientes COVID el 20 de septiembre, con un promedio de ocupación en el periodo de 22 días analizado de 19,5 pacientes. Nótese que se han utilizado datos de ingresos pero se desconocen las altas.

Adicionalmente, podemos calcular una proyección de la ocupación a partir del 22 de septiembre hasta el 5 de octubre. La previsión a 35 días para la función de entradas modelada como $y = 0,331 t$ se puede ver en la Figura 31. En este balance se puede observar que la ocupación para el día 5 de octubre será de 80 pacientes COVID-19.

Figura 28: Salidas acumuladas: recuperados más fallecidos

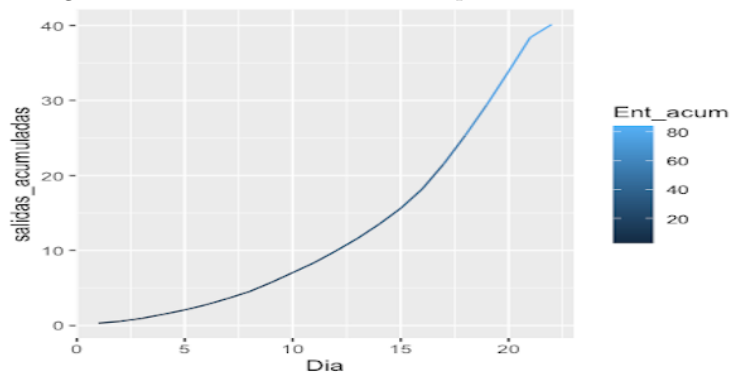
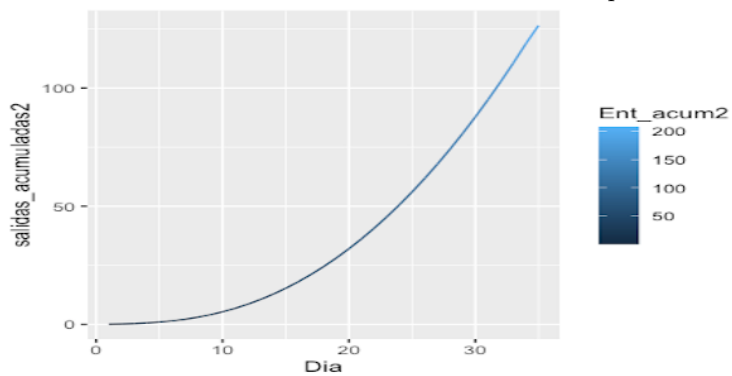


Figura 29: Previsión a 35 días de las salidas acumuladas: recuperados + fallecidos



El modelo expuesto sirve como ejemplo para ilustrar cómo la detección precoz de las tendencias y proyecciones de futuro de la ocupación de camas en los hospitales puede proporcionar una herramienta útil para gestionar futuras saturaciones de las unidades de estos centros sanitarios.

Figura 30: Balance de ocupación por COVID-19 del 1 al 20 de septiembre

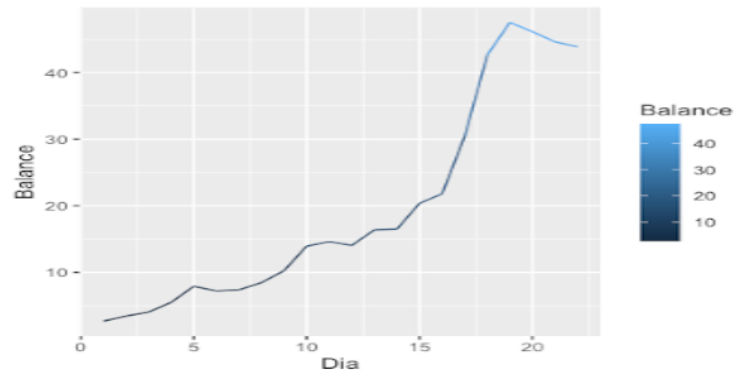
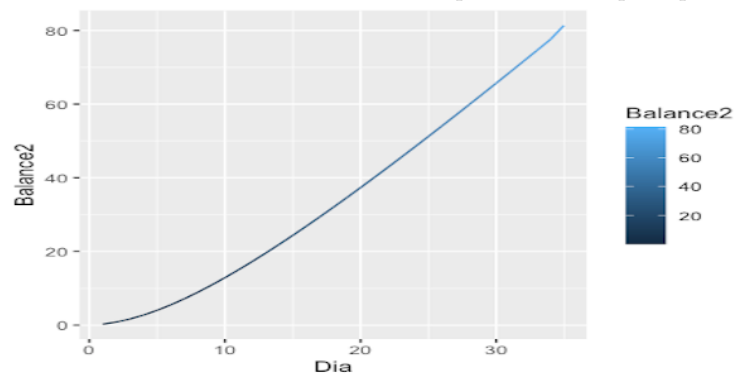


Figura 31: Previsión a 35 días del balance: ocupación del hospital por COVID-19



9. Conclusiones

La finalidad de este estudio es analizar la incidencia espacial del SARS-Cov2 en los 48 distritos del Area Metropolitana de Granada en el periodo comprendido desde el 11 de marzo hasta el 15 de junio de 2020. También se han utilizado datos comprendidos desde 16 de junio hasta el 9 de septiembre para contrastar la bondad de lo modelos utilizados.

En una primer fase descriptiva se estima que la edad media de positivos en el Area Metropolitana de Granada fue de 55,75 años. reporta un análisis del Area Metropolitana de Granada, conformado por 48 distritos de la incidencia de casos positivos por test PCR y serológicos para la detección del virus SARS-CoV-2 a través del estudio de la base de datos facilitada por el Servicio Andaluz de Salud. Teniendo en cuenta el rango de edad, se consideran 10 intervalos de longitud 10 años. El intervalo de 50-60 años es donde más incidencia de casos de la COVID-19 se registra, aproximadamente el 27 % del total. A partir de 60 años, que es la edad señalada como factor de riesgo (Abellán García et al., 2020), se registró el 34,08 % del total. Por el contrario la incidencia en la población más joven (20 años o menos) fue la más baja, alrededor del 2 % del total de los diagnosticados por COVID-19. En cuanto a la distinción por género, los positivos mujeres representan el 63,1 % de los casos totales. Sin embargo, se han registrado una mayor proporción de casos positivos en hombres mayores (el 39 % de los positivos hombres son mayores de 60 años) que a mujeres mayores (el 30,66 % de los positivos mujeres son mayores de 60 años).

Unos de los objetivos fundamentales de este estudio es la localización y estudio de la distribución de los positivos por COVID-19 respecto de los distritos del Area Metropolitana de Granada. El mapa de densidades en el primer periodo proporciona una aglomeración de casos en el municipio de Granada, repitiéndose un patrón similar cuando se analiza la tasa de positivos por cada 1.000 habitantes. Los mapas de densidades y de distribución de positivos en el segundo periodo analizado muestran similitudes con el periodo anterior. La ordenación de los distritos respecto de la tasa de positivos por cada 1.000 habitantes en los dos periodos analizados muestra una correlación significativa y con pocas variaciones. Así mismo, el análisis de inferencia ha puesto de relieve que la tasa de contagios es mayor en los distritos de la ciudad de Granada que en el resto del Area Metropolitana y lo mismo sucede en los distritos de más de 10.000 habitantes.

Se desprende de los resultados anteriores que la aglomeración espacial y también la distribución por distritos de casos positivos podría obedecer a una serie de determinantes que influyeran significativamente en esta localización. Se seleccionan un conjunto de indicadores a través del Instituto Nacional de Estadística y se estudian la relaciones lineales existentes respecto de la variable endógena que describe la tasa de positivos por cada 1.000 habitantes. A partir de algoritmos de selección podemos acotar aquellos modelos lineales que responden mejor a nuestro objetivo. Cabe destacar que los modelos estudiados establecen una correlación positiva entre la renta del hogar y la tasa de positivos. De igual modo sucede con las variables edad, porcentaje de mayores de 65 años, y las variables ficticias tamaño del distrito y ser un distrito de la ciudad de Granada. Sin embargo la relación es negativa para el desempleo y el porcentaje de jóvenes.

La relación positiva entre la renta del hogar y la tasa de positivos podría justificarse porque la renta del hogar aumenta con el número de personas que trabajan en ese hogar. Y esto a su vez generaría un mayor número de contactos con otros ciudadanos. Adicionalmente, el municipio de Granada tiene factores de riesgo que podrían explicar altas tasas de contagio. Por un lado, el municipio de Granada tiene una de las Universidades más grandes de España, con un total de 47.096 estudiantes en el curso 2019-2020, de los cuales 20.693 son de la provincia, 22.312 del resto de España y 4.091 de fuera de España. Es decir, los distritos del municipio de Granada, especialmente los distritos 1,2,3,4,7 y 9 que son donde están ubicadas las diferentes escuelas de esta universidad, sufren una mayor presión poblacional. Por otro lado, en el año 2019 se contabilizaron 6.578.508 pernoctaciones en el municipio de Granada de turistas. La aparición de la enfermedad en nuestro país en el mes de marzo, junto con el Estado de Alarma, generó paulatinamente un efecto disuasorio sobre el sector, sin embargo, es razonable pensar que existió un efecto contagio durante las primeras semanas del año imputable a esta causa. Así mismo hay que tener en cuenta que en el municipio de Granada están localizadas 17 de las 23 residencias y centros de día de personas de la tercera edad. Aunque no se disponen de datos que permitan recoger esta hipótesis con precisión, sin embargo se incluye la variable ficticia ciudad para recoger este tipo de efectos. Es precisamente en estos distritos, salvo alguna excepción donde se genera una mayor aglomeración de población y por consiguiente donde hay un mayor riesgo de contagio, recogido en la variable ficticia tamaño. El promedio de edad también representa un factor clave en el primer periodo de análisis. En las primeras semanas de la pandemia no se realizaban test generalizados, estos se restringían prácticamente a pacientes con sintomatología grave o moderada, y este grupo era de edad más avanzada.

El análisis anterior nos permite seleccionar qué variables no clínicas determinan la incidencia del comportamiento espacial de la enfermedad en el área estudiada. A partir de estas variables elaboramos un indicador multidimensional que hemos denominado Índice de Vulnerabilidad Socioeconómica a la COVID-19 (IVC). El indicador IVC constata que los distritos del municipio de Granada son los más vulnerables ante el contagio de COVID-19. El indicador IVC es capaz de explicar en hasta un 68 % el comportamiento del contagio en el primer periodo y un 61 % de del periodo que va desde el 16 de junio al 9 de septiembre. La agregación de más indicadores e información a los modelos permitirán en un futuro poder conformar mapas más realistas que permitan predecir y en consecuencia poder suministrar herramientas a los gestores para administrar de un modo eficiente los recursos disponibles ante un rebrote del COVID-19.

Finalmente se modeliza el estrés que han sufrido los hospitales del Area Metropolitana de Granada. Sobre la base de la experiencia de la primera ola, estos modelos estiman previsiones sobre la disponibilidad de camas para enfrentarse a rebrotes. Los modelos se basan en distribuciones de Kaplan-Meier que permiten calcular la probabilidad $P(t)$ que tiene un paciente cualquiera de estar todavía hospitalizado el día t después del ingreso. A partir de la distribución anterior y el número de ingresos por pacientes de la COVID-19 en el mes de septiembre, se puede estimar la función de salidas (camas que quedan libres) y construir un balance. En particular, se calcula la función de salidas para los

22 primeros días del mes de septiembre en el hospital Virgen de las Nieves y se proporciona un balance para esos días. El resultado proporciona una estimación del número de camas ocupadas por pacientes de la COVID-19 en ese intervalo. Este resultado se compara con datos reales y se observa una desviación a la alza de la curva de predicción. Esto se debe a que el conocimiento de tratamientos para la lucha contra la enfermedad ha generado una disminución en las estancias de los pacientes. El promedio calculado en el segundo periodo es de 7,88 días respecto de los 11,59 días del primero. A pesar de esta divergencia, el contraste de igualdad de varianzas entre ambas curvas desprende que no existen evidencias significativas entre ambos parámetros. Adicionalmente, el modelo proporciona estimaciones hasta el 5 de octubre. Se observa un crecimiento lineal en la curva de ocupación que estima una ocupación de 80 camas por enfermos COVID-19 ese mismo día.

En este estudio se establecen los pilares para un desarrollo más exhaustivo que permita la mejora de los modelos a través de la incorporación de más datos, entre ellos factores clínicos. Futuros estudios permitirán el análisis espacial de otras patologías pudiendo ayudar a incorporar otros indicadores para entender el comportamiento de la COVID-19. El análisis temporal y espacial de los diferentes periodos contribuirán a profundizar en el conocimiento de la enfermedad en la región. Paralelamente, la implementación de algoritmos de aprendizaje máquina basados en la presión sanitaria ayudarán a descongestionar y a minimizar el mayúsculo esfuerzo necesario para afrontar el desafío causado por el virus SARS-COV2.

Referencias

- [1] Abellán García, A. et al. (2020). Una visión global de la pandemia covid-19: qué sabemos y qué estamos investigando desde el CSIC. Ministerio de Ciencia e Innovación, CSIC. https://www.csic.es/sites/default/files/informe_cov19_pti_salud_global_csic_v2_1.pdf
- [2] Blasco-Belled, A., Tejada-Gallardo, C., Torrelles-Nadal, C., & Alsinet, C. (2020). The Costs of the COVID-19 on Subjective Well-Being: An Analysis of the Outbreak in Spain. *Sustainability*, 12(15), 6243. <https://doi.org/10.3390/su12156243>
- [3] Bonaccorsia, G., Pierrib, F., Cinellic, M. et al. (2020). Economic and social consequences of human mobility restrictions under COVID-19. *PNAS*, 117(27), 15530-15535. <https://doi.org/10.1073/pnas.2007658117>
- [4] Calabuig, J. M., Falciani, H., & Sánchez-Pérez, E. A. (2020). Dreaming machine learning: Lipschitz extensions for reinforcement learning on financial markets. *Neurocomputing*. 398, 172-184
- [5] Calabuig, J. M., Garcia-Raffi, L.M, García-Valiente, A. & Sánchez-Pérez, E. A. (2020). Kaplan-Meier type survival curves for COVID-19: a health data based decision-making tool. (enviado para su publicación; versión disponible en arXiv)
- [6] Calafiore, G. C., Novara, C., & Possieri, C. (2020). A modified sir model for the covid-19 contagion in italy. arXiv preprint arXiv:2003.14391.
- [7] Cuenca-García, E., Sánchez, A., & Navarro-Pabsdorf, M. (2019). Assessing the Performance of Least Developed Countries in terms of Millennium Development Goals. *Evaluation and Program Planning*, 72, 54-66. <https://doi.org/10.1016/j.evalprogplan.2018.09.009>
- [8] Fetting, C. (2020). Impacts of the Covid-19 Pandemic on Sustainable Development and the SDGs in Europe, ESDN Report, July 2020. Vienna: ESDN Office.
- [9] Goscé, L., Phillips, A., Spinola, P., Gupta, R.K., & Abubakar, I. (2020). Modelling SARS-COV2 Spread in London: Approaches to Lift the Lockdown. Preprints 2020, 2020050055
- [10] Higgs G., & Gould, M. (2001). Is there a role for GIS in the “new NHS”? *Health Place*, 7, 247–259.
- [11] Jiménez-Fernández, E., Sánchez, A., & Sánchez Pérez, E.A. (2020). A fuzzy-machine learning approach for building composite indicators. *Expert Systems with Applications* (Under review)
- [12] Keogh-Brown, M.R., & Smith, R.D. (2008). The economic impact of SARS: How does the reality match the predictions?, *Health Policy*, 88(1), 110-120. <https://doi.org/10.1016/j.healthpol.2008.03.003>

- [13] Lai, P.C., Wong, C.M., Hedley, A.J., Lo, S.V., Leung, P.Y., Kong, J., & Leung, G.M. (2004). Understanding the Spatial Clustering of Severe Acute Respiratory Syndrome (SARS) in Hong Kong. *Environmental Health Perspectives*, 112(15), 1550-6. doi: 10.1289/ehp.7117
- [14] Lee, J.W., & McKibbin, W. J. (2004). Globalization and Disease: The Case of SARS. *Asian Economic Papers*, 3(1), 113-131. doi:10.1162/1535351041747932
- [15] Leung, K., Wu, J.T., Liu, D., & Leung, G.M. (2020). First-wave COVID-19 transmissibility and severity in China outside Hubei after control measures, and second-wave scenario planning: a modelling impact assessment. *Lancet*, 395, 1382-9. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30746-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30746-7)
- [16] Meade, M.S., & Earickson, R.J. (2000). *Medical Geography*. London: Guilford Press.
- [17] Pena Trapero, J.B. (1977). Problemas de la medición del bienestar y conceptos afines (Problems of welfare measurement and related concepts). Madrid:INE.
- [18] Prem, K., Liu, Y., Russell, T.W., Kucharski, A.J., Eggo, R., & Davie, N. (2020). The effect of control strategies to reduce social mixing on outcomes of the COVID-19 epidemic in Wuhan, China: a modelling study. *Lancet Public Health*, 5, e261-70. [https://doi.org/10.1016/S2468-2667\(20\)30073-6](https://doi.org/10.1016/S2468-2667(20)30073-6)
- [19] Sánchez, A., & Ruiz-Martos, M.J. (2018). Europe 2020 Strategy and Citizens' Life Satisfaction. *Journal of Happiness Studies*, 19(8), 2315-2338. <https://doi.org/10.1007/s10902-017-9928-0>
- [20] Sánchez, A., Chica-Olmo, J., & Jiménez-Aguilera, J.D. (2018). A Space-Time Study for Mapping Quality of Life in Andalusia during the Crisis. *Social Indicators Research*, 135(2), 699-728. <https://doi.org/10.1007/s11205-016-1497-9>
- [21] Silverman, B. W. (1986) *Estimación de densidad para las estadísticas y el análisis de datos*. New York: Chapman and Hall.
- [22] Who (2020). Coronavirus disease (COVID-19) Situation Report-144 (12 June 2020). https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/situation-reports/20200524-covid-19-sitrep-125.pdf?sfvrsn=80e7d7f0_2
- [23] Xiaoqin Fan, E. (2003). SARS: Economic impacts and implications. Asian Development Bank. ERD policy Brief 15.