



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

Estudio y simulación de impacto del COVID-19 en la ENM

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Alejandro Díaz Amado

DIRECTORES: María Álvarez Hernández
Gerardo González-Cela Echevarría

CURSO ACADÉMICO: 2020-2021

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

Estudio y simulación de impacto del COVID-19 en la ENM

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General

Universida_deVigo

RESUMEN

La aparición del nuevo coronavirus SARS-CoV-2 ha obligado al mundo entero a establecer medidas para frenar su propagación. La Escuela Naval Militar ha implementado nuevas instrucciones que modifican el régimen de vida de los alumnos para adaptarse a la nueva normalidad y proseguir con la formación de los futuros oficiales de la Armada. El presente trabajo trata de mostrar la necesidad de estas normas en la lucha contra la propagación del virus, mediante un estudio estadístico en torno a los tres factores anti-COVID-19 de mayor relevancia. Los datos han sido recabados mediante simulación, utilizando el modelo epidemiológico SIR aportado por AnyLogic. Dicho modelo clasifica a la población en tres estados en función del virus (Susceptible, Infectado y Recuperado) y ha sido utilizado para mostrar la evolución de la enfermedad en función al empleo de las medidas o no. Una vez analizados los datos, se han ratificado las deducciones realizadas por medio de un gráfico de Pareto y un análisis de la varianza. Finalmente, se ha resaltado la importancia del empleo de estos factores con el fin de continuar con la adecuada enseñanza.

PALABRAS CLAVE

COVID-19, Transmisión, Factor, Medidas, Simulación.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer la realización de este trabajo a mis tutores, doña María y don Gerardo, por su orientación, sus consejos, sus correcciones, su disponibilidad... en definitiva, por toda la ayuda prestada durante la realización de este estudio.

Este trabajo es la culminación de una carrera forjada a lo largo cinco años, y es por ello que quiero agradecerlo a todas aquellas personas que han supuesto un apoyo durante mi formación pese a no estar cerca. A mi padre, José Fermín. A mi madre, Remedios. A mis hermanos, José Fermín y Juan Carlos. A mi novia, Isabel.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	3
Índice de Tablas.....	5
1 Introducción.....	6
1.1 Preámbulo	6
1.2 Objetivo.....	6
1.3 La COVID-19 desde el punto de vista biológico.....	7
1.3.1 Clasificación	7
1.3.2 Comparación de los virus SARS-CoV, MERS-CoV y SARS-CoV-2.	9
1.3.3 Historia	10
2 Estado del arte	14
2.1 Formas de propagación	14
2.1.1 Contacto cercano	15
2.1.2 Transmisión por el aire (aerosoles).....	15
2.1.3 Transmisión por superficies.....	16
2.1.4 Otras posibles vías de transmisión.....	17
2.2 Protecciones ante el virus.....	17
2.2.1 Distanciamiento social.....	17
2.2.2 Mascarilla	19
2.2.3 Desinfección de manos y superficies.....	21
2.2.4 Diferencia entre cuarentena, aislamiento y confinamiento.....	22
2.3 Síntomas.....	23
2.3.1 Asintomático.....	23
2.3.2 Diferencias con la gripe	24
2.3.3 Reinfección	24
2.4 Test.....	25
2.4.1 Test para presencia del virus en fase activa	25
2.4.2 Test serológicos	26
2.5 Vacunas	27
2.5.1 Pfizer-BioNTech.....	27
2.5.2 Moderna	27
2.5.3 Efectos secundarios	28
2.6 COVID-19 y la ENM	28
2.6.1 Medidas ENM.....	28

2.6.2 Medidas CUD	30
2.7 Simulaciones y modelados de la propagación del virus	31
2.7.1 Simulación de procesos	31
2.7.2 Modelado matemático	31
2.7.3 AnyLogic	32
2.8 Diseño Estadístico de Experimentos.....	33
3 Desarrollo del TFG.....	36
3.1 Comprender el problema y definir claramente el objetivo	36
3.2 Identificar los factores y el dominio experimental de interés	38
3.3 Planificar la experimentación.....	38
3.4 Realización de la experimentación	41
4 Resultados	44
4.1 Pareto	51
4.2 ANOVA	52
4.3 Resultados esperados	53
5 Conclusiones y líneas futuras	54
5.1 Conclusiones	54
5.2 Líneas futuras	55
6 Bibliografía.....	56
Anexo I: Fórmulas ANOVA	62
6.1 Modelo estadístico	62
6.2 Hipótesis de interés	62
Anexo II: Tablas de Infectados para las diferentes interacciones de los factores	64
Anexo III: Encuesta tasa de contacto media.....	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Tipos de virus de ADN [3]	8
Figura 1-2 Tipos de virus de ARN [3]	9
Figura 2-1 Distribución de microgotas respiratorias en un ambiente interior con (A) ventilación inadecuada y (B) ventilación adecuada [32]	19
Figura 2-2 Medidas para la correcta colocación de una mascarilla [34]	21
Figura 2-3 DEE [73]	33
Figura 3-1 Simulación de propagación de un virus sin medidas. Fuente: AnyLogic	37
Figura 3-2 Simulación de propagación de un virus con medidas. Fuente: AnyLogic	37
Figura 3-3 Parámetros iniciales de la simulación. Fuente: AnyLogic	40
Figura 3-4 Parámetros iniciales de la simulación. Fuente: AnyLogic	40
Figura 3-5 Modelo de simulación para la obtención de probabilidades de infección. Fuente: [69]	41
Figura 3-6 Modelación del factor clave "Mascarilla". Fuente: [69]	42
Figura 3-7 Modelación del factor clave "Ventilación". Fuente: [69]	42
Figura 3-8 Modelación del factor clave "Distancia social". Fuente: [69]	42
Figura 4-1 Media Susceptibles en las 8 combinaciones de factores. Fuente: Elaboración propia	44
Figura 4-2 Media Infectados en las 8 combinaciones de factores. Fuente: Elaboración propia	45
Figura 4-3 Gráficas A2B1C2. Fuente: Elaboración propia	46
Figura 4-4 Comparativa de A2B2C1 y A1B2C2. Fuente: Elaboración propia	48
Figura 4-5 Comparativa de duración de las olas de A1B1C2 y A2B1C1. Fuente: Elaboración propia	48
Figura 4-6 Comparativa de máximos infectados de A2B1C1 y A1B1C2. Fuente: Elaboración propia	49
Figura 4-7 Diagrama de Pareto de los efectos clave. Fuente: MiniTab	51
Figura 5-1 Diagrama de flujo del modelo. Fuente: elaboración propia de acuerdo con toda la información recopilada en este informe.	55
Figura A2-1 Gráficas A1B1C1. Fuente: Elaboración propia	64
Figura A2-2 Gráficas A1B1C2. Fuente: Elaboración propia	66
Figura A2-3 Gráficas A1B2C1. Fuente: Elaboración propia	68
Figura A2-4 Gráficas A1B2C2. Fuente: Elaboración propia	70
Figura A2-5 Gráficas A2B1C1. Fuente: Elaboración propia	72
Figura A2-6 Gráficas A2B1C2. Fuente: Elaboración propia	74
Figura A2-7 Gráficas A2B2C1. Fuente: Elaboración propia	76
Figura A2-8 Gráficas A2B2C2. Fuente: Elaboración propia	78
Figura A3-1 Encuesta de contactos cercanos. Fuente: Google	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Riesgo de transmisión del SARS-CoV-2 de personas asintomáticas en diferentes entornos y para diferentes tiempos de ocupación, ventilación y niveles de hacinamiento (ignorando la variación en susceptibilidad y tasas de diseminación viral). Las calificaciones son indicativas de cualitativo riesgo relativo y no representan una medida cuantitativa. [31].....	18
Tabla 2-2 Comparación de estándares de mascarillas EPI [38]	20
Tabla 2-3 Comparación de síntomas entre gripe y COVID-19 [50]	24
Tabla 2-4 Interpretación de las pruebas diagnósticas COVID-19 [56]	27
Tabla 2-5 Ejemplo diseño estadístico 2x2 [74]	34
Tabla 2-6 Ejemplo diseño estadístico 2x2 [74]	34
Tabla 3-1 Factores COVID-19. Fuente: elaboración propia de acuerdo con toda la información recopilada en este informe.....	38
Tabla 3-2 Codificación de factores clave. Fuente: Elaboración propia	41
Tabla 3-3 Probabilidades de infección en función de la interacción de factores clave. Fuente: Elaboración propia	43
Tabla 3-4 Ejemplo resultados experimentales para una determinada combinación de factores. Fuente: Elaboración propia.....	43
Tabla 4-1 Estadística descriptiva A1B2C2. Fuente: Excel	47
Tabla 4-2 Estadística descriptiva A1B1C1. Fuente: Excel	47
Tabla 4-3 Población I + R el día 30 del comienzo de la infección. Fuente: Elaboración propia	49
Tabla 4-4 Diagnóstico de observaciones inusuales. Fuente: MiniTab	50
Tabla 4-5 Estocasticidad de los resultados. Fuente: Elaboración propia	50
Tabla 4-6 Estocasticidad de los resultados. Fuente: Elaboración propia	51
Tabla 4-7 ANOVA población I + R para $\alpha = 0,05$. Fuente: MiniTab	52
Tabla 4-8 Resumen del modelo ANOVA. Fuente: MiniTab	52
Tabla A1-1 ANOVA. Fuente: [85].....	63
Tabla A2-1 Estadística descriptiva A1B1C1. Fuente: Excel.....	65
Tabla A2-2 Estadística descriptiva A1B1C2. Fuente: Excel.....	67
Tabla A2-3 Estadística descriptiva A1B2C1. Fuente: Excel.....	69
Tabla A2-4 Estadística descriptiva A1B2C2. Fuente: Excel.....	71
Tabla A2-5 Estadística descriptiva A2B1C1. Fuente: Excel.....	73
Tabla A2-6 Estadística descriptiva A2B1C2. Fuente: Excel.....	75
Tabla A2-7 Estadística descriptiva A2B2C1. Fuente: Excel.....	77
Tabla A2-8 Estadística descriptiva A2B2C2. Fuente: Excel.....	79

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Preámbulo

El mundo se atraviesa una pandemia global desde finales del año 2019, causada por el nuevo coronavirus SARS-CoV-2 que provoca la enfermedad conocida como la COVID-19, cuyas características eran completamente desconocidas, incluso para la comunidad médica y científica. Poco a poco los científicos van conociendo todos los pormenores de este virus y de la enfermedad que provoca. Cómo se contagia, cuáles son los síntomas y a quién afecta con más virulencia son algunas de las preguntas que se han ido respondiendo a medida que el virus se expandía y aumentaban el número de personas afectadas.

Con el paso del tiempo y el virus en vistas de ser controlado, pero aun activo, el mundo se adaptó a la “nueva normalidad”, una normalidad que trajo medidas sanitarias por parte de los gobiernos de todo el mundo, medidas que pueden resultar extrañas y que han alterado el ritmo de vida de la población mundial. Pese a las medidas implementadas, la crisis sanitaria continúa y, por ello, resulta esencial leer información veraz y formarse sobre lo que realmente es el virus. Aún sigue siendo una incógnita el origen de la COVID-19, no obstante, somos conocedores de su origen geográfico y de cómo se ha propagado por todo el mundo, incluyendo España.

Se pretende mostrar la interacción de factores anti-COVID-19 entre sí en diferentes ámbitos de la vida de los alumnos dentro de la ENM mediante simulaciones. Se espera obtener un resultado que facilite la comprensión de las medidas tomadas, no solo por parte de la ENM, sino por parte del mundo entero.

1.2 Objetivo

El objetivo de este trabajo es analizar la influencia que tienen las medidas anti-COVID-19. Se pretende mostrar si son o no realmente necesarias y hacer ver de qué manera influirían en el día a día de los alumnos de la ENM. No obstante, los factores que influyen en la propagación del coronavirus son múltiples y algunos de ellos solo medibles de manera individual o en situaciones muy concretas. Por ello, se ha de decidir en qué factores centrar la investigación. Una vez definidos los factores más importantes, se pretende mostrar la interacción que van a tener el empleo o no de estos factores para frenar la propagación de una posible pandemia entre los alumnos de la ENM y, por consiguiente, la continuidad de la formación de los futuros oficiales de la Armada o no. De entre todos estos factores, se aspira a puntualizar cuál o cuáles influyen más, así como determinar la robustez del sistema de estudio, es decir, la fiabilidad de los datos obtenidos para la realización de este.

1.3 La COVID-19 desde el punto de vista biológico.

De acuerdo a la RAE, un virus es un organismo de estructura muy sencilla, compuesto de proteínas y ácidos nucleicos, y capaz de reproducirse solo en el seno de células vivas específicas, utilizando su metabolismo. [1]

Con el objetivo de añadir especificaciones a dicha definición, el instituto inglés para el estudio del genoma humano [2] añade que un virus es una partícula de código genético, ADN o ARN, encapsulada en una vesícula de proteínas. Los virus no se pueden replicar por sí solos, necesitan infectar células y usar los componentes de la célula huésped para hacer copias de sí mismos. A menudo, el virus daña o mata a la célula huésped en el proceso de multiplicación. Los virus se han encontrado en todos los ecosistemas de la Tierra, y se estima que sobrepasan a las bacterias en razón de 1 a 10. Puesto que los virus no tienen la misma biología que las bacterias, no pueden ser combatidos con antibióticos. Tan sólo vacunas o medicaciones antivirales pueden eliminar o reducir la severidad de las enfermedades virales, incluyendo SIDA, COVID-19, sarampión y viruela. Con ello se infiere que existen diferentes tipos de virus, dependiendo de su composición y forma de replicación.

1.3.1 Clasificación

La clasificación más utilizada se conoce como clasificación de Baltimore, por el nombre del biólogo David Baltimore que la diseñó, el cual los clasificó en diferentes tipos dependiendo de si contenían ADN o ARN.

1.3.1.1 Virus de ADN

A esta clasificación le corresponden los virus cuyo material genético está codificado en forma de ADN. Por lo general, este tipo de virus se replica en el interior del núcleo celular, utilizando las proteínas de la célula hospedadora. No perteneciendo el coronavirus a esta clasificación, a continuación, se da una breve explicación de cada uno de los tipos, así como los ejemplos más conocidos. Podemos distinguir tres subtipos: (Ver Figura 1-1)

Los virus de ADN bicatenario (Grupo I); virus que organizan su material genético en ADN de doble cadena. Forman parte de este grupo el virus de la varicela, el virus del papiloma humano (VPH) y el virus del herpes simple.

Los virus de ADN monocatenario (Grupo II); son aquellos que organizan su material genético en moléculas de ADN de cadena sencilla. Forman parte de este grupo el Parvovirus B19 humano¹ y los bacteriófagos² de las familias Inoviridae y Microviridae.

Y, por último, los virus de ADN bicatenario retrotranscrito (Grupo VII); caracterizados por la utilización de la transcriptasa reversa lo que significa que puede obtener una molécula de ADN bicatenario a partir de una molécula de ARN. El gran conocido de este grupo es el virus de la hepatitis B.

¹ Infección cutánea común en niños pequeños.

² Virus que infectan exclusivamente a organismos procariotas (organismo unicelular sin núcleo).

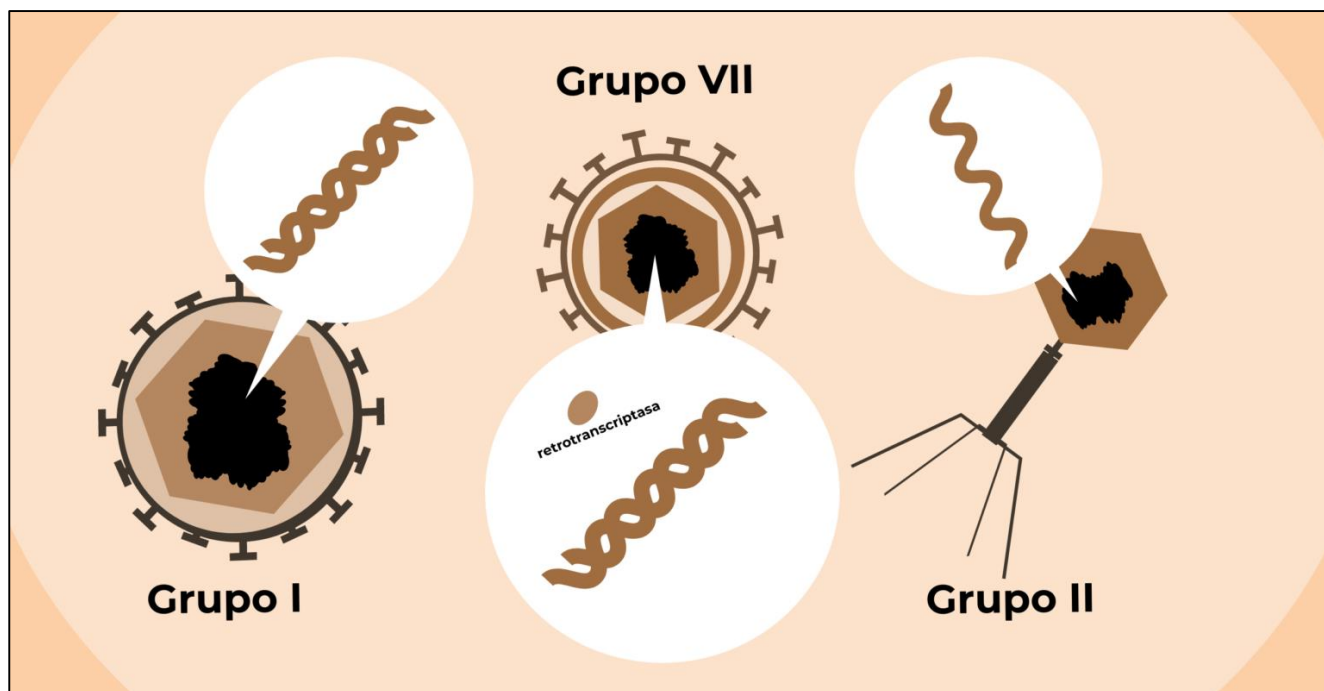


Figura 1-1 Tipos de virus de ADN [3]

1.3.1.2 Virus de ARN

A esta clasificación le corresponden los virus cuyo material genético está codificado en forma de ARN. Perteneciendo a esta clasificación el virus estudiado en este proyecto, en concreto, el Grupo IV. Podemos distinguir cuatro subtipos: (Ver Figura 1-2)

Entre los virus de ARN se incluyen los virus de ARN bicatenario (Grupo III); este tipo de virus organiza su material genético en ARN de doble cadena y se replica en el citoplasma celular. Gracias a esto, no son dependientes de la maquinaria de replicación del ADN de la célula hospedadora. Forman parte de este grupo los Rotavirus, que causan gastroenteritis en niños pequeños, y el virus de la lengua azul, un patógeno de vacas y ovejas que puede afectar de forma importante a la economía ganadera.

Los virus de ARN monocatenario positivo (Grupo IV); este tipo de virus organiza su material genético en moléculas de ARN monocatenario en sentido positivo. En este tipo de virus es muy importante la polaridad del ARN, ya que, los virus de ARN monocatenario positivo tienen la misma polaridad que el ARNm celular, así que llegan con ventaja a la célula y pueden ser traducidos directamente, es decir, una mayor velocidad en el proceso de síntesis proteica. Forman parte de este tipo de virus el virus de la hepatitis A, de la fiebre amarilla, el resfriado común, el coronavirus recientemente descubierto **SARS-CoV-2**.

Los virus de ARN monocatenario negativo (Grupo V); organizan su material genético en ARN de sentido negativo. Este tipo de virus ha de convertir su ARN de sentido negativo en ARN de sentido positivo mediante una ARN-polimerasa para poder replicarse en la célula. Por ello, los virus del Grupo V suelen aportar en la infección junto a su material genético una ARN-polimerasa o transcriptasa. Forman parte de este grupo el virus del ébola, el virus de la gripe, el virus del sarampión o el virus de la rabia.

Los virus de ARN monocatenario retrotranscrito (Grupo VI); son virus de ARN de cadena sencilla que utilizan la acción de una retrotranscriptasa, es decir, el virus es capaz de replicarse en las células hospedadoras. El gran conocido de este grupo es el VIH, causante del SIDA.

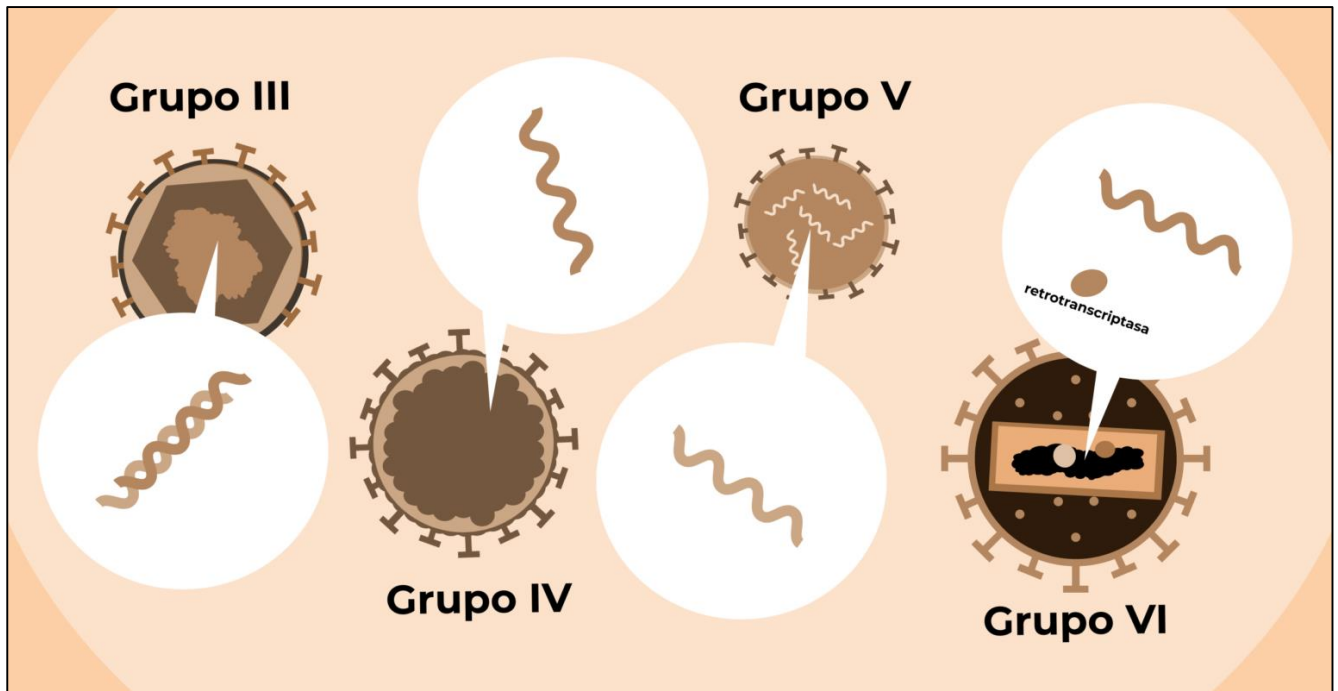


Figura 1-2 Tipos de virus de ARN [3]

1.3.2 Comparación de los virus SARS-CoV, MERS-CoV y SARS-CoV-2.

Los coronavirus son una familia de virus que causan infección en los seres humanos y en una variedad de animales, incluyendo aves y mamíferos como camellos, gatos y murciélagos. Se trata de una enfermedad zoonótica, lo que significa que pueden transmitirse de los animales a los humanos. Los coronavirus que afectan al ser humano (HCoV) pueden producir cuadros clínicos que van desde el resfriado común con patrón estacional en invierno, hasta otros más graves como los producidos por los virus del Síndrome Respiratorio Agudo Grave (por sus siglas en inglés, SARS) y del Síndrome Respiratorio de Oriente Próximo (MERS-CoV). [4]

1.3.2.1 SARS-CoV

El virus del síndrome respiratorio agudo severo (severe acute respiratory syndrome virus) apareció en el otoño de 2002 en la provincia de Guangdong, en el sur de China, desde donde se propagó a unos 30 países de todos los continentes. Hasta finales de junio de 2003, se notificaron 8097 casos y murieron 774 pacientes. El período de incubación promedio fue de 4-6 días (rango 1-14 días). La mayor infectividad se encontraba generalmente en la segunda semana de la enfermedad, en personas en las que la enfermedad tenía un curso grave o cuando había un rápido deterioro de la condición clínica. La mayor intensidad de excreción del virus en las vías respiratorias se observó alrededor del décimo día de la enfermedad. La mortalidad media se estimó en alrededor del 15%. No hubo contagios de personas en las que la infección cursó asintomática. El contagio se producía por inhalación (principalmente por gotas, en algunos casos por el aire) y por contacto. La enfermedad se caracterizó por síntomas respiratorios y algunos pacientes también presentaban diarrea. Además de los pulmones, que son el principal órgano objetivo para el SARS-CoV, también se observó la replicación del virus en otros órganos (incluidos el hígado y los riñones). [5]

1.3.2.2 MERS-CoV

El virus del síndrome respiratorio de Oriente Medio (Middle East respiratory syndrome virus) fue identificado por primera vez en 2012. Desde entonces se ha confirmado la infección en 2357 personas, 820 de las cuales murieron (35% de mortalidad). A diferencia de la epidemia del SARS, que se erradicó en pocos meses, las infecciones por MERS-CoV siguen produciéndose, principalmente en la Península Arábiga, pero también se ha informado de ellas en otros continentes, incluida Europa, entre otros en

Alemania, el Reino Unido, Francia y Holanda. Las personas se infectan principalmente por contacto directo o indirecto con camellos infectados, incluidos los productos de origen animal, como el consumo de leche de camello cruda. También se ha demostrado la posibilidad de transmisión del virus entre personas, pero las infecciones ocurren en situación de contacto cercano con una persona enferma. La mayoría de las transmisiones de persona a persona ocurrieron en hospitales a causa de pacientes ingresados por MERS que excretaban el virus en grandes cantidades. El período de incubación promedio es de 5-6 días (rango 2-15 días). Algunas infecciones son asintomáticas o leves, pero también pueden provocar neumonía con insuficiencia respiratoria aguda e incluso fallo multiorgánico, especialmente insuficiencia renal aguda. También pueden presentar síntomas extra pulmonares como diarrea, dolor abdominal, náuseas y vómitos. El curso grave aparece con más frecuencia en personas mayores y con enfermedades crónicas.

1.3.2.3 SARS-CoV-2

Se trata de un nuevo coronavirus estrechamente relacionado con el virus del SARS, que causa infecciones del sistema respiratorio, incluida la insuficiencia respiratoria aguda. Al igual que el SARS-CoV, puede usar la misma enzima receptora para penetrar en una célula, aunque su afinidad por esta enzima puede ser menor que la del SARS-CoV. El tiempo medio desde el inicio de los síntomas hasta la recuperación es de 2 semanas cuando la enfermedad ha sido leve y 3-6 semanas cuando ha sido grave o crítica. El tiempo entre el inicio de síntomas hasta la instauración de síntomas graves como la hipoxemia es de 1 semana, y de 2-8 semanas hasta que se produce el fallecimiento. Las infecciones por SARS, MERS y SARS-CoV-2 son transmitidas mediante zoonosis. El SARS-CoV y el MERS-CoV, antes de que adquirieran propiedades infecciosas humanas, fueron pasando por otras especies animales. Las mutaciones del virus que ocurrieron en ese momento y la posibilidad de mezclar genes de otros coronavirus han llevado a la aparición de nuevas variantes.

1.3.3 Historia

1.3.3.1 Origen

En diciembre de 2019 hubo un brote epidémico de neumonía de causa desconocida en Wuhan, provincia de Hubei, China. Según el Centro Chino para el Control y Prevención de Enfermedades (CCDC), el 29 de diciembre un hospital en Wuhan admitió a 4 individuos con neumonía, quienes trabajaban en un mercado de esa ciudad. El hospital informó de esto al CCDC, cuyo equipo en la ciudad inició una investigación. El equipo encontró más casos relacionados al mercado y el 30 de diciembre las autoridades de salud de Wuhan comunicaron los casos al CCDC, que envió expertos a Wuhan para apoyar la investigación. Se obtuvieron muestras de estos pacientes para realizar análisis de laboratorio. [6]

El 31 de diciembre, el Comité de Salud Municipal de Wuhan informó a la Organización Mundial de la Salud (OMS) que 27 personas habían sido diagnosticadas con neumonía de causa desconocida, habiendo 7 en estado crítico [7] la mayoría de estos casos eran trabajadores del mencionado mercado. Para el 1 de enero de 2020, el mercado había sido cerrado y se había descartado que el causante de la neumonía fuera el SARS, el MERS, gripe común, gripe aviaria u otras enfermedades respiratorias comunes causadas por virus.

El 7 de enero de 2020 los científicos chinos habían aislado el virus causante de la enfermedad, y realizaron la secuenciación del genoma [8]. Esta secuenciación estuvo disponible para la OMS el 12 de enero de 2020, permitiendo a los laboratorios de diferentes países producir diagnósticos específicos vía pruebas de PCR.

El 12 de enero de 2020, las autoridades chinas habían confirmado la existencia de 41 personas infectadas con el nuevo virus, quienes comenzaron a sentir síntomas entre el 8 de diciembre de 2019 y el 2 de enero de 2020, los cuales incluían: fiebre, malestar, tos seca, dificultad para respirar y fallos

respiratorios; también se observaron infiltrados neumónicos invasivos en ambos pulmones observables en las radiografías de tórax.

El 8 de enero Tailandia reportó por primera vez un caso detectado fuera de China (aunque después se supo de otro anterior el 27 de diciembre en Francia) y el 10 de enero se produjo el primer fallecimiento causado por el nuevo coronavirus.

La rápida expansión de la enfermedad hizo que la Organización Mundial de la Salud, el 30 de enero de 2020, la declarara una emergencia sanitaria de preocupación internacional [9], basándose en el impacto que el virus podría tener en países subdesarrollados con menos infraestructuras sanitarias. En esa fecha, la enfermedad se había detectado en todas las provincias de China continental, y se diagnosticaban casos en otros 15 países.

El 11 de marzo la enfermedad se hallaba ya en más de 100 territorios a nivel mundial, y fue reconocida como una pandemia por la OMS [10]. El número de casos confirmados continuó creciendo hasta alcanzar los 500 mil casos a nivel mundial el 26 de marzo de 2020.

Para prevenir la expansión del virus, los gobiernos han impuesto restricciones de viajes, cuarentenas, confinamientos, aislamiento social, cancelación de eventos, y cierre de establecimientos.

1.3.3.2 Pandemias previas

Las cinco pandemias más letales han sido, por este orden: viruela, sarampión, la mal llamada ‘gripe española’ de 1918, la peste negra, y el VIH. En concreto, el más letal de los virus hasta la fecha ha sido el ‘Variola virus’, causante de la viruela, hoy erradicada gracias a las vacunas. Este virus no ha provocado brotes tan concentrados en el tiempo, pero su supervivencia a lo largo de los siglos lo ha catapultado a ser el homicida número uno y se calcula que mató a 300 millones de humanos, aparte de dejar numerosas personas con la piel marcada.

Frente al sarampión, otro virus que ha matado a unos 200 millones de personas, existe hoy en día vacuna. Antes de que la vacuna se introdujera en 1963 y se generalizara su uso, cada 2-3 años se registraban importantes epidemias de sarampión que llegaban a causar cerca de dos millones de muertes al año.

Por otro lado, el virus conocido coloquialmente como ‘gripe española’ de 1918 provocó una de las crisis más graves de salud pública de la historia, según la OMS mató en apenas dos años entre 50 y 100 millones de personas, lo que supone (entre el 3% y el 6% de la población mundial). La bacteria ‘Yersinia pestis’ fue la culpable de la epidemia de peste negra que asoló a Europa a mediados del siglo XIV; un bacilo³ que se transmitía a través de parásitos como pulgas y piojos que vivían en ratas, otros roedores y en los propios humanos. Se cree que una vez más la epidemia empezó en Asia y se dispersó hacia Europa aprovechando las rutas comerciales. En la Península Ibérica la población pasó de 6 millones de habitantes a 2,5; mientras, en el conjunto de Europa murieron unos 50 millones de personas, al pasar de 80 millones de habitantes a 30.

El virus de la inmunodeficiencia humana (VIH), si no se trata, mata de media al 80% de los infectados. Se expandió hace 4 décadas. Según cálculos de la OMS y el ONUSIDA [11], a finales de 2016 había en el mundo unos 36,7 millones de personas infectadas por el VIH. Se sabe que se transmite por las relaciones sexuales (vaginales, anales o bucales) sin protección con una persona infectada; por la transfusión de sangre contaminada; y por compartir agujas, jeringas, material quirúrgico, u otros objetos punzocortantes. La madre puede transmitirle la infección al hijo durante el embarazo, el parto o la lactancia. Prevenir el contagio con las distintas medidas existentes es la mejor forma de contenerlo. No hay cura para la infección por el VIH, según la OMS, pero un buen tratamiento con medicamentos antirretrovíricos aminora su evolución hasta casi detenerla.

³ Cualquier bacteria con forma de barra o vara.

1.3.3.3 COVID-19 en España

El primer caso de COVID-19 en España fue diagnosticado el 31 de enero de 2020 en La Gomera [12], aunque análisis posteriores revelaron infectados desde el 1 de enero de 2020, mientras que el primer fallecimiento conocido ocurrió el 13 de febrero en Valencia [13]. Se estima que la pandemia ha causado en España más de 69 000 fallecimientos, de los cuales más de 51 000 han sido confirmados mediante prueba PCR. La gran mayoría de los fallecidos eran personas mayores de 65 años. Según el estudio de seroprevalencia ENE-COVID, uno de cada diez españoles había sido infectado por el virus hasta noviembre de 2020. [14]

Ante la rápida expansión del virus, el 14 de marzo el Gobierno español decretó el estado de alarma en todo el territorio nacional y, amparado en esta medida, limitó la libre circulación de los ciudadanos a actos esenciales como la adquisición de alimentos y medicamentos o acudir a centros médicos o al lugar de trabajo, resultando en un confinamiento de la población en sus lugares de residencia. El 28 de marzo se suspendió toda actividad laboral presencial no esencial durante quince días. El 2 de abril se registró el mayor número de muertes por coronavirus en un día (950). El Congreso de los Diputados fue autorizando sucesivas prórrogas del estado de alarma hasta un total de seis veces. A partir del 28 de abril comenzó el plan de desescalada asimétrica por provincias. A mediados de junio, España era el quinto país en número de casos confirmados, por detrás de Estados Unidos, Brasil, Rusia, y Reino Unido, y el sexto país en número de personas fallecidas, por detrás de Estados Unidos, Brasil, Reino Unido, Italia y Francia.

El 21 de junio, tras 98 días, expiró el estado de alarma y España entró en la llamada “nueva normalidad”. A lo largo del verano, sin embargo, se multiplicaron los rebrotes en distintos puntos del país, que no pudieron ser contenidos y degeneraron en transmisión comunitaria. El 21 de octubre España superó el millón de contagiados. El 25 de octubre el Gobierno decretó de nuevo el estado de alarma para hacer frente a la segunda ola de contagios. Se estableció el toque de queda nocturno, dejando en manos de los gobiernos autonómicos las medidas de contención. Cuatro días después, el Congreso aprobó prorrogar el estado de alarma hasta mayo de 2021.

El 27 de diciembre de 2020 comenzó la campaña de vacunación en España con la vacuna de Pfizer y BioNTech, una semana después de ser aprobada por la Agencia Europea de Medicamentos y la Comisión Europea. El 14 de enero de 2021 se superaron los dos millones de contagiados, lo que dio paso al inicio de la tercera ola. La tercera ola supuso la cifra más elevada de contagios diarios registrada desde que comenzó la pandemia (38 869). Las comunidades autónomas introdujeron nuevamente medidas en función al número de casos activos, consiguiendo un descenso de casos de coronavirus a finales del mes de febrero.

A 28 de febrero de 2021 la cifra de vacunados asciende a más de 1,2 millones de personas.

2 ESTADO DEL ARTE

La epidemia del nuevo coronavirus está avanzando a un ritmo vertiginoso. Afortunadamente, también es el caso de los estudios y la evidencia científica sobre el virus (SARS-CoV-2) y la enfermedad (COVID-19), estudios que varían en metodología y ámbito de actuación. La estadística resulta útil ante una situación novedosa, donde datos numéricos entorno al virus se encuentran en evolución. El diseño estadístico de experimentos es un método más que aporta conclusiones a partir de datos numéricos. Este método será empleado en el presente trabajo para la evaluación de la viabilidad de medidas anti-COVID-19. Los datos son generados de acuerdo al modelo epidemiológico SIR facilitado a través del programa AnyLogic.

Previo a la implementación de medidas para frenar el contagio de SARS-CoV-2, fue necesario la realización de estudios sobre la dinámica de propagación. Estas medidas fueron cambiando con el crecimiento de conocimientos sobre el virus. Llegamos a definir los síntomas que provoca, siendo estos muy similares a la gripe común, lo cual supone un problema. Avances en la industria médica permitieron el desarrollo de test para la identificación del virus, test que se han encontrado en continuo desarrollo hasta llegar a una fiabilidad próxima al 100%. De la misma manera, empresas farmacéuticas se disputan la creación de la vacuna. La aprobación de emergencia de ellas por parte de la OMS (Organización Mundial de la Salud) fue requisito indispensable para su implementación, pues se trata de vacunas cuyos estudios de efectividad se encuentran en elaboración [15]. Una vez definidas de manera genérica las protecciones a poner en funcionamiento, cada entidad pública o empresa privada es responsable de la disponibilidad de las medidas necesarias para asegurar un trabajo permanente y seguro. La ENM, de la misma manera, ha elaborado instrucciones que adaptan la nueva normalidad.

2.1 Formas de propagación

Como se ha mencionado anteriormente, resulta indispensable el conocimiento sobre las diferentes formas de propagación para una correcta implementación de medidas higiénico-sanitarias. Se cree que el COVID-19 se propaga principalmente a través del contacto directo de persona a persona (a menos de 2 metros). Las personas que están infectadas, pero no presentan síntomas también pueden propagar el virus a otras personas.

De acuerdo al ministerio de sanidad español, su propagación se produce a través de las secreciones que se emiten al respirar, exhalar, cantar, toser, estornudar o hacer ejercicio intenso, cuando alcanzan las mucosas y conjuntivas de otras personas. Las partículas más pequeñas pueden permanecer suspendidas en el aire y alcanzar a personas a más de 2 metros. Sin embargo, la mayor transmisión se produce a distancias más cortas, por ello la importancia de mantener la distancia interpersonal. También se considera posible la transmisión por contacto directo o indirecto con superficies contaminadas con secreciones, a través de las manos que luego contactan con las mucosas o conjuntivas. [16]

2.1.1 Contacto cercano

Las personas que están físicamente cerca (dentro de los 2 metros de distancia) de una persona con COVID-19 o que tienen contacto directo con esa persona tienen mayor riesgo de infección. Cuando las personas con COVID-19 tosen, estornudan, cantan, hablan o respiran, producen gotitas respiratorias. Estas gotitas pueden variar de tamaño desde gotitas grandes (algunas de las cuales son visibles) a gotitas más pequeñas. Las gotitas pequeñas también pueden formar partículas al secarse rápidamente en las corrientes de aire.

Las infecciones ocurren principalmente a través de la exposición a gotitas respiratorias cuando una persona está en contacto cercano con alguien con COVID-19. Las gotitas respiratorias provocan infecciones cuando son inhaladas o se depositan en las membranas mucosas, como las que revisten la parte interna de la nariz y la boca [17].

A medida que las gotitas respiratorias se desplazan a una mayor distancia de la persona con COVID-19, la concentración de estas gotitas disminuye. Las gotitas más grandes se precipitan desde el aire debido a la gravedad. Las gotitas y partículas más pequeñas se esparcen en el aire, quedando estas en suspensión y pudiendo ser una fuente de transmisión (aerosoles).

2.1.2 Transmisión por el aire (aerosoles)

Los aerosoles son las partículas más pequeñas que se emiten conjuntamente con las gotículas y que por su reducido tamaño pueden permanecer en suspensión en el aire durante minutos u horas. Los virus pueden infectar a las personas que están a más de 2 metros de distancia de la persona infectada o después de que la persona haya abandonado el lugar. A este tipo de propagación se lo denomina transmisión por aire y es una de las principales formas de propagación de infecciones como la tuberculosis, el sarampión y la varicela.

Existe evidencia de que, bajo ciertas condiciones, personas con COVID-19 podrían haber infectado a otras personas que se encontraban a más de 2 metros de distancia. Estas transmisiones ocurrieron dentro de espacios cerrados con ventilación inadecuada.

Un estudio realizado con hurones por expertos compuestos por científicos del Departamento de Virología del Centro Médico de la Universidad Erasmus y el Laboratorio de Ciencia Animal del mismo centro en Róterdam (Países Bajos), demuestra que el coronavirus se transmite por el aire. [18]

“Nuestro estudio ofrece la información adicional de que las partículas de SARS-CoV-2 pueden ser expulsadas y, tras estar en el aire, infectar. En este estudio proporcionamos la primera evidencia experimental de que el SARS-CoV-2 puede transmitirse a través del aire entre hurones, como un modelo de transmisión entre humanos”.

Los factores que influyen en el mayor o menor riesgo de la generación de aerosoles con virus viable de SARS-CoV-2 y su transmisión son: [19]

- Por parte de la persona infectada en su periodo de transmisibilidad (Emisor):
 - Carga viral de la persona infectada
 - Concentración y tamaño de los aerosoles emitidos
 - Tiempo de emisión
- Por parte de la persona susceptible (Receptor):
 - Volumen de aire inhalado
 - Tiempo de exposición
 - Concentración viral en los aerosoles inhalados
 - Posición y distancia del emisor
 - Vulnerabilidad personal
- Condiciones dependientes del escenario:
 - Nivel de transmisión comunitaria y porcentaje de susceptibles
 - Tiempo, espacio

- Exteriores e interiores
- Ventilación adecuada
- Comportamiento aerodinámico de las partículas emitidas

2.1.3 Transmisión por superficies

Las gotitas respiratorias también pueden depositarse sobre superficies y objetos. Es posible que una persona contraiga la COVID-19 al tocar una superficie u objeto que tenga el virus y luego tocarse la boca, la nariz o los ojos. La posibilidad de contraer la COVID-19 a través del contacto con una superficie tocada por un contagiado son mínimas [20].

2.1.3.1 Vidrio, acero o billetes

Un estudio llevado a cabo por investigadores australianos ha determinado que el virus de la COVID-19 puede permanecer activo hasta 28 días en determinadas superficies lisas como las pantallas de los teléfonos móviles, el vidrio, el acero inoxidable y los billetes de papel o polímero. Sin embargo, la pervivencia del virus activo está sujeta en gran medida a la temperatura. [21]

- Si con 20 °C determinaron que podía llegar a los 28 días, la supervivencia del virus baja drásticamente a medida que sube la temperatura.
- Con una temperatura de 30 °C, el virus puede permanecer activo hasta 7 días.
- Con una temperatura de 40 °C el virus infeccioso sobrevive menos de 24 horas.

Según los autores, “estos hallazgos demuestran que el SARS-CoV-2 puede seguir siendo infeccioso durante períodos de tiempo significativamente más largos de lo que generalmente se considera posible”.

2.1.3.2 En la ropa de algodón

En el mismo estudio australiano, se observó que el virus de la COVID-19 vive mucho menos tiempo en superficies porosas como los tejidos.

- Los investigadores hallaron virus en la ropa de algodón después de 14 días a una temperatura de 20 °C, la mitad que en otras superficies como el vidrio o el acero.
- A 30 °C el virus solo sobrevive en los tejidos durante 3 días.
- A 40 °C, menos de 16 horas.

2.1.3.3 En la piel

Investigadores de la Universidad de Kioto (Japón) han observado que el virus puede permanecer activo sobre la piel durante 9 horas. Esto sería 5 veces más que otros patógenos, como el virus de la gripe A [22]. Para realizar el estudio, utilizaron piel humana en la que depositaron muestras del virus de la gripe A y de la COVID-19 mezclados con mucosa de las vías respiratorias. También observaron que ambos virus se inactivan en 15 segundos tras entrar en contacto con etanol al 80%.

“La supervivencia de 9 horas del SARS-CoV-2 en la piel humana puede aumentar el riesgo de transmisión por contacto en comparación con el virus de la gripe A, acelerando así la pandemia. La higiene adecuada de manos es importante para prevenir la propagación de la infección por SARS-CoV-2”, concluyen los autores.

2.1.3.4 En una mascarilla quirúrgica

Un estudio realizado por investigadores de la Universidad de Hong Kong determinó que se pueden encontrar rastros del virus en la superficie exterior de las mascarillas quirúrgicas después de 7 días a una temperatura de 22 °C y un nivel de humedad de alrededor del 65% (condiciones que se dan habitualmente en los hogares) [23]. Los investigadores también detectaron rastros del virus 4 días después de la contaminación en la parte interior de las mascarillas.

2.1.4 Otras posibles vías de transmisión

➤ *Heces y orina*

Se han detectado trazas del ARN del SARS-CoV-2 en heces y orina de personas infectadas. Sin embargo, la presencia de material genético del SARS-CoV-2 en las heces no indica necesariamente que haya contagio ni enfermedad. En algunos estudios, se intentó detectar el virus viable e infectante en las heces y los resultados fueron dispares: en tres estudios se detectó el virus vivo [24] [25] [26] en las heces y en uno no se detectó el virus vivo, a pesar de haber detectado material genético del SARS-CoV-2 [27]. No se han notificado casos de transmisión fecal-oral del virus COVID-19 hasta la fecha.

➤ *Sangre*

“El coronavirus no se transmite por la sangre; las donaciones son seguras”. Esta afirmación ha sido realizada por la hematóloga Cristina Arbona Castaño, vocal de la Sociedad Española de Hematología y Hemoterapia (SEHH) y directora del Centro de Transfusiones de la Comunidad Valenciana para aclarar que, si bien el coronavirus que provoca la COVID-19 se detecta en un análisis de sangre, es debido a la presencia de anticuerpos. Es por esto que la sangre muestra las defensas que se han generado contra el virus y no la enfermedad en sí.

➤ *De madre a hijo*

En el caso de un hijo que aún se encuentra en el interior de su madre: un estudio realizado en Francia en Julio de 2020 señala que es posible que los bebés se contagien con el coronavirus cuando todavía están dentro del cuerpo de su madre. [28]

Para el caso de bebés recién nacidos: se han encontrado fragmentos de ARN viral en muestras de leche materna de madres infectadas con SARS-CoV-2, pero ningún virus viable. Un estudio publicado en la revista científica JAMA Pediatrics [29] defiende la lactancia materna directa y practicar el piel con piel en mamás COVID-19 positivas siempre que usen mascarillas y tengan una buena higiene de manos.

➤ *De animales a personas*

La evidencia actual sugiere que los humanos infectados con SARS-CoV-2 pueden infectar a otros mamíferos, incluidos perros y gatos. Investigadores de la Universidad Estatal de Colorado han publicado un nuevo artículo donde se han analizado la posible susceptibilidad de los gatos y los perros para contraer la enfermedad [30]. Los investigadores indican que no hay evidencias de que los gatos o perros jueguen un papel importante en la infección humana, sin embargo, la zoonosis inversa es posible si los infectados exponen a sus mascotas durante una infección humana aguda.

2.2 Protecciones ante el virus

Las diferentes formas de transmisión del virus y el hecho de que algunas personas infectadas no muestren síntomas, posibilitan la rápida propagación de la enfermedad. Es por esto que su contención no solo se puede lograr a través de un comportamiento sensato y el cumplimiento de las medidas generales de higiene, como es la higiene de las manos. Resulta necesario tomar medidas individuales y colectivas a fin de evitar el contagio en la mayor medida de lo posible. A lo largo de la pandemia se han establecido diferentes medidas entre las que destacan, el distanciamiento social, resaltando la importancia de la ventilación de habitaciones y edificios, el uso obligatorio de mascarillas, desinfección de superficies y manos y el establecimiento de cuarentenas individuales y colectivas.

2.2.1 Distanciamiento social

La COVID-19 se propaga principalmente entre personas que están en contacto cercano por un período prolongado, siendo una de las personas infectada con el virus, debido a la inhalación del mismo.

Un estudio de la Universidad de Oxford establece que la regla de distanciamiento de 2 metros se basa en experiencia de virus pasados. Por esta razón, el grupo de investigadores apuntan que esta

normativa se basa en hechos demasiados simplistas: medir la transferencia viral por gotas grandes o pequeñas suspendidas o que viajan en el aire emitidas de forma aislada sin tener en cuenta el aire exhalado. [31]

El estudio indica que las gotas más pequeñas exhaladas por actividades como toser y gritar pueden llegar hasta 7 – 8 metros. Con este supuesto, el equipo de investigadores suscita que las reglas de distanciamiento deben tener en cuenta los múltiples factores tales como: el tipo de actividad, los entornos interiores o exteriores, el nivel de ventilación y si se usan cubiertas faciales. Además, la carga viral del emisor, la duración de la exposición y la susceptibilidad de un individuo a la infección también son importantes. (Ver Tabla 2-1)

Número de personas y actividad de grupo	Baja ocupación				Alta ocupación		
	Exterior	Interior bien ventilado	Interior mal ventilado		Exterior	Interior bien ventilado	Interior mal ventilado
Con mascarilla, contacto durante poco tiempo							
En silencio							
Hablando							
Gritando, cantando							
Con mascarilla, contacto durante mucho tiempo							
En silencio							
Hablando							
Gritando, cantando							
Sin mascarilla, contacto durante poco tiempo							
En silencio							
Hablando							
Gritando, cantando							
Sin mascarilla, contacto durante mucho tiempo							
En silencio							
Hablando							
Gritando, cantando							

Tabla 2-1 Riesgo de transmisión del SARS-CoV-2 de personas asintomáticas en diferentes entornos y para diferentes tiempos de ocupación, ventilación y niveles de hacinamiento (ignorando la variación en susceptibilidad y tasas de diseminación viral). Las calificaciones son indicativas de cualitativo riesgo relativo y no representan una medida cuantitativa. [31]

2.2.1.1 La importancia de la ventilación

De acuerdo un estudio realizado en el Laboratorio de Calidad del Aire y Salud de la Universidad de Brisbane en Australia, la ventilación es una de las principales armas contra los contagios en espacios cerrados, mediante un análisis de la variación del riesgo de transmisión en función del entorno, el nivel de ocupación, el tiempo de contacto y si se usan mascarillas. [32] (Ver Figura 2-1)

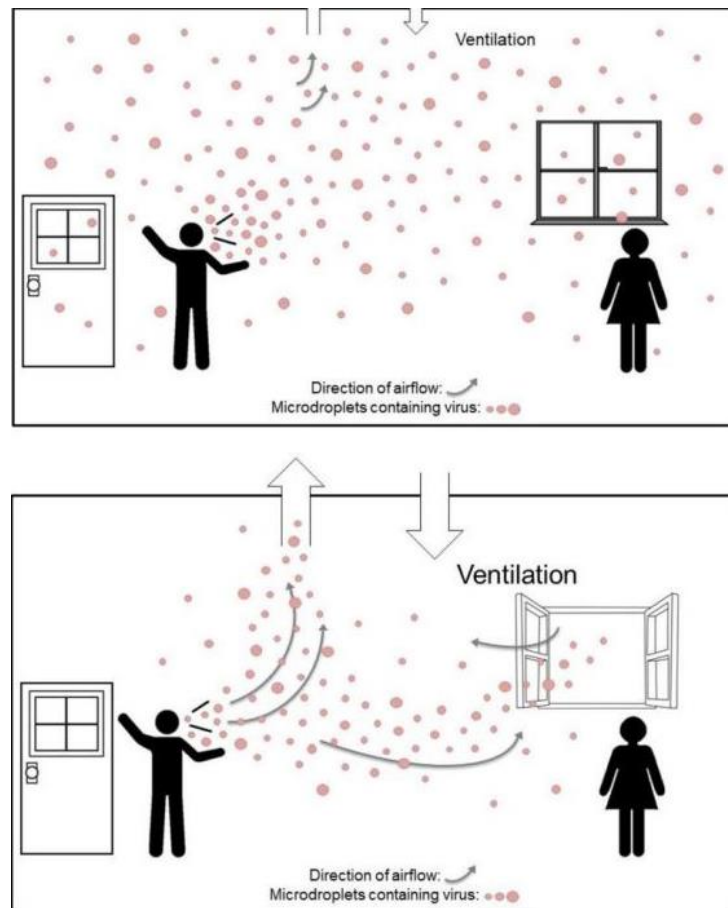


Figura 2-1 Distribución de microgotas respiratorias en un ambiente interior con (A) ventilación inadecuada y (B) ventilación adecuada [32]

2.2.2 Mascarilla

Cuando la distancia interpersonal de 2 metros no está garantizada, sobre todo en lugares con alta densidad poblacional y en espacios cerrados, se hace indispensable el uso de mascarillas. Se trata de un producto sanitario que, principalmente, limita la salida de gotas respiratorias, por lo que previene la transmisión del virus a otras personas, ya que hacen de barrera y frenan las posibles gotículas que se proyectan al estornudar o toser.

Países alrededor del mundo hacen obligatorio el uso de mascarillas. De la misma manera, el Ministerio de Sanidad Español ha hecho obligatorio el uso de mascarillas en la vía pública a través de la Orden SND/422/2020, publicada en el Boletín Oficial del Estado (BOE), entrando en vigor el jueves 21 de mayo de 2020 mientras continúe la situación actual de pandemia. [33]

El tipo de mascarilla a usar depende de la situación en la que nos encontremos respecto del virus. De acuerdo al ministerio de consumo diferenciamos 3 tipos de mascarillas a usar: [34]

➤ **Mascarillas higiénicas**

Recomendada para personas sanas. Este producto no es un EPI ni un producto sanitario. Deben de indicar que cumplen las especificaciones UNE 0064-1:2020 (Asociación Española de Normalización, 2020) para adultos y UNE 0064-2:2020 [36] para niños. No obstante, existen mascarillas con otras especificaciones que se someten a ensayos y no llegan a cumplir el estándar de calidad UNE o simplemente han hecho ensayos en base a otras normas. Pueden indicar en su etiquetado que se han sometido a estas pruebas y mostrar los resultados obtenidos, siendo las que no tienen ningún tipo de especificación no recomendadas. Pueden ser de dos tipos:

No reutilizables: hay que tirarlas después de su uso. Por cuestiones de comodidad e higiene, se suele recomendar no utilizar durante más de cuatro horas. Si se humedecen, entonces habría que tirarlas antes.

Reutilizables: en las que el fabricante especifica en la etiqueta el número de lavados permitidos. A partir de ahí, no se garantiza la eficacia de la mascarilla.

➤ **Mascarillas quirúrgicas**

Recomendadas para personas enfermas. Las mascarillas quirúrgicas tienen marca CE que asegura que el producto cumple con la legislación y la referencia a la norma UNE EN 14683 [37] que asegura el cumplimiento del estándar de calidad. Su función es proteger a los otros ya que hacen de barrera para evitar la dispersión vírica cuando la persona que la usa (infectada o sospechosa de estarlo) estornuda, tose o habla.

No hay reutilizables. Se recomienda consultar las instrucciones porque depende del fabricante, pero lo normal es que no se use durante más de cuatro horas. Si se humedecen o se deterioran se sugiere tirarlas antes de tiempo. A mayores, este tipo de mascarilla a veces tiene fecha de caducidad.

Según su Eficacia de Filtración Bacteriana (EFB), son de tipo I (más del 95%) o tipo II (más del 98%). Estas últimas pueden ser también resistentes a salpicaduras (sangre y otros líquidos biológicos) si se denominan IIR.

➤ **Mascarillas EPI**

Este tipo de mascarillas son Equipos de Protección Individual y se recomiendan fundamentalmente para su empleo por profesionales en contacto con el virus para crear una barrera entre un riesgo potencial y el usuario. También pueden estar recomendadas para grupos vulnerables por indicación médica. Las mascarillas EPI tienen como finalidad filtrar el aire inhalado evitando la entrada de partículas contaminantes en nuestro organismo. La clasificación varía según su eficacia de filtración y el estándar empleado.

El N95 es uno de los respiradores más conocidos y comentados popularmente. Se constituye como un estándar estadounidense administrado por el NIOSH (Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional), el cual forma parte del Centro para el Control de Enfermedades (CDC).

Europa usa dos estándares diferentes para los respiradores. La clasificación de “pieza facial filtrante” (traducción al español de las siglas FFP⁴) proviene de la norma EN 149:2001. Por otro lado, la norma EN 143 incorpora las clasificaciones P1 / P2 / P3. Ambas normas son reguladas por el CEN (Comité Europeo de Normalización).

De acuerdo al estudio realizado por la compañía Science 3M [38], es razonable considerar los respiradores KN95, AS/NZ P2 de China, primera clase de Corea y DS de Japón como equivalentes a los respiradores NIOSH N95 de EE. UU. y a los FFP2 europeos. (Ver Tabla 2-2)

Estándar de respirador	Capacidad de filtrado (porcentaje de eliminación de las partículas que miden 0,3 micras de diámetro o más grandes)
FFP1 y P1	Al menos 80%
FFP2 y P2	Al menos 94%
N95	Al menos 95%
N99 y FFP3	Al menos 99%
P3	Al menos 99,95%
N10	Al menos 99,97%

Tabla 2-2 Comparación de estándares de mascarillas EPI [38]

⁴ Filtering Face Piece

Resulta importante recordar la existencia del contagio por un uso indebido de la mascarilla. (Ver Figura 2-2)

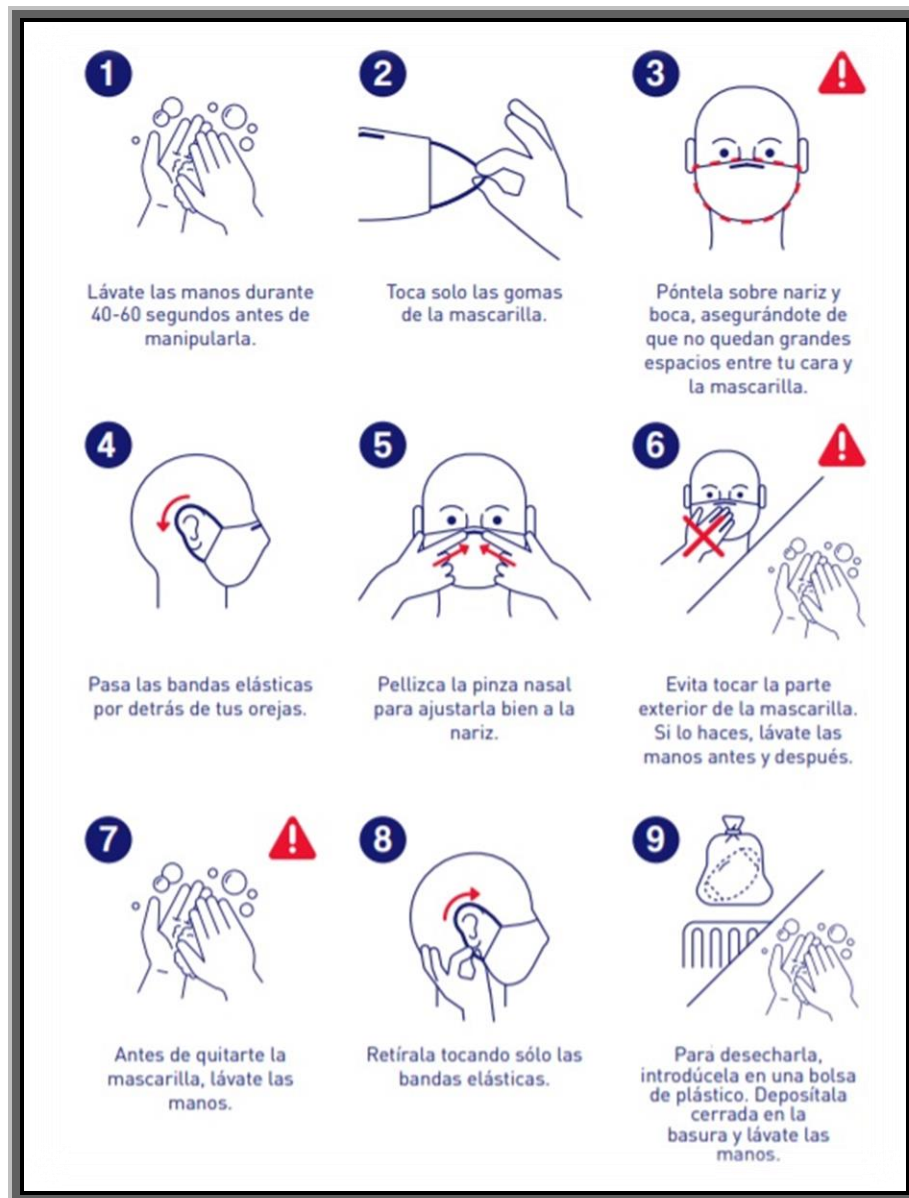


Figura 2-2 Medidas para la correcta colocación de una mascarilla [34]

2.2.3 Desinfección de manos y superficies

Como se ha explicado en el apartado de transmisión por superficies, existe un riesgo de infección al caer las gotículas de una persona infectada sobre objetos, de modo que otras personas pueden infectarse si entran en contacto con los mismos y luego se tocan los ojos, la nariz o la boca.

Las directrices publicadas por el Ministerio de Sanidad advierten de la necesidad de una limpieza y desinfección más profunda y frecuente del baño y la cocina, además de las superficies que se tocan más a menudo (pomos y manecillas, barandillas, interruptores, mandos a distancia, mesas, sillas y otros muebles, grifos, utensilios de cocina, entre otros).

El Ministerio de Sanidad y la Organización de Consumidores y Usuarios (OCU) recomiendan en el contexto actual el uso de desinfectantes viricidas autorizados y registrados en España que han demostrado eficacia frente a virus y que están recogidos en una lista oficial. [39]

Las manos son la principal vía de transmisión de gérmenes, por tanto, la higiene de las manos es la medida más importante para evitar la transmisión de gérmenes perjudiciales y evitar las infecciones asociadas a la atención sanitaria. Mantener las manos limpias es una de las medidas más importantes a adoptar para evitar contagiar y propagar la COVID-19. Si no se dispone inmediatamente de agua y jabón, se puede usar un desinfectante de manos que contenga al menos un 60 % de alcohol. El Centro de Control y Prevención de enfermedades [40] recomienda el lavado de manos con frecuencia con agua y jabón por al menos 20 segundos antes y después de:

- Tocarse los ojos, la nariz o la boca.
- Tocar su mascarilla.
- Entrar y salir de un lugar público.
- Tocar un artículo o una superficie que otras personas podrían tocar frecuentemente, como los pomos de las puertas, las mesas, los surtidores de gasolina, los carritos para la compra o las pantallas.

2.2.4 Diferencia entre cuarentena, aislamiento y confinamiento.

Respecto al concepto de cuarentena, hace referencia a la restricción, voluntaria u obligatoria, del desplazamiento de individuos que han estado expuestos a un potencial contagio y que posiblemente se encuentren infectados. Durante este tiempo, las personas deben permanecer en un lugar determinado hasta que pase el periodo de incubación de la enfermedad, para lo cual se debe garantizar asistencia médica, soporte psicológico, refugio y alimentación.

El aislamiento se refiere a la separación física de las personas contagiadas de aquellas que están sanas. Esta medida resulta efectiva cuando se ha hecho una detección temprana de la enfermedad y se aísla a la persona infectada en un espacio específico, evitando el contacto con los demás.

Por su parte, el confinamiento es una intervención que se aplica a nivel comunitario cuando las medidas mencionadas anteriormente han sido insuficientes para contener el contagio de una enfermedad. Consiste en un estado donde se combinan estrategias para reducir las interacciones sociales como el distanciamiento social, el uso obligatorio de mascarillas, restricción de horarios de circulación, suspensión del transporte, cierre de fronteras, etcétera.

En conclusión, todos estos conceptos denotan medidas de contención para evitar la propagación de una enfermedad contagiosa. Sin embargo, la cuarentena se aplica ante la sospecha de que una persona o un grupo de personas están infectadas, mientras que el aislamiento se da cuando se ha confirmado el contagio. Por otro lado, el distanciamiento social significa separarse y mantener un espacio físico determinado entre individuos, en cambio, el confinamiento es un plan de intervención comunitario que implica permanecer refugiado el mayor tiempo posible, bajo nuevas normas socialmente restrictivas.

2.2.4.1 Periodo de aislamiento

Siguiendo las recomendaciones del ECDC [41] y el CDC (Center for Disease Control and Prevention, 2020) en torno a la COVID-19, el aislamiento de una persona con síntomas se mantendrá hasta transcurridos tres días desde la resolución de la fiebre y del cuadro clínico con un mínimo de 10 días desde el inicio de los síntomas. No será necesario la realización de una prueba de diagnóstico para levantar el aislamiento ni para reincorporarse a la actividad laboral. En los casos asintomáticos, el aislamiento se mantendrá hasta transcurridos 10 días desde la fecha de toma de la muestra para el diagnóstico.

Los casos que han requerido ingreso hospitalario podrán recibir el alta hospitalaria si su situación clínica lo permite, aunque su prueba de diagnóstico siga siendo positiva, pero se deberá mantener aislamiento domiciliario con monitorización de su situación clínica al menos 14 días desde el inicio de síntomas. En caso de enfermedad grave o inmunodepresión, este periodo se alargará a 21 días. A partir de este periodo, siempre bajo criterio clínico, se podrá finalizar el aislamiento si han transcurrido tres días desde la resolución de la fiebre y el cuadro clínico.

2.2.4.2 *Periodo de cuarentena*

Se indicará cuarentena durante los 10 días posteriores al último contacto con un caso confirmado. Esta es una de las principales medidas de prevención para controlar la transmisión. Se indicará que durante los 4 días siguientes a la finalización de la cuarentena se siga vigilando la posible aparición de síntomas y si esto se diera, se deberá permanecer aislado en el domicilio y comunicarlo rápidamente de la forma establecida por el gobierno español. La cuarentena es de 10 días porque la mayoría de las personas desarrollan síntomas en los primeros 10 días tras la exposición a un caso de COVID-19 [43].

2.3 Síntomas

El empleo efectivo de todas estas medidas apela a una responsabilidad individual de la población mundial. Entre estas responsabilidades reside la del conocimiento de los síntomas que pueden provocar la COVID-19 a fin de acotar la propagación del virus a la mayor brevedad posible. La Organización Mundial de la Salud establece que los síntomas más habituales de la COVID-19 son la fiebre, la tos seca y el cansancio [44]. Otros síntomas menos frecuentes que afectan a algunos pacientes son los dolores y molestias, la congestión nasal, el dolor de cabeza, la conjuntivitis, el dolor de garganta, la diarrea, la pérdida del gusto o el olfato y las erupciones cutáneas o cambios de color en los dedos de las manos o los pies. Estos síntomas suelen ser leves y comienzan gradualmente. Algunas de las personas infectadas sólo presentan síntomas muy leves.

La mayoría de las personas (alrededor del 80%) se recuperan de la enfermedad sin necesidad de tratamiento hospitalario[45]. Alrededor de 1 de cada 5 personas que contraen la COVID-19 acaba presentando un cuadro grave y experimenta dificultades para respirar. Las personas mayores y las que padecen afecciones médicas previas como hipertensión arterial, problemas cardíacos o pulmonares, diabetes o cáncer tienen más probabilidades de presentar cuadros graves. Sin embargo, cualquier persona puede contraer la COVID-19 y caer gravemente enferma. Las personas de cualquier edad que tengan fiebre o tos y además respiren con dificultad, sientan dolor u opresión en el pecho o tengan dificultades para hablar o moverse deben solicitar atención médica inmediatamente [45].

Un estudio publicado en “Frontiers in Public Health” [46] ha esclarecido cuál es el orden aparente en el que estas manifestaciones surgen tras la infección con el SARS-CoV-2. Conforme a los resultados del estudio, el orden más probable de aparición de síntomas de COVID-19 sería:

1. Fiebre
2. Tos seca y persistente
3. Náuseas o vómitos
4. Diarrea

2.3.1 *Asintomático*

Se trata de uno de los mayores problemas en la lucha contra la propagación de este nuevo virus, puesto que las personas asintomáticas presentan una carga vírica similar a la de los pacientes con síntomas de acuerdo a un estudio realizado por investigadores de la Facultad de Medicina de la Universidad de Soonchunhyang, en Corea del Sur [47].

Un estudio reciente publicado en la revista PLOS Medicine [48] analizó casi un centenar de trabajos sobre este tema. Así estimaron que el número de pacientes que no desarrolla síntomas durante toda la infección ronda el 20%, con un amplio intervalo que iba desde el 3 al 67%. Además, matizan que estas diferencias son debidas a que la proporción de pacientes completamente asintomáticos depende de la población. Es por ello que los investigadores también analizaron siete estudios que tenían en cuenta este sesgo poblacional: en este caso, el porcentaje de asintomáticos subió hasta el 31%. Los autores concluyen que la mayoría de personas que se infecten con el SARS-CoV-2 no permanecerán como asintomáticos a lo largo de la enfermedad.

2.3.2 Diferencias con la gripe

El nuevo coronavirus y el virus de la gripe tienen presentaciones clínicas muy parecidas. Ambos comparten vías de transmisión y causan enfermedades respiratorias, con una gran variedad de síntomas, que pueden ir desde infecciones asintomáticas o con síntomas leves, hasta enfermedades graves y muertes.

Lo que varía es la proporción de pacientes con sintomatología grave, ya que en el caso del nuevo coronavirus el 80% de las infecciones causan enfermedad leve o asintomática, el 15% causan enfermedad grave, que requieren oxígeno y hospitalización, y el 5% causan síntomas críticos, que requieren ventilación e ingreso en una UCI. Estos porcentajes de enfermedad grave parecen más elevados que los observados en el caso de la infección por virus de la gripe [49].

La fiebre, la tos y la pérdida de olfato/gusto son síntomas comunes en la gripe y en la COVID-19, sin embargo, la fatiga, el dolor de garganta, dolor de cabeza y dolor muscular parecen producirse con menos frecuencia en la COVID-19 que en la gripe. La dificultad respiratoria también parece ser más frecuente en la COVID-19. No obstante, deberá ser siempre un profesional sanitario quien valore los síntomas y realice el diagnóstico diferencial.

A modo resumen y de acuerdo a los datos recogidos en el CDC se establece una tabla comparativa sobre las similitudes y diferencias entre la gripe y la COVID-19. (Ver Tabla 2-3)

	COVID-19	GRIPPE
Periodo de incubación	1 A 14 días	1 a 4 días
Inicio de los síntomas	Gradual o asintomático	Abrupto
Fiebre	Común	Común
Tos	Común	Común
Fatiga	Común	Común
Secreción nasal	Algunas veces	Algunas veces
Congestión nasal	Algunas veces	Algunas veces
Diarrea	Algunas veces	Algunas veces
Dolores en el cuerpo	Algunas veces	Común
Dolor de garganta	Algunas veces	Algunas veces
Dolor de cabeza	Algunas veces	Común
Pérdida de apetito	Algunas veces	Común
Dificultad para respirar	Común	Algunas veces
Problemas respiratorios	Común	Algunas veces

Tabla 2-3 Comparación de síntomas entre gripe y COVID-19 [50]

2.3.3 Reinfección

De acuerdo al informe sobre “Inmunidad protectora y reinfección en COVID-19” [51] que ha elaborado el GTM⁵, la respuesta inmunitaria frente a la COVID-19 tras infección oscilaría entre seis y nueve meses con una baja posibilidad de reinfección debido a la inmunidad celular.

A lo largo de la pandemia se han identificado algunos casos de reinfección por COVID-19 [52]. Este informe explica que en base a las decenas de millones de personas que se han contagiado y los pocos

⁵ El Grupo de Trabajo Multidisciplinar (GTM) asesora y apoya al Ministerio de Ciencia e Innovación en materias científicas relacionadas con el COVID-19 y sus consecuencias futuras.

casos de reinfección, la posibilidad de que esto ocurra puede considerarse muy escasa y de poca trascendencia clínica a nivel global. Aun así, los autores de este documento afirman que teniendo en cuenta el poco tiempo que ha pasado desde la irrupción del virus, es imposible determinar por el momento la protección que se genera tras una primera infección.

2.4 Test

La realización de pruebas diagnósticas es uno de los pilares fundamentales de la lucha contra la pandemia de COVID-19. La detección de asintomáticos resulta factor primordial para detener la propagación del virus. Dentro de estos test, se diferencian dos grupos: los que detectan la presencia del virus en fase activa; y los serológicos, basados en anticuerpos producidos por el organismo humano cuando se ha superado la enfermedad y el patógeno ya no se encuentra activo. Estas son las principales características de cada uno de ellos:

2.4.1 Test para presencia del virus en fase activa

➤ *Pruebas PCR*

La PCR (siglas en inglés de ‘Reacción en Cadena de la Polimerasa’) es el test diagnóstico estándar. Se trata de una prueba que permite detectar un fragmento del material genético de los patógenos, en el caso del SARS-CoV-2 su ácido nucleico (ARN), cuya presencia revela la enfermedad en fase activa.

Está considerado como el test más fiable y el prioritario para las autoridades sanitarias. La prueba detecta la presencia del virus a partir de muestras respiratorias tomadas en la zona posterior de la faringe. Si el resultado es positivo, se entiende que existe multiplicación viral, por lo que el enfermo es capaz de contagiar la enfermedad. Solo cuando el resultado de la PCR es negativo, se considera que la persona deja de ser potencialmente contagiosa.

El porcentaje de fallo de las pruebas PCR para detectar coronavirus ronda el 20% de los casos. Sin embargo, estos errores clasificados como falsos negativos, dependen de varios factores entre los que destacan cómo se toma la muestra y, sobre todo, cuánto tiempo ha pasado desde que se tuvo el primer contacto con el coronavirus hasta que se hizo la PCR.

Uno de los estudios más citados en este ámbito, el publicado por *Annals of Internal Medicine* [53] y en el que se analizan 7 estudios con más de 1.300 participantes, indica que en el primer día que se infecta una persona con SARS-CoV-2 las PCR fallan el 100% de las ocasiones. Ese porcentaje de fallo va bajando hasta el 67% el cuarto día tras la exposición al virus. El quinto día después de entrar en contacto con el coronavirus, el considerado de media, la posibilidad de un falso negativo es del 38%. El día con menor porcentaje de fallo es el octavo, donde la probabilidad cae hasta el 20%. A partir de ese octavo día, la probabilidad de fallo vuelve a subir progresivamente.

Al margen de los falsos negativos de coronavirus, el motivo por el que está especialmente valorada la prueba PCR para detectar casos de coronavirus es por su alta sensibilidad⁶, de media un 89%, aunque con diversas técnicas (como los cebadores⁷) puede rozar el 100% de sensibilidad y no equivocarse a la hora de identificar el SARS-CoV-2 y no otro virus que esté presente en el organismo.

➤ *Test TMA*

Dentro de las pruebas que detectan la presencia activa del virus, también se encuentran las TMA (siglas en inglés de ‘Amplificación Mediada por Transcripción’). Al igual que los test PCR, hay que

⁶ La sensibilidad es la probabilidad de infectar; cuanto mayor es esta sensibilidad, más enfermos serán diagnosticados adecuadamente.

⁷ Un iniciador o cebador es una secuencia corta de ADN de cadena simple que se utiliza en una reacción en cadena de la polimerasa (PCR). En el método PCR se emplea un par de cebadores para hibridar con el ADN de la muestra y definir la región del ADN que será amplificada.

extraer una muestra del tracto respiratorio superior mediante un hisopo⁸. La diferencia metodológica es que el test TMA detecta directamente el ARN sin procedimiento previo. Es, por tanto, una simplificación en los procedimientos analíticos a la hora de identificar el coronavirus.

➤ **Test rápido de antígenos**

Las pruebas de diagnóstico rápido de antígenos (PDR-Ag) del SARS-Cov-2 actuales cumplen unos requisitos mínimos de rendimiento de una sensibilidad igual o superior al 80% y una especificidad⁹ del 97%, según indica la Organización Mundial de la Salud [54]. De acuerdo con las autoridades internacionales, los test rápidos pueden utilizarse para diagnosticar la infección por el SARS-CoV-2 en una serie de entornos en los que no se disponga de otras pruebas o estas carezcan de utilidad clínica debido a la tardanza de los resultados, como es el caso de la PCR, que suele tardar entre 24-48 horas en ofrecer resultados. Para optimizar el rendimiento de las PDR-Ag, deben realizarlas operadores capacitados ateniéndose estrictamente a las instrucciones del fabricante y en el plazo máximo de 5 a 7 días desde el comienzo de los síntomas del coronavirus, tal y como especifica la OMS.

2.4.2 Test serológicos

➤ **Test rápido de anticuerpos**

El test rápido de anticuerpos contra el SARS-CoV-2 es una prueba inmunológica cromatográfica destinada a la detección cualitativa de anticuerpos (IgM e IgG) en suero humano, plasma o sangre total. IgM proporciona la primera línea de defensa durante las infecciones virales, seguida de la generación de respuestas adaptativas de IgG para la inmunidad a largo plazo y la memoria inmunológica. Para localizar a estos anticuerpos, se añade una enzima capaz de provocar una reacción química que muestra un cambio de color característico si estos están presentes, lo que delata su presencia.

De acuerdo a un estudio elaborado por la Sociedad Española de Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica (SEIMC) [55], estos test tienen una sensibilidad inferior al 30% y una especificidad próxima al 100%. SEIMC destaca que este tipo de pruebas presenta una gran desventaja y es que tienen una gran variabilidad en función del curso de la enfermedad, destacando entonces que las pruebas de detección de anticuerpos no sirven y, por tanto, no deben ser utilizadas para diagnosticar infección activa por SARS-CoV-2. Esto se explica porque en las primeras fases de la infección, el cuerpo no ha generado anticuerpos frente a la enfermedad, por lo que no son detectables.

➤ **Test ELISA**

Los test ELISA (del inglés 'Ensayo de Inmunoabsorción Ligado a Enzima') requieren de laboratorio, por lo que no se trata de una prueba rápida, sino que conlleva un proceso de unas 24 horas. La muestra se toma extrayendo sangre mediante un pinchazo en vena y, a partir de ella, se detectan los anticuerpos de tipo IgG e IgM que produce el organismo frente a la COVID-19.

De acuerdo al estudio de Seimc anteriormente mencionado, su sensibilidad y especificidad son mayores al 95%, lo que indica que el número de falsos positivos o falsos negativos es bajo, siempre que se tenga en cuenta su realización tras al menos 1-2 semanas del inicio de los síntomas. En el informe señalan que las pruebas ELISA o CLIA (Quimio-luminiscencia) son las de referencia en la actualidad para la detección de anticuerpos de tipo IgG.

➤ **Test CLIA**

Los test CLIA (del inglés 'Enmiendas para la Mejora del Laboratorio Clínico') son una variante de los test ELISA, con una sensibilidad y especificidad aún mayor. Parten del mismo concepto que los

⁸ Instrumento utilizado para recoger muestras, para su posterior estudio.

⁹ La especificidad es la probabilidad de identificar como negativos a los no enfermos; cuanto mayor es la especificidad del test, más personas sanas serán diagnosticadas correctamente.

ELISA, con la diferencia de que en este caso la enzima acoplada al anticuerpo produce una reacción quimioluminiscente que emite una luz característica, en vez de un cambio de color.

Los investigadores del estudio realizado por Seimc concluyen: “Lo serio es hacer lo que pedimos (pruebas PCR y ELISA o CLIA), y si no hay capacidad para ello, es preferible no hacer ninguna prueba. Es mejor no hacerlo que hacerlo mal.” [55] (Ver Tabla 2-4)

PCR	IgM	IgG	Interpretación
-	-	-	Descarta infección. Si alta sospecha: repetir PCR.
+	+/-	-	Asintomático o infección inicial o temprana (1-7 días)
+/-	+	-	Infección. (8-14 días)
+/-	-	+	Infección. (> 15 días)
-	-	+	Infección pasada.

Tabla 2-4 Interpretación de las pruebas diagnósticas COVID-19 [56]

2.5 Vacunas

Las vacunas contra la COVID-19 son objeto de estudio constante puesto que suponen la principal medida para detener la propagación del virus. Dichas vacunas ayudan a nuestro organismo a desarrollar inmunidad contra el virus SARS-CoV-2 sin que para ello tengamos que contraer la enfermedad. Los diferentes tipos de vacunas actúan de diferentes formas para aportar protección, pero con todos los tipos de vacunas el organismo se queda con un suministro de linfocitos T de "memoria", además de linfocitos B que recordarán cómo combatir ese virus en el futuro. Por lo general, después de la vacunación el organismo demora algunas semanas en producir linfocitos T y linfocitos B. Por consiguiente, es posible que una persona se infecte con el virus que causa la COVID-19 justo antes o justo después de vacunarse, y que enferme porque la vacuna no tuvo suficiente tiempo para generar protección.

Por el momento, hay dos vacunas autorizadas y recomendadas para la prevención del COVID-19. Ambas son vacunas ARNm, las cuales contienen material del virus que causa la COVID-19, el cual instruye a nuestras células a crear una proteína inocua que es exclusiva del virus. Una vez que nuestras células copian la proteína, destruyen el material genético de la vacuna. Nuestro organismo reconoce que esa proteína no debería estar presente y crea linfocitos T y linfocitos B que recordarán cómo combatir el virus que causa la COVID-19 si nos infectamos en el futuro.

La Agencia Europea del Medicamento (EMA) ha aprobado ambas vacunas contra el coronavirus. [57] [58]

2.5.1 Pfizer-BioNTech

Con base en la evidencia de los ensayos clínicos [59], la vacuna de Pfizer-BioNTech registró una efectividad del 95% siete días después de la segunda dosis en la prevención de casos de COVID-19 confirmados en laboratorio en personas sin evidencia de infecciones previas. Esta vacuna es para personas de 16 años y mayores. Requiere dos inyecciones que se dan con un intervalo de 21 días.

2.5.2 Moderna

Con base en la evidencia de los ensayos clínicos [60], la vacuna de Moderna demostró tener una efectividad del 94,1% en la prevención de casos de COVID-19 confirmados en laboratorio, en personas

que recibieron dos dosis y que no registraban evidencia de infecciones previas. Esta vacuna es para las personas de 18 años y mayores. Requiere dos inyecciones que se dan con un intervalo de 28 días.

2.5.3 Efectos secundarios

A veces, después de la vacunación, el proceso de generar inmunidad puede causar síntomas, por ejemplo, fiebre. Estos síntomas son normales y son una señal de que el organismo está desarrollando inmunidad. Los dos ensayos clínicos mencionados anteriormente fueron elaborados en Canadá y Estados Unidos respectivamente, y ambos han publicado los resultados de los efectos adversos que han experimentado las personas que ya han recibido estas vacunas contra el SARS-CoV-2.

Según publica la Administración de medicamentos y alimentos de los EE.UU. [4], los efectos secundarios que se han reportado son los siguientes:

- Dolor en el lugar de la inyección.
- Cansancio.
- Dolor de cabeza.
- Dolor muscular.
- Escalofríos.
- Dolor en las articulaciones.
- Fiebre.
- Hinchazón del lugar de la inyección.
- Enrojecimiento del lugar de la inyección.
- Náuseas.
- Ganglios linfáticos inflamados (linfadenopatía).

También hay posibilidad de que puedan causar una reacción alérgica grave. Esta suele ocurrir entre unos minutos y una hora después de recibir una dosis y sus síntomas pueden incluir dificultad para respirar, hinchazón de la cara y la garganta, latido cardíaco rápido, sarpullido severo en todo el cuerpo, mareos y debilidad.

2.6 COVID-19 y la ENM

La Escuela Naval Militar ha estado publicando instrucciones desde la reincorporación del batallón de alumnos tras el periodo de cuarentena establecido por el gobierno de España. Tienen por objeto establecer las directrices de actuación de todo el personal de la ENM, protocolo que atañe directamente a los alumnos del CUD-ENM, tanto en sus actividades docentes como en el resto de tareas que desarrollan en dicho entorno, y al personal del CUD-ENM en todo lo relacionado con el acceso a la ENM, donde se ubican las instalaciones del centro, y el empleo de servicios de la ENM (comedores, cafeterías, espacios deportivos, etc.).

El regreso a la nueva normalidad implica la reincorporación de los alumnos de forma presencial a la ENM. Esto ha hecho necesaria la implantación de medidas de prevención individual, colectivas y organizativas, con el objeto de controlar la transmisión del COVID-19 en caso de que ocurriese la infección de algún alumno. Estas medidas para personal de dotación y damas y caballeros alumnos vienen recogidas en el Anexo IV de la ID 07/2020, de 1 de septiembre, para la Organización del curso Escolar 2020-2021. Asimismo, se añadieron modificaciones a las Normas Generales de Régimen de Francos para alumnos de las Escuelas de Formación de la Armada en el comienzo de curso 2020-2021 ordenada por el Almirante Director de Enseñanza Naval [61] y posteriores normas ampliatorias para el batallón de alumnos de la ENM (C.C. Martínez Mata 2020b) y para alumnos asilados y confinados (C.C. Martínez Mata 2020a).

2.6.1 Medidas ENM

Ante la posibilidad de casos positivos de SARS-CoV-2 en la ENM, el Comandante Director de la ENM, elaboró una instrucción para el aislamiento/confinamiento de los alumnos por situación COVID-

19 [64] en el que, además, vienen incluidos anexos que explican las definiciones de caso sospechoso, caso confirmado, convivientes, otros contactos y contactos estrechos y las medidas de actuación ante alumnos clasificados como casos sospechosos y casos con infección activa y contactos estrechos COVID-19.

No obstante, un incremento significativo de la entidad de una incidencia COVID-19 que genere múltiples casos positivos y contactos estrechos requiere medidas adicionales de limitación de la actividad para reducir en todo lo posible la propagación del virus entre las brigadas del batallón de alumnos y, para ello, el C.N. Cuartero Lorenzo elaboró una instrucción sobre el régimen de vida de los alumnos para reforzar la prevención y el control ante la COVID-19 [65] en el que se destaca:

2.6.1.1 Modificación del régimen de vida y académico

La modificación de actividades docentes para aquellos alumnos no sujetos a incidencia COVID-19 estará sujeta al impacto de la incidencia COVID-19 en los diferentes cursos y la situación asignada a cada Brigada deberá ser autorizada por el Sr Comandante-Director:

- Situación ALFA: Brigada confinada en sus respectivos camarotes del Cuartel asignado. Solo pueden acceder a sus camaretas, estudio del cuartel y aseos asignados. No podrán salir del ala y no asistirán a clases presenciales ni desarrollarán actividad I+A (Instrucción y Adiestramiento) ni ningún tipo de acto horario. Las comidas serán mediante rancho normal en sus camarotes. Dependiendo de la disponibilidad, se podrá repartir rancho en frío, nunca más de un día consecutivo. No montarán ningún tipo de guardia.

- Situación BRAVO: La brigada se mantiene en su camarote y solo pueden acceder al comedor y los estudios-camaretas asignados del cuartel. Se valorará la posibilidad de acceder a clases presenciales, ciertas actividades I+A o deporte en las condiciones pertinentes. No podrán acceder a locales de servicio. Se valorará que se incluyan en la guardia de alumnos.

- Situación CHARLIE. La brigada desarrolla el régimen de vida en las condiciones indicada en dicha instrucción, asistiendo a clases presenciales y las actividades I+A que se determinen.

2.6.1.2 Criterios de aislamiento/confinamiento

Al objeto de aumentar la capacidad de aislamiento de casos confirmados o el confinamiento de contactos estrechos, se modifica la instrucción para el aislamiento/confinamiento de los alumnos mencionada en el apartado 2.6 de la siguiente manera:

- Los casos confirmados se alojarán en régimen de aislamiento en habitaciones de la Residencia de Suboficiales.

- En caso necesario el confinamiento de los contactos estrechos, se efectuará en grupo siempre dentro de las camaretas de los cuarteles Marqués de la Victoria (MDV) o Almirante Francisco Moreno (AFM).

El criterio de asignación de Residencia a contactos estrechos será por el siguiente orden:

- 1º Contactos estrechos asintomáticos/sintomáticos convivientes de camaretas con más de un caso confirmado.

- 2º Contactos estrechos asintomáticos/sintomáticos convivientes.

- 3º Contactos estrechos sintomáticos no convivientes.

- 4º Contactos estrechos asintomáticos no convivientes.

En cualquier caso, se podrán recolocar contactos estrechos de la Residencia a confinamiento en grupo del MDV/AFM con objeto de mantener aquellos casos confirmados y contactos estrechos de 1º prioridad en aislamiento individual. El movimiento de la Residencia a MDV/AFM deberá conllevar un Test de antígenos cuando haya transcurrido más de 24 horas desde el último test.

2.6.2 Medidas CUD

De forma paralela a las instrucciones para alumnos en la ENM, la empresa de prevención contratada por el CUD-ENM (Quirón Prevención) ha elaborado el documento “Evaluación del riesgo, escenarios posibles según lo establecido en el “Procedimiento de actuación para los SPRL frente a la exposición al nuevo coronavirus (SARS-COV-2)” del Ministerio de Sanidad” [66]. Se trata de una evaluación adaptada al sector de la educación y conforme a las normativas vigentes en materia de prevención del citado agente biológico, provenientes tanto del Ministerio de Sanidad como de los organismos competentes de la Xunta de Galicia en la materia.

El CUD elaboró el documento “Protocolo de actuación durante la nueva normalidad laboral del CUD-ENM” [67] que tiene como objeto establecer las directrices particulares para el personal y las instalaciones propias del CUD-ENM, no recogidas en los documentos anteriormente citados. Como medida general, en todas las aulas, laboratorios, biblioteca, edificio administrativo, etc. hay dispensadores de gel hidroalcohólico para la desinfección de manos, que es obligatorio emplear cada vez que se accede a uno de estos espacios. Además, se garantizará la ventilación natural o forzada de forma continua, el Jefe de cada grupo de alumnos es el responsable de esta tarea en los descansos de cada clase en las aulas, al igual que en los laboratorios docentes (informáticos o experimentales). Entre las diferentes medidas adoptadas de manera específica para las diferentes estancias, destacan:

2.6.2.1 Aulas y laboratorios.

El uso de mascarilla higiénica/quirúrgica será obligatorio en el interior de las aulas. En el aula, los puestos entre los alumnos deben guardar la distancia interpersonal de seguridad (2 metros). Se establecen por parte de la Jefatura de Estudios de la ENM, en coordinación con el CUD, las aulas asignadas de manera permanente a cada uno de los grupos de alumnos. En el interior del aula, los alumnos se sentarán por orden alfabético, manteniendo la distancia determinada y ocupando siempre la misma silla y pupitre, dejando libre en la distribución una mesa de separación en la misma fila y adoptando disposición en diagonal entre las filas. Al finalizar cada periodo de clases, o cuando el grupo asignado abandone el aula, cada alumno deberá limpiar el puesto que haya ocupado. Cuando un aula se utilice por dos grupos de alumnos, cada grupo debe utilizar una mitad determinada de los puestos y el segundo grupo los puestos alternos.

Para las prácticas a realizar en los laboratorios de informática, cada alumno debe acudir con el teclado y ratón de uso personal e intransferible que le han sido asignados. Además, cada alumno que se incorpora a una actividad debe desinfectar previamente el lugar de trabajo que vaya a utilizar.

Los alumnos que acudan a laboratorios experimentales deben asistir con sus propias batas que serán de uso individual e intransferible. Además, cada alumno que se incorpora a una actividad debe desinfectar previamente el lugar de trabajo y/o equipos y materiales vaya a utilizar.

2.6.2.2 Biblioteca Académica

Se organiza la circulación de personas mediante la señalización con flechas en el suelo. Se reduce el aforo de 188 a 94 puestos de lectura, estando señalizados aquellos puestos que no pueden usarse. Los seminarios de la Biblioteca permanecerán cerrados y sólo se permite su uso en el caso de las tutorías académicas o reuniones enmarcadas dentro del Plan de Acción Tutorial (PAT) entre profesores y alumnos.

2.6.2.3 Edificio administrativo del CUD-ENM

Con el objeto de evitar la presencia masiva de alumnos y personal en la Secretaría del Centro, se debe solicitar cita previa en el teléfono 986804900 o bien a través del correo electrónico (secretaria@ cud.uvigo.es) para la realización de cualquier gestión. Asimismo, para evitar la presencia de los alumnos en los despachos de los profesores, las tutorías académicas al igual que las reuniones

enmarcadas dentro del Plan de Acción Tutorial (PAT) deben tener lugar en los distintos espacios habilitados para ello.

Este documento también incluye diversas medidas destinadas solo al personal del CUD que hacen referencia a las salas de reuniones, laboratorios de investigación, office, pasillos, escaleras, ascensores, puertas y aseos.

2.7 Simulaciones y modelados de la propagación del virus

El presente apartado trata de introducir al lector en el mundo de la simulación de procesos, un mundo que se encuentra íntimamente relacionado con la propagación de los virus. Desde el inicio de la pandemia de COVID-19, se han elaborado modelos matemáticos y simulaciones por ordenador con vistas a decidir las mejores estrategias para mitigar sus efectos. Los esfuerzos se han centrado en comprender la propagación del coronavirus y los efectos de las distintas medidas para prevenir el contagio.

2.7.1 Simulación de procesos

La simulación se define como un medio que experimenta con un modelo detallado de un sistema real para determinar cómo responderá el sistema a los cambios en su estructura o entorno, pretendiendo imitar el comportamiento del sistema real. [68]

Las autoridades sanitarias perfilan constantemente restricciones ante los riesgos que pueden conllevar las reuniones debido a las fiestas señaladas en el calendario anual. A pesar de que es imposible predecir si una persona asintomática infectada con la COVID-19 transmitirá o no el virus a otras, sí se puede calcular el riesgo para tratar de evitar que el contagio se produzca. Distintas empresas han creado simuladores con los que cualquiera puede comprobar las probabilidades de contraer o no la enfermedad en diferentes ámbitos sociales: una reunión familiar, un aula, un coro, un restaurante o una oficina.

Es el caso de la edición digital del semanario alemán “Die Zeit” [69], que han puesto en práctica una herramienta desarrollada por un grupo de investigación del Instituto Max Planck de Química, en la que se puede regular el número de personas que habrá en esa habitación, cuánto tiempo permanecerán allí y las condiciones en las que estarán: el tamaño de la sala, la altura del techo o los sistemas de ventilación. Tal y como explican, hay dos constantes en cada escenario planteado: una de las personas de la sala es contagiosa y todas cumplen las reglas de distanciamiento social.

Otro ejemplo de simulador es el desarrollado por un grupo de científicos de la Universidad de Colorado [70] y creado con la intención de mostrar la importancia de los factores que obstaculizan el contagio por aerosoles, en el que muestran las probabilidades de infección en tres escenarios cotidianos (salón, bar y clase) dependiendo de la ventilación, las mascarillas y la duración del encuentro.

2.7.2 Modelado matemático

Un modelo matemático, como el modelo SIR¹⁰ utilizado en el desarrollo del presente trabajo, es una expresión matemática de las relaciones entre los componentes de un modelo. Los modelos matemáticos pueden variar en cuanto a su complejidad, pero todos ellos tienen un conjunto de características básicas:

- Variables: son los conceptos u objetos que se busca entender o analizar.
- Parámetros: se trata de valores conocidos o controlables del modelo.
- Restricciones: son determinados límites que nos indican que los resultados del análisis son razonables.
- Relaciones entre las variables: el modelo establece una determinada relación entre las variables apoyándose en teorías económicas, físicas, químicas, etc.

¹⁰ Su nombre proviene de las 3 poblaciones que tiene en cuenta. S (población susceptible) I (población infectada y R (población recuperada).

- Representaciones simplificadas: una de las características esenciales de un modelo matemático es la representación de las relaciones entre las variables estudiadas a través de elementos de las matemáticas tales como: funciones, ecuaciones, fórmulas, etc.

En matemáticas, modelizar es intentar extraer los aspectos significativamente importantes de una situación real y plasmarlos en forma de expresiones y ecuaciones matemáticas. Salvo en procesos muy sencillos, lo que se obtenga nunca va a ser exacto, porque el modelo no puede captar toda la realidad ni todas las variables involucradas, ni incorporar todos los datos iniciales de los que se parte. Pero sí sirve para estudiar el proceso y prever cómo la introducción de medidas concretas puede hacer que su evolución futura varíe. [71]

Uno de los modelos epidemiológicos más usados es el denominado modelo SIR, que fue propuesto por W. O. Kermack y A. G. McKendrick en 1927 [72]. En una población de tamaño fijo N en la que se ha desatado una epidemia que se propaga mediante contagio, en un tiempo t los individuos pueden estar en tres estados distintos:

- Susceptibles $S(t)$, parte de la población que podría estar potencialmente sujeta a la infección. En el momento inicial, sin más información, está representado por toda la población.
- Infectados $I(t)$, representa la población que puede contagiar a otras personas, presentando síntomas o siendo asintomático.
- Recuperados $R(t)$, son las personas que se han recuperado de la enfermedad y ya no contagian

Todos estos modelos requieren el estudio de sistemas de ecuaciones diferenciales, ya que, estos estados varían a lo largo del tiempo en función de una determinada tasa.

$$\frac{dS}{dt} = -\beta SI \quad (1)$$

$$\frac{dI}{dt} = -\beta SI - \gamma I \quad (2)$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma I \quad (3)$$

donde β es la tasa de transmisión y γ es la tasa de recuperación (de tal manera que el periodo medio de recuperación es $1/\gamma$).

2.7.3 AnyLogic

Se trata del programa que nos facilita el modelo epidemiológico mencionado anteriormente (SIR). Es una herramienta desarrollada en el año 2000 por The AnyLogic Company. El programa incluye un lenguaje de modelado gráfico y también, permite que los usuarios puedan ampliar los modelos de simulación con código de Java. Usando Java, modelos en AnyLogic se prestan a ser modificados para requisitos particulares y, además, se pueden crear applets¹¹ de Java que puede ser utilizados en cualquier navegador estándar. Estos applets permiten fácilmente compartir los modelos AnyLogic.

Los modelos en AnyLogic pueden basarse en cualquiera de los principales paradigmas de simulación de modelado: sistemas de sucesos discretos¹², dinámica de sistemas¹³, y la simulación basada

¹¹ Es un componente de una aplicación que se ejecuta en el contexto de otro programa, por ejemplo, en un navegador web.

¹² Herramienta empleada para identificar a sistemas en los que los eventos que cambian el estado del mismo ocurren en instantes espaciados en el tiempo.

¹³ Metodología para analizar y modelar el comportamiento temporal en entornos complejos. Se basa en la identificación de los bucles de realimentación entre los elementos, y también en las demoras en la información y materiales dentro del sistema.

en agentes¹⁴, pudiendo utilizar cualquier combinación de estos enfoques en un único modelo. La dinámica de sistemas y eventos discretos son enfoques tradicionales de simulación, pero el método basado en el agente es nuevo. Técnicamente, la dinámica de sistemas y enfoques discretos tratan con procesos continuos, pero los modelos basados en agentes trabajan sobre tiempo discreto, es decir, saltan de un acontecimiento a otro.

La terminología de simulación usado por AnyLogic consta de los siguientes elementos:

- Diagramas de depósitos y flujo utilizados para el modelado de dinámica de sistemas.
- Diagramas de estado utilizados principalmente modelando agentes para definir su comportamiento. También utilizados a menudo en modelos de evento discreto, por ejemplo, para simular el fallo de una máquina.
- Diagramas de acción utilizados para definir los algoritmos. Pueden aparecer en el modelado de eventos discretos, por ejemplo, para el enrutamiento de llamadas, o el modelado basado en el agente, por ejemplo, para formular la lógica de decisiones usadas por el agente.
- Organigramas (diagramas del flujo de proceso) son las construcciones básicas, utilizados para definir el proceso de modelado de eventos discretos.

2.8 Diseño Estadístico de Experimentos

Por último, para realizar el análisis de los datos obtenidos en las diferentes simulaciones del modelo SIR adaptado a la ENM a través de AnyLogic, se pretende utilizar el diseño estadístico de experimentos. Este método matemático incluye un conjunto de técnicas de análisis y un método de construcción de modelos estadísticos que, conjuntamente, permiten llevar a cabo el proceso completo de planificar un experimento para obtener datos apropiados y que puedan ser analizados con métodos estadísticos, con objeto de obtener conclusiones válidas y objetivas. El análisis de la varianza es un procedimiento estadístico que permite dividir la variabilidad observada en componentes independientes que pueden atribuirse a diferentes causas de interés. Este análisis permitiría inferir en la idea de si el modelo es significativo o no, es decir, si el modelo construido con los elementos considerados podría explicar el comportamiento de una variable respuesta.

Se podría definir el Diseño Estadístico de Experimentos (DEE), también denominado diseño experimental, como una metodología basada en útiles matemáticos y estadísticos cuyo objetivo es ayudar al experimentador a: (Ver Figura 2-3)

1. Seleccionar la estrategia experimental óptima que permita obtener la información buscada con el mínimo coste.
2. Evaluar los resultados experimentales obtenidos, garantizando la máxima fiabilidad en las conclusiones que se obtengan.

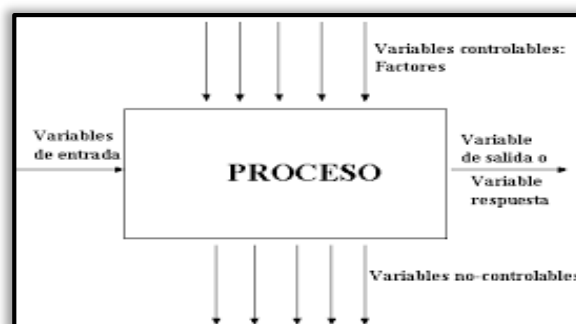


Figura 2-3 DEE [73]

¹⁴ Tipo de modelo computacional que permite la simulación de acciones e interacciones de individuos autónomos dentro de un entorno, y permite determinar qué efectos producen en el conjunto del sistema.

Al tratar de analizar diferentes medidas anti-COVID-19 con distintos valores, se realizará un experimento factorial completo, ya que, un diseño factorial toma una muestra por cada combinación de los niveles de los factores en cada replicación del experimento. El efecto de un factor es el cambio en la respuesta debido al cambio en el nivel del factor (efecto principal). El diseño factorial más simple es de tipo 2×2 . A mayor número de factores y de niveles por factor, mayor complicación del diseño factorial. A continuación, se presenta un ejemplo sencillo para facilitar su comprensión.

Ejemplo: Se desea probar la reacción de los sujetos en términos del nivel de nerviosismo en una entrevista según el tipo de preguntas (agresivas o suaves) y según el tipo de entrevista (individual o en grupo). [74] (Ver Tabla 2-5)

		Tipo de pregunta (factor A)	
		Agresivas (A1)	Suaves (A2)
Tipo de entrevista (factor B)	Individual (B1)	A1 B1	A2 B1
	Colectiva (B2)	A1 B2	A2 B2

Tabla 2-5 Ejemplo diseño estadístico 2x2 [74]

Al finalizar el experimento calculamos la media del nivel de nerviosismo de las personas que están en cada grupo/situación (unidad experimental). (Ver Tabla 2-6)

		Tipo de pregunta (factor A)		
		Agresivas (A1)	Suaves (A2)	
Tipo de entrevista (factor B)	Individual (B1)	$\bar{x}_{A1B1} = 40$	$\bar{x}_{A2B1} = 20$	$\bar{x}_{B1} = 30$
	Colectiva (B2)	$\bar{x}_{A1B2} = 60$	$\bar{x}_{A2B2} = 30$	$\bar{x}_{B2} = 45$
		$\bar{x}_{A1} = 50$	$\bar{x}_{A2} = 25$	$\bar{x} = 75$

Tabla 2-6 Ejemplo diseño estadístico 2x2 [74]

Una vez agrupados los datos en clases, es posible analizarlos y determinar las características de la muestra y, por consiguiente, las de la población de donde fueron tomados.

3 DESARROLLO DEL TFG

Se pretende mostrar la importancia de las medidas anti-COVID-19 entre los alumnos de la ENM con el fin de evitar la propagación de la enfermedad y, en caso de que esto sucediera, evitar un rápido contagio entre los alumnos, produciendo un colapso de los lugares de residencia para infectados y evitando, por tanto, la correcta formación de los futuros oficiales de la Armada. El análisis de los resultados experimentales permitirá obtener conclusiones sobre el sistema de estudio y decidir actuaciones futuras en lo que al uso de las medidas protectoras se refiere. Al tratarse de un virus que afecta a seres humanos y que en algunos casos de mayor gravedad puede incluso provocar la muerte, resulta más razonable utilizar una metodología matemática y estadística que permita planificar (diseñar, organizar) la secuencia de experimentos de una forma óptima, de modo que se minimice tanto el coste de la experimentación como la influencia del error experimental sobre la información buscada.

3.1 Comprender el problema y definir claramente el objetivo

Como hemos visto a lo largo del Estado del Arte, las formas de propagación del virus son casi tan numerosas como las formas de protección que tenemos que adoptar para evitar el contagio. Podemos considerar que todos estos estudios e investigaciones realizadas han permitido adquirir información veraz a cerca de este virus. Pese a ser un virus nuevo cuya virulencia solo puede ser comparable con otras pandemias a lo largo de la historia, sigue habiendo escépticos que rehúsan el empleo de medidas por considerarlas innecesarias o inservibles. A continuación, se muestra cómo las medidas son necesarias mediante una simulación en una población de 500 personas, donde un 5% de la población está infectada de manera inicial y todos ellos continúan con su vida diaria y establecen sus contactos habituales (10 contactos al día) durante un mes. (Ver Figura 3-1)

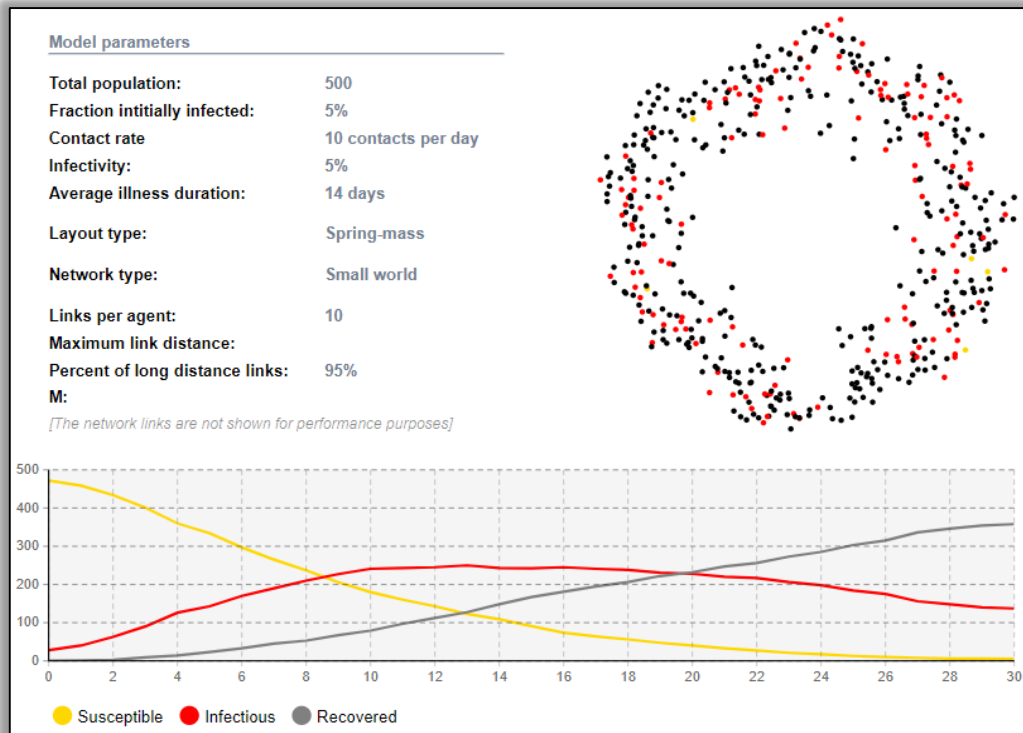


Figura 3-1 Simulación de propagación de un virus sin medidas. Fuente: AnyLogic

Como se puede observar en la ilustración, la infección se propaga a gran velocidad llegando a infectar a 200 personas en tan solo 15 días, lo que podría suponer un colapso de hospitales y centros sanitarios para personal infectado. Sin embargo, al establecer una limitación en el contacto de la población (simulando una restricción similar al contacto único con convivientes), se observa una clara disminución de la propagación del virus y, por tanto, el número de infectados se reduce con el tiempo. (Ver Figura 3-2)

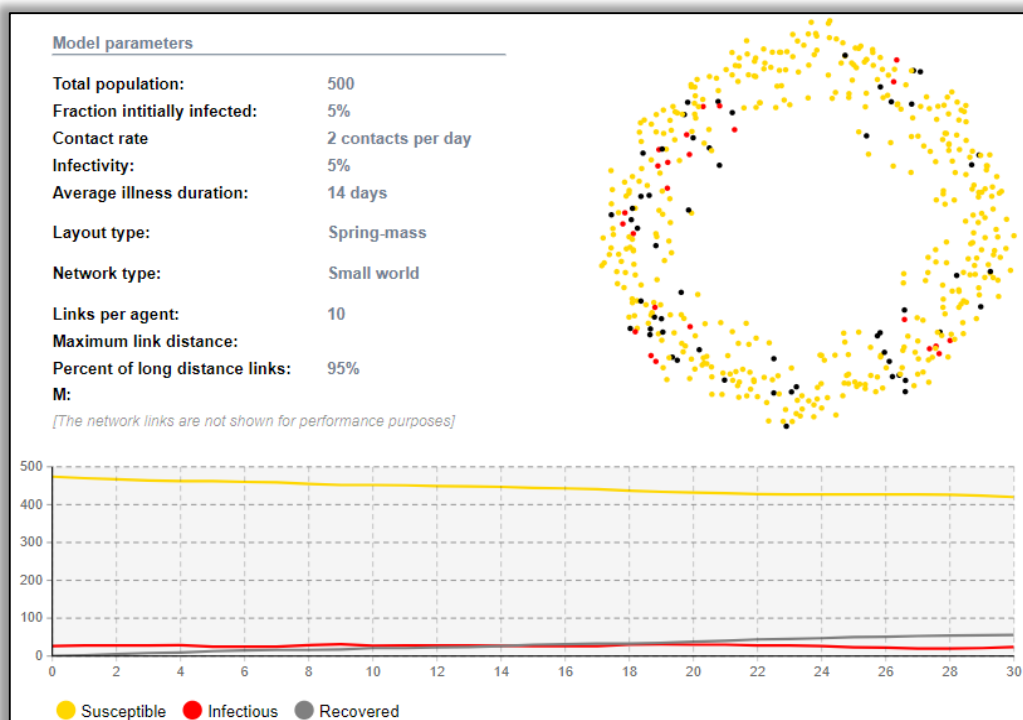


Figura 3-2 Simulación de propagación de un virus con medidas. Fuente: AnyLogic

Podemos considerar entonces que tenemos los medios para frenar la propagación del virus. La ENM toma medidas para poder seguir prosperando en el ámbito académico de los alumnos y poder seguir formando a oficiales de la Armada. Por ello, se pretende mostrar la interacción de estos factores entre sí en el ámbito de vida de los alumnos dentro de la ENM mediante la experimentación. Se espera obtener un resultado que facilite la mejor comprensión de las medidas tomadas.

3.2 Identificar los factores y el dominio experimental de interés

Pese a haber sido mencionados con anterioridad, a continuación, se lista e identifican todos los factores (variables independientes) que se cree que pueden tener influencia en el proceso de propagación del virus. (Ver Tabla 3-1)

Medidas de protección individual	Distanciamiento social (> 2 metros)
	Uso de mascarilla
	Desinfección de manos y superficies
Dependientes del emisor (persona infectada)	Carga viral de la persona infectada
	Concentración y tamaño de los aerosoles emitidos
	Tiempo de emisión
	Comportamiento aerodinámico de las partículas
Dependientes del receptor (persona susceptible)	Volumen de aire inhalado
	Tiempo de exposición
	Concentración viral en los aerosoles inhalados
	Posición y distancia del emisor
	Vulnerabilidad personal
Dependientes del escenario	Nivel de transmisión comunitaria
	Porcentaje de susceptibles
	Tiempo, espacio
	Exteriores e interiores
	Ventilación adecuada

Tabla 3-1 Factores COVID-19. Fuente: elaboración propia de acuerdo con toda la información recopilada en este informe.

3.3 Planificar la experimentación

Partimos de una larga lista de factores potencialmente influyentes. Puesto que el número de experimentos que suele requerir un estudio detallado u optimización de un sistema aumenta exponencialmente con el número de factores estudiados, resulta necesario reducir la lista a un número manejable. La criba se realiza en función de la influencia en la respuesta considerando si cada factor especificado se mantendrá constante, si variará controladamente, si es incontrolable pero se pueden conocer sus valores o si es incontrolable e imposible de medir.

- Distancia social: se trata de un **factor clave** en nuestro estudio puesto que el lugar dentro de la ENM varía en función de la actividad a desarrollar, esto es, las clases se realizan en las aulas, las formaciones militares al aire libre, estudios en zonas especialmente designado a ello etc. Se trata de una variable controlable y medible.

- Uso de mascarilla: el ministerio de sanidad anunció en el BOE de 20 de mayo de 2020 [33] la obligatoriedad del uso de la mascarilla en la vía pública y en cualquier espacio cerrado abierto al público. A esto se suma la obligatoriedad por parte de la escuela del uso de mascarillas de forma permanente a

excepción de la ducha y a la hora de dormir. No obstante, a la hora de comer resulta evidente que ningún alumno lleva mascarilla y que la concentración de alumnos en el comedor hace que el uso de la mascarilla sea un **factor clave**. Se trata de una variable controlable y medible.

- Desinfección de manos y superficies: la ENM y el CUD proporcionaron un dispensador para rellenar con líquido desinfectante a todos los alumnos para desinfectar las superficies que regentan en el día a día, incluyendo estaciones de relleno en los cuarteles de alumnos. Además, han instalado dispensadores de líquido desinfectante de manos a la entrada de cada clase, por tanto, no resulta un factor influyente en nuestro estudio al tratarse de un factor constante.

- Dependientes del emisor: todos los factores que en esta categoría se engloban son difícilmente calibrables, puesto que dependen de multitud de situaciones, la persona, la actividad a desarrollar, el estado anímico etc.

- Dependientes del receptor: de la misma manera que los factores dependientes del emisor, la calibración de los factores es diferente en función de múltiples situaciones.

- Dependientes del escenario: una vez más, los escenarios varían y, por tanto, cada uno de estos factores puede tener multitud de valores. Sin embargo, podemos considerar la ventilación como factor englobante, es decir, tal y como se explica en el apartado 2.2.1.1 una ventilación adecuada hace que el resto de factores descartados tengan escasa o ninguna influencia en la transmisión del virus, por el contrario, una ventilación insuficiente propicia una mayor desprotección ante el virus. Es por esto que la ventilación resulta un **factor clave**, tratándose de un factor controlable y difícilmente medible.

Una vez identificados los factores más importantes, se estudian cuantitativamente sus efectos sobre la respuesta y sus interacciones, pero antes hemos de definir la situación de partida. Para realizar la experimentación se emplea el modelo epidemiológico SIR explicado en el apartado 2.7.2. Este modelo es proporcionado por el programa AnyLogic y permite explorar la dinámica de la difusión de enfermedades en estos tipos de redes:

1. Según la distancia: las personas están vinculadas si la distancia entre ellas no supera un valor determinado.
2. Aleatorio: una persona está vinculada a un subconjunto aleatorio de la población.
3. Small World: la mayoría de los enlaces son vecinos, pero hay un porcentaje central de enlaces de largo alcance. Para establecer la gente del vecindario se puede colocar, por ejemplo, en un anillo virtual.
4. Scale Free: algunas personas son "centros" con muchas conexiones y otras son "ermitaños". Este tipo de red se construye utilizando un algoritmo de apego preferencial donde una probabilidad de que una nueva persona se vincule a la gente existente es proporcional al número de enlaces que esas personas ya tienen.
5. Ring Lattice: cada persona está vinculada a un número fijo de sus vecinos más cercanos en un anillo. Este tipo de red de sistema operativo está más lejos de la red completamente conectada.

La Escuela Naval Militar es un escenario similar a la red "Small World" puesto que las relaciones sociales de los alumnos se dan entre los compañeros de su propia brigada, es decir, sus vecinos y, además, cada alumno desarrolla su día a día con un grupo de personas determinado. Este hecho quedará registrado en el modelo estableciendo el número de máximo contactos de cada alumno en 10. No obstante, hay que tener en cuenta a aquellos alumnos que tienen amistad cercana con alumnos de otras brigadas, lo que quedaría definido mediante los enlaces de largo alcance. Estos enlaces de largo alcance se establecen como un 5% de los enlaces normales de cada alumno. (Ver Figura 3-3)

Network type:	Layout type:
☐ Random	☐ Random
☐ Based on distance	☐ Arranged
☐ Ring lattice	☐ Ring
☒ Small world	☒ Spring mass
☐ Scale free	
Links per agent:	10
Maximum link distance:	50.0
Percent of long distance links:	0.05
M:	2

Figura 3-3 Parámetros iniciales de la simulación. Fuente: AnyLogic

Se considera la población total como los alumnos de la ENM, $N = 364$ personas. Dado que el estudio se realiza durante un periodo corto de tiempo, se asume que la población total permanece constante. Se han realizado 30 simulaciones con las diferentes combinaciones de los factores clave partiendo de 1 alumno infectado, con el fin de observar la evolución de la infección entre la población. La elección del estado inicial es probabilística y se basa en un parámetro de porcentaje de la población inicial. Este parámetro quedará definido en el 0,28%, o lo que es lo mismo, 1 alumno infectado. Una vez en estado infeccioso, el agente es capaz de transmitir la enfermedad a otros, por lo que nos interesan sus contactos. Asumimos la tasa de contacto media en 8, de acuerdo a una encuesta realizada a los alumnos (mostrada en el Anexo III: Encuesta tasa de contacto media). En la acción de esa transición, el agente elige a otro agente de entre las personas que conoce (esto lo define la red social), y le envía el mensaje "infección". Sin embargo, como no todos los contactos dan como resultado la transmisión de una infección, el mensaje se envía con la probabilidad "Probabilidad de infección", que es otro parámetro global. Si el mensaje llega a un agente que ya es infeccioso o se ha recuperado, se ignora. Finalmente, la transición de recuperación es un tiempo de espera que debe modelar la duración de la enfermedad, el cual queda definido en 14 días tal y como se explica en el apartado 1.3.2.3 del presente documento. (Ver Figura 3-4)

Total population:	364
Fraction initially infected:	0.0028
Contact rate	8 contacts per day
Infectivity:	0.05
Average illness duration:	14 days

Figura 3-4 Parámetros iniciales de la simulación. Fuente: AnyLogic

3.4 Realización de la experimentación

Una vez definida la situación de partida en la que se decide correr un experimento factorial $2 \times 2 \times 2$ con treinta réplicas, la interacción entre los tres factores clave se mostrará mediante la variable “Probabilidad de infección”. Por tanto, se desea investigar el efecto de la ventilación (A), el uso de la mascarilla (B) y la distancia social (C) que tienen sobre la probabilidad de infección Y (%) de la COVID-19. (Ver Tabla 3-2)

Factor	Unidades Originales		Unidades Codificadas	
	Alto	Bajo	Alto	Bajo
A: Ventilación	Buena	Mala	A1	A2
B: Mascarilla	Sí	No	B1	B2
C: Distancia social	> 2m	< 2m	C1	C2

Tabla 3-2 Codificación de factores clave. Fuente: Elaboración propia

Dicha probabilidad de infección se obtiene mediante el empleo del simulador alemán “Die Zeit”, mencionado en el apartado Simulación de procesos 2.7.1 del presente documento. La base para los cálculos del modelo es un estudio del Instituto Max Planck de Química en Mainz (Alemania) [75]. Los investigadores desarrollaron un modelo para calcular la probabilidad de infección en diferentes escenarios. El objetivo principal del modelo es mostrar cómo al cambiar los parámetros, por ejemplo, ventilando una habitación o usando una mascarilla se puede reducir el riesgo individual de infección. La probabilidad dada aquí es una estimación calculada por la herramienta y puede variar mucho en condiciones del mundo real. Algunos de los parámetros tratados como constantes en el cálculo en realidad fluctúan en escenarios de la vida real. Entre ellos destacan la carga viral individual de una persona infecciosa y la cantidad de partículas infecciosas que se necesitan para infectar a una persona sana. (Ver Figura 3-5)

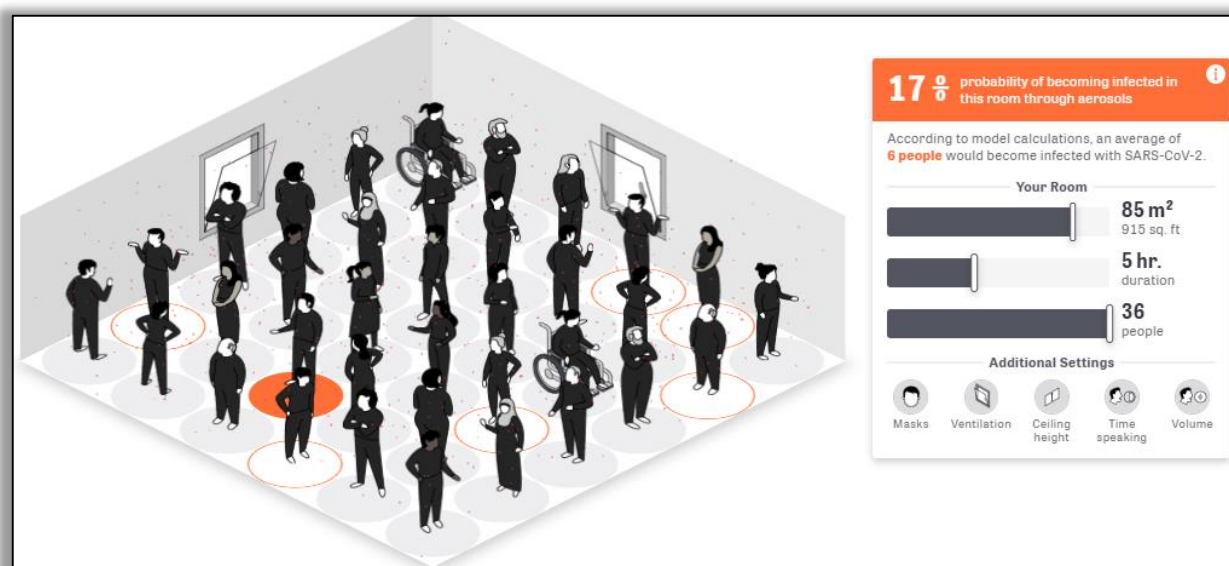


Figura 3-5 Modelo de simulación para la obtención de probabilidades de infección. Fuente: [69]

Para hallar la probabilidad de infección extrapolable a cualquier estancia dentro de la ENM dónde los alumnos prosiguen con su formación, se fija una habitación de 85 m^2 , una altura de habitación estándar de 2,4 metros, con 36 personas en su interior que hablan el 50% del tiempo, durante un tiempo de 5 horas. La modificación del resto de parámetros será:

- Mascarillas: La ENM ha repartido mascarillas de tela y mascarillas quirúrgicas entre los alumnos. Por tanto, se empleará la probabilidad media entre estos dos tipos de mascarillas. (Ver Figura 3-6)

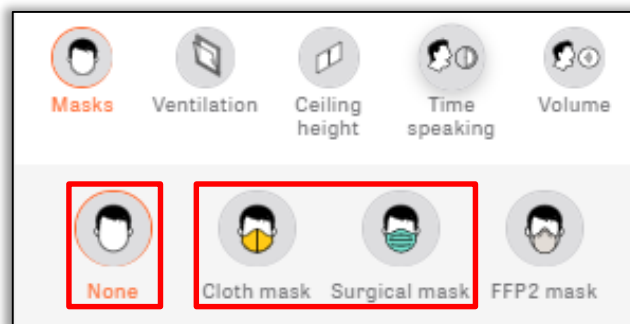


Figura 3-6 Modelación del factor clave "Mascarilla". Fuente: [69]

- Ventilación: Dado a las inconveniencias del clima, muchas veces resulta imposible tener las ventanas completamente abiertas. Por tanto, se empleará la probabilidad media entre una ventilación con ventanas entre abiertas y ventanas completamente abiertas. (Ver Figura 3-7)

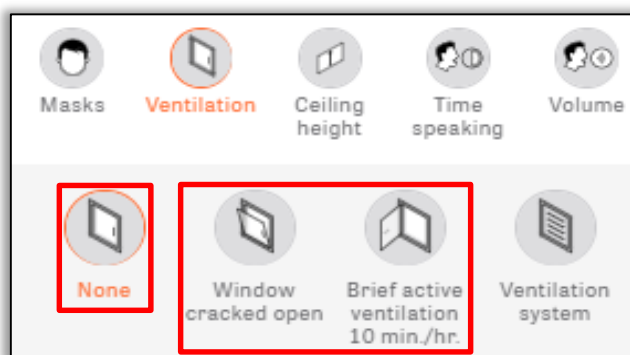


Figura 3-7 Modelación del factor clave "Ventilación". Fuente: [69]

- Distancia social: El simulador establece una distancia social mayor de 2 metros de forma predeterminada. Para calcular la probabilidad en lugares donde la distancia social no sea respetada, se establecerá que todas las personas hablan con un tono de voz alto para que, de esta manera, las partículas segregadas al hablar recorran una mayor distancia. (Ver Figura 3-8)

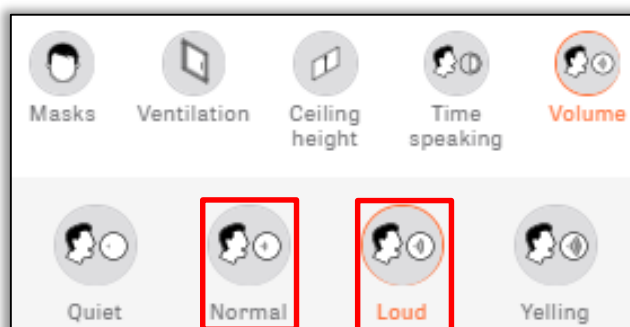


Figura 3-8 Modelación del factor clave "Distancia social". Fuente: [69]

Obteniendo como resultado la siguiente tabla: (Tabla 3-3)

	Ventilación Buena (A1)		Ventilación Mala (A2)	
	Con Mascarilla (B1)	Sin Mascarilla (B2)	Con Mascarilla (B1)	Sin Mascarilla (B2)
Distancia > 2m (C1)	0,775%	6,5%	1,525%	11%
Distancia < 2m (C2)	2,01%	12%	3,5%	19%

Tabla 3-3 Probabilidades de infección en función de la interacción de factores clave. Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se obtienen resultados experimentales para cada interacción de los factores en tres tablas diferentes (Susceptible, Infectado y Recuperado). Una tabla para cada situación posible de la población hasta que finaliza la infección. (Ver Tabla 3-4)

I	A1B1C1 (1)	A1B1C1 (2)	A1B1C1 (3)	-	-	A1B1C1(30)
Día 0	1	1	1	-	-	1
Día 1	1	1	1	-	-	2
Día 2	1	2	1	-	-	2
Día 3	1	1	1	-	-	2
Día 4	1	1	0	-	-	2
Día 5	1	1	0	-	-	3
Día 6	1	1	0	-	-	3
Día 7	1	0	0	-	-	2
Día 8	0	0	0	-	-	1
Día 9	0	0	0	-	-	1
Día 10	0	0	0	-	-	1
Día 11	0	0	0	-	-	1
Día 12	0	0	0	-	-	1
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
Día 56	0	0	0	0	0	0

Tabla 3-4 Ejemplo resultados experimentales para una determinada combinación de factores. Fuente: Elaboración propia

4 RESULTADOS

Una vez se dispone de los resultados experimentales se pueden calcular los efectos de los factores, así como sus interacciones. Graficando la media de la población susceptible en cada una de las combinaciones de factores, donde la corrida de experimentos se ha realizado hasta que la población infectada es igual a cero, se obtiene: (Ver Figura 4-1)

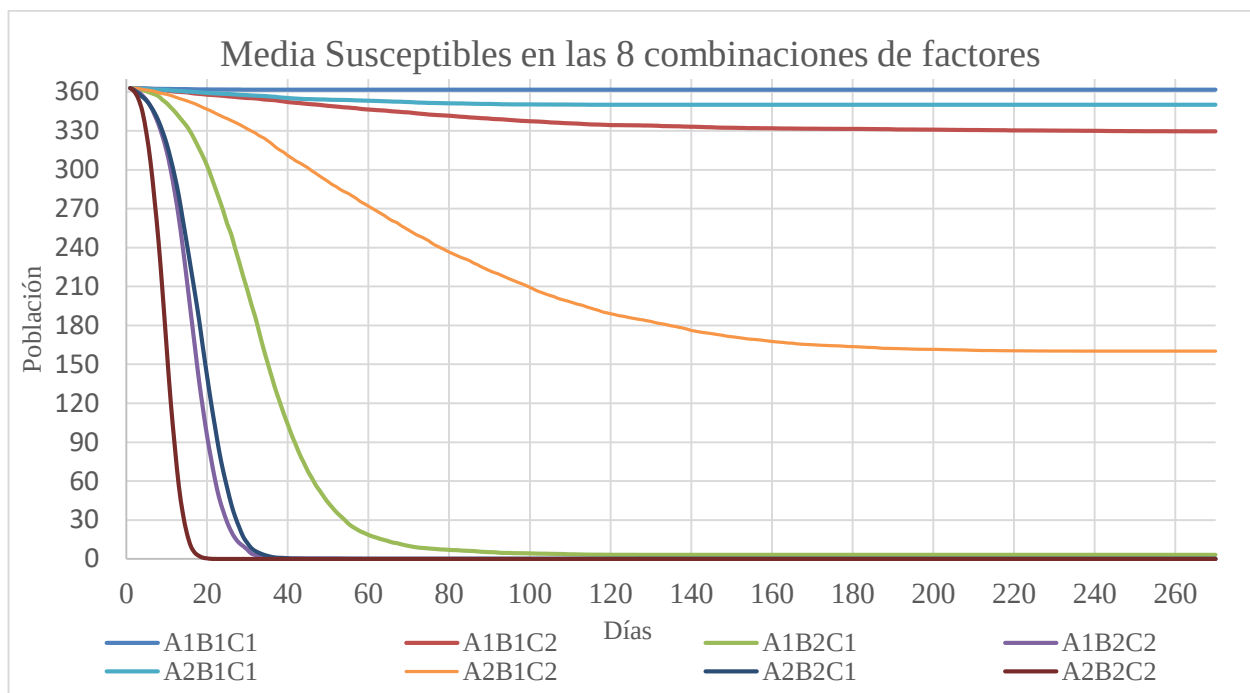


Figura 4-1 Media Susceptibles en las 8 combinaciones de factores. Fuente: Elaboración propia

Se advierte un contagio total de la población (media susceptibles = 0) en todas aquellas interacciones donde la mascarilla no ha sido empleada. Resulta evidente intuir entonces que la mascarilla es el factor que mayor relevancia tiene a la hora de proteger a la población del contagio. También es interesante observar la velocidad en la que la población se infecta, para poder suponer si habría suficientes alojamientos para toda la población infectada. Para ello, se grafica, al igual que con la población susceptible, la media de la población infectada. (Ver Figura 4-2)

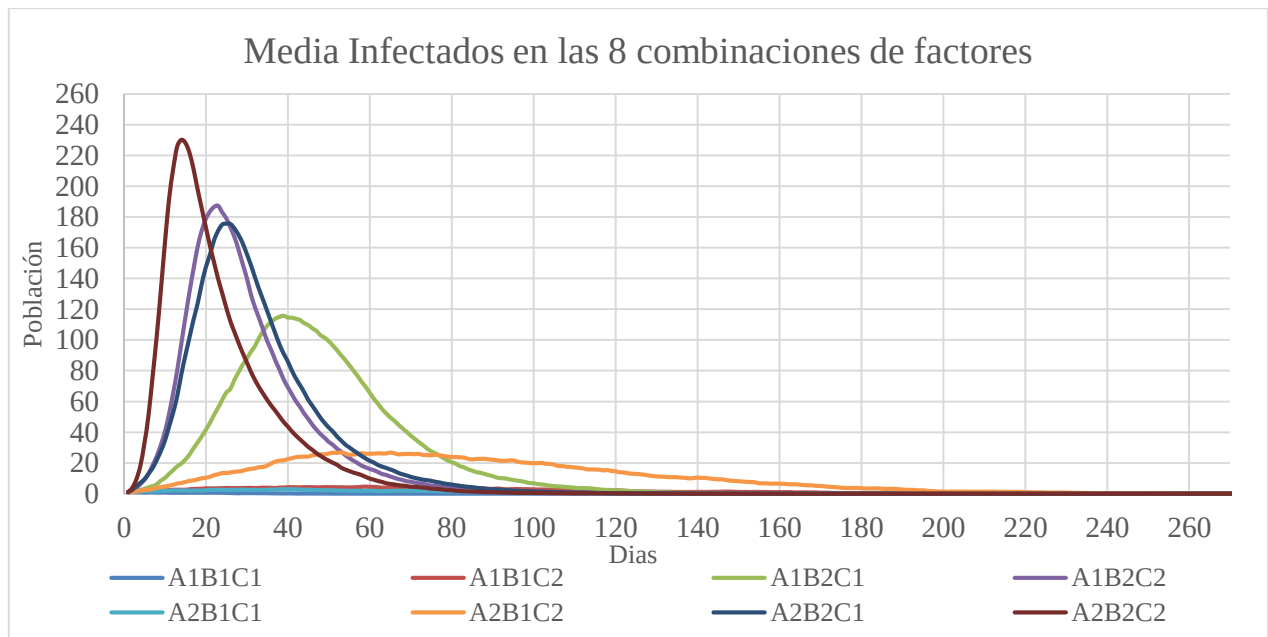


Figura 4-2 Media Infectados en las 8 combinaciones de factores. Fuente: Elaboración propia

Se aprecia una clara diferencia en las interacciones sin mascarillas, las cuales podrían suponer un colapso de habitaciones para la población infectada incluso pese a mantener una buena ventilación y una distancia social mayor de 2 metros, debido al elevado número de infectados en un periodo corto de tiempo. Además, la relevancia de la mascarilla se ratifica en la interacción A2B1C2 donde, pese a no respetar la distancia social en lugares con mala ventilación, la evolución de la infección se realiza de manera progresiva, proporcionando un número medio de infectados estable a lo largo del tiempo sin picos elevados de población infectada. Dado que la gráfica muestra la media de 30 experimentos y con el fin de realizar una evaluación de los resultados más exhaustiva, se realiza un estudio estadístico descriptivo de la duración de la infección, la media de infectados y del número máximo de infectados para cada una de las combinaciones de factores, así como el histograma de estos datos. A continuación, se explican los más relevantes, quedando el resto representados en el Anexo II: Tablas de Infectados para las diferentes interacciones de los factores.

Como ya se podía advertir en la Figura 4-2, la media de la población infectada es elevada en los casos de las interacciones sin mascarillas. Sin embargo, en el caso en el que la mascarilla es el único factor protector (A2B1C2), se observa una agrupación de los datos en dos sectores diferenciados. (Ver Figura 4-3)

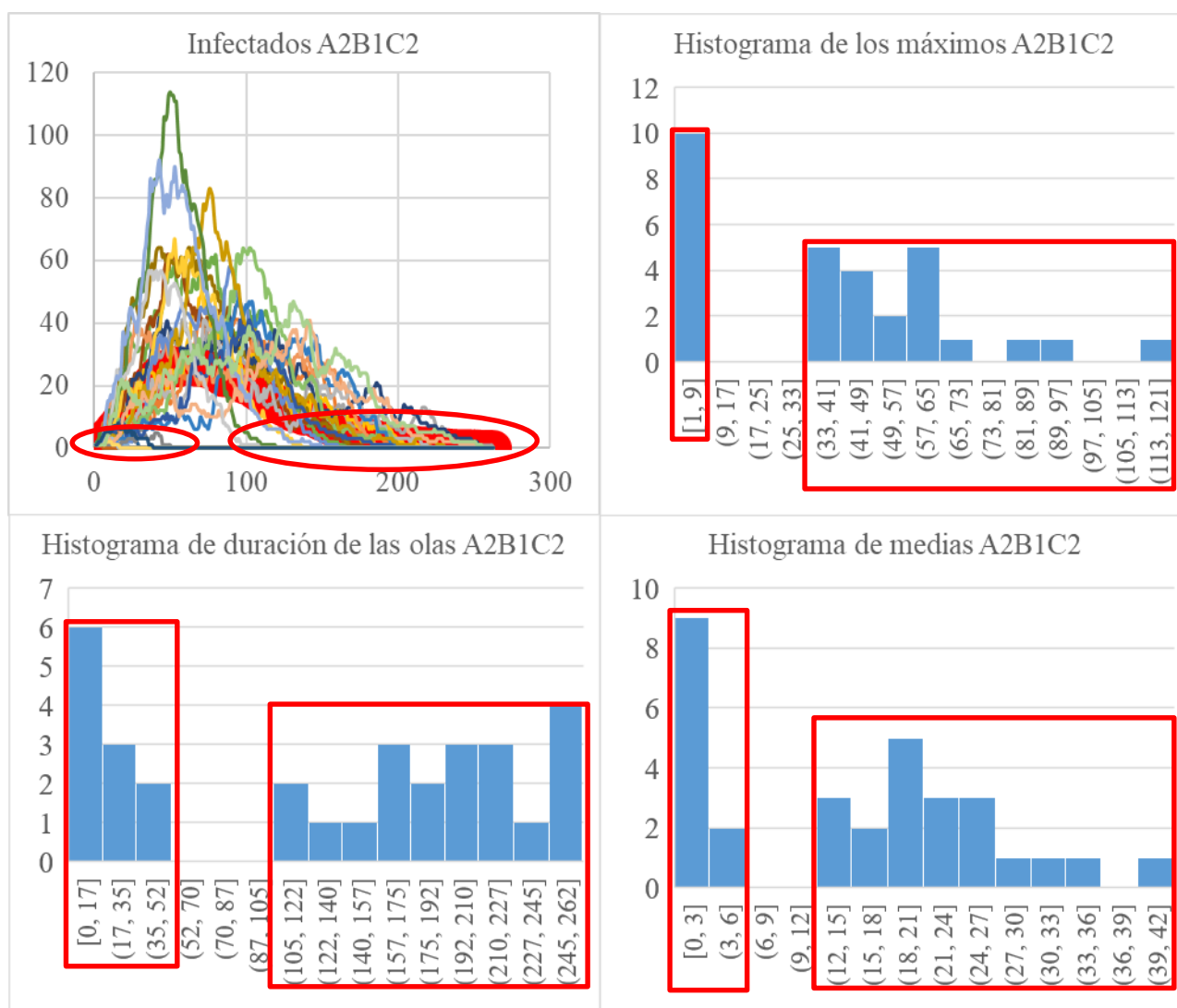


Figura 4-3 Gráficas A2B1C2. Fuente: Elaboración propia

De dónde se observa que el efecto de la mascarilla de manera individual puede resultar en dos situaciones diferentes, es decir, la infección puede acabar bajo control en menos de un mes en el supuesto caso de una rápida recuperación de la población infectada, sin embargo, ligeros aumentos en el número de infecciones provocarían un resultado ineficiente de la mascarilla como factor único en la contención del virus.

Por el contrario, las interacciones sin mascarilla muestran una distribución exponencial más acentuada que aquellas con mascarilla, indicando una posible saturación de los recursos médicos. Esta posible saturación se aprecia en la media dado que, en las interacciones sin mascarilla se obtienen medias grandes, lo que supone un claro descontrol de la propagación. (Ver Tabla 4-1)

A1B2C2					
<i>Duración =</i>		<i>Media de Infectados =</i>		<i>Máximo =</i>	
Media	102,87	Media	49,11	Media	204,10
Error típico	2,63	Error típico	1,59	Error típico	2,78
Mediana	102,50	Mediana	48,45	Mediana	202,50
Moda	106	Moda	48,50	Moda	190
Desviación estándar	14,42	Desviación estándar	8,71	Desviación estándar	15,22
Curtosis	0,14	Curtosis	0,11	Curtosis	-0,43
Coeficiente de asimetría	0,04	Coeficiente de asimetría	0,37	Coeficiente de asimetría	-0,28
Rango	56	Rango	37,95	Rango	61
Mínimo	76	Mínimo	32,25	Mínimo	167
Máximo	132	Máximo	70,20	Máximo	228

Tabla 4-1 Estadística descriptiva A1B2C2. Fuente: Excel

El empleo de los 3 factores (A1B1C1) presenta una distribución normal tanto en la media de infectados, centrada en 1, como en los máximos números de infectados, centrada en 2. Esta combinación de factores es la que menos recursos médicos llegaría a consumir, ya que, pese a que su duración llegue hasta casi dos meses en algunos casos, la población infectada se mantiene muy próxima a valores bajos a lo largo del tiempo. (Ver Tabla 4-2)

A1B1C1					
<i>Duración =</i>		<i>Media de Infectados =</i>		<i>Máximos =</i>	
Media	16,27	Media	1,21	Media	1,87
Error típico	2,87	Error típico	0,09	Error típico	0,30
Mediana	10,5	Mediana	1	Mediana	1
Moda	4	Moda	1	Moda	1
Desviación estándar	15,73	Desviación estándar	0,49	Desviación estándar	1,66
Curtosis	0,30	Curtosis	9,16	Curtosis	12,01
Coeficiente de asimetría	1,16	Coeficiente de asimetría	3,05	Coeficiente de asimetría	3,21
Rango	55	Rango	2,09	Rango	8
Mínimo	1	Mínimo	1	Mínimo	1
Máximo	56	Máximo	3,09	Máximo	9

Tabla 4-2 Estadística descriptiva A1B1C1. Fuente: Excel

Para las interacciones en las que los factores ventilación y distancia social son el único factor influyente en la contención del virus (A1B2C2 y A2B2C1, respectivamente), se muestra una duración elevada en las que, como se mencionó anteriormente, toda la población acaba siendo infectada, siendo esto un efecto indeseable ante la posibilidad de una infección grave de alguno de los casos. Además, las medias de la población infectada muestran un elevado y continuo empleo de los recursos médicos. (Ver Figura 4-4)

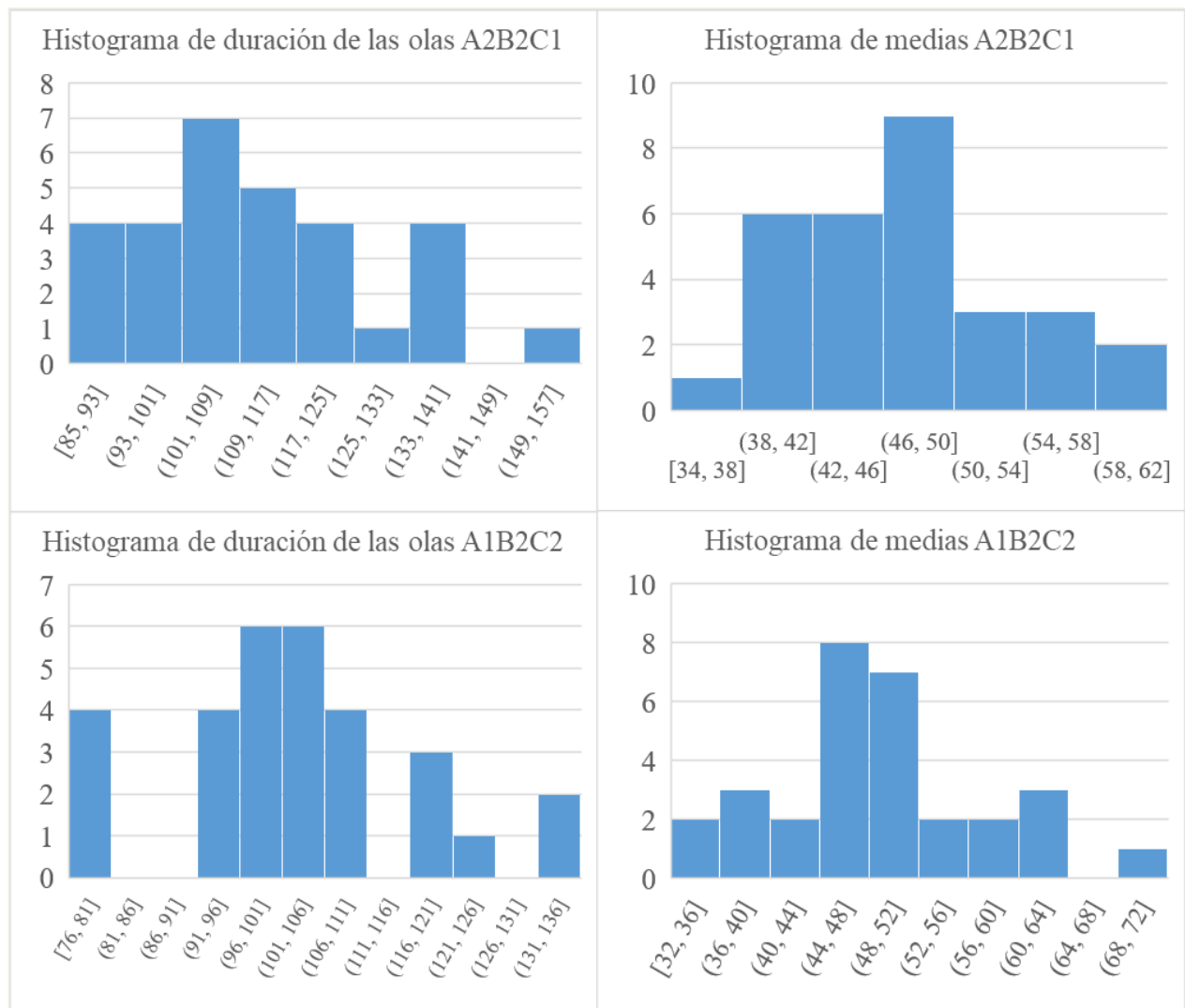


Figura 4-4 Comparativa de A2B2C1 y A1B2C2. Fuente: Elaboración propia

Por último, destacar que las interacciones de la mascarilla con la ventilación o con la distancia social pueden propiciar un fin temprano de la infección ante una rápida recuperación de los infectados, pero al igual que con la mascarilla como único factor, un ligero aumento del número de infectados propicia una duración elevada de la infección. (Ver Figura 4-5)

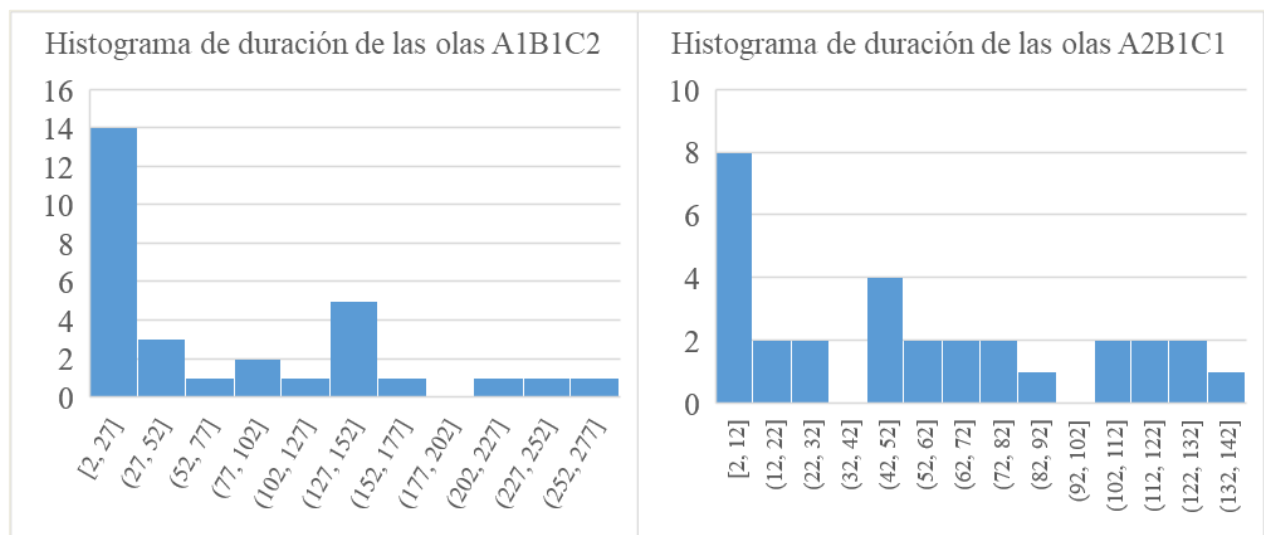


Figura 4-5 Comparativa de duración de las olas de A1B1C2 y A2B1C1. Fuente: Elaboración propia

Destacando que, pese a ser la media de máximos un número factible en el empleo de recursos médicos, cabe la posibilidad de picos elevados en la población infectada que habría que tener en cuenta para disponer de los recursos necesarios para su atención. (Ver Figura 4-6)

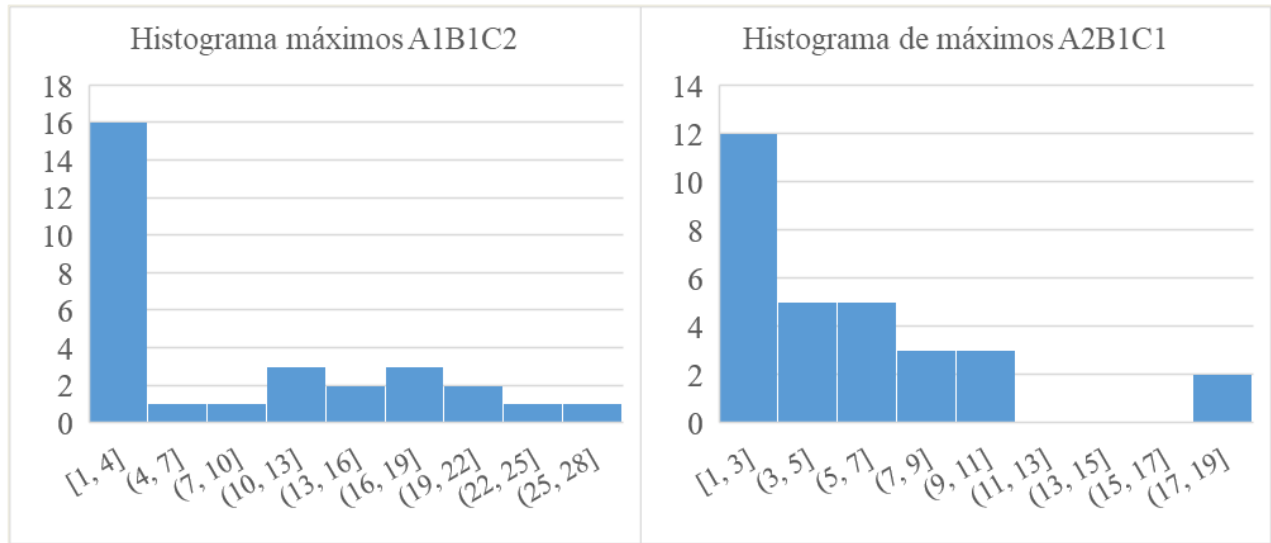


Figura 4-6 Comparativa de máximos infectados de A2B1C1 y A1B1C2. Fuente: Elaboración propia

De las Figura 4-5 y Figura 4-6 se deduce que la combinación de la mascarilla con la distancia social es mejor que la de la mascarilla con una buena ventilación, dado que propicia una duración más corta de la infección con picos de máximos ligeramente inferiores.

Con el fin de ratificar todas las deducciones anteriores, se ha realizado un diagrama de Pareto y un análisis de la varianza de la población que ha pasado la enfermedad (infectados + recuperados) a los 30 días ya que, un mes es considerado tiempo suficiente para saber si las medidas implementadas están siendo o no eficaces. Los datos obtenidos en la experimentación son datos estocásticos, por lo que resulta más difícil la obtención de datos que se ajusten a una normalidad. Para llegar a este fin, se ha realizado el análisis de la varianza de los I+R en 3 grupos de 10 simulaciones. (Ver Tabla 4-3)

FACTORES	I + R día 30, 30 simulaciones		
	10 primeras	10 segundas	10 terceras
A1B1C1	2	2,5	1,9
A1B1C2	8,6	8,1	9,9
A1B2C1	177,9	170,4	154,6
A1B2C2	353,2	363,1	363,2
A2B1C1	6,9	6,9	6,4
A2B1C2	38,2	20,8	43,7
A2B2C1	354,2	356,4	356,5
A2B2C2	364	364	364

Tabla 4-3 Población I + R el día 30 del comienzo de la infección. Fuente: Elaboración propia

No obstante, al tratarse de sucesos estocásticos, algunos de los resultados de la experimentación resultan dispares, tal y como muestra la Tabla 4-4.

Observación	I + R	Resultado adecuado
11	20,80	34,23
22	154,60	167,73

Tabla 4-4 Diagnóstico de observaciones inusuales. Fuente: MiniTab

Estos resultados son debidos a la aleatoriedad de la efectividad de la infección en función a la probabilidad de infección. Como ejemplo, se muestran la evolución de los infectados a lo largo del tiempo en 2 combinaciones de factores, dónde se observa claramente sucesos dispares a la media destacada en rojo. (Ver Tabla 4-5 y Tabla 4-6). Dicha media de infectados es la representada en la Figura 4-2.

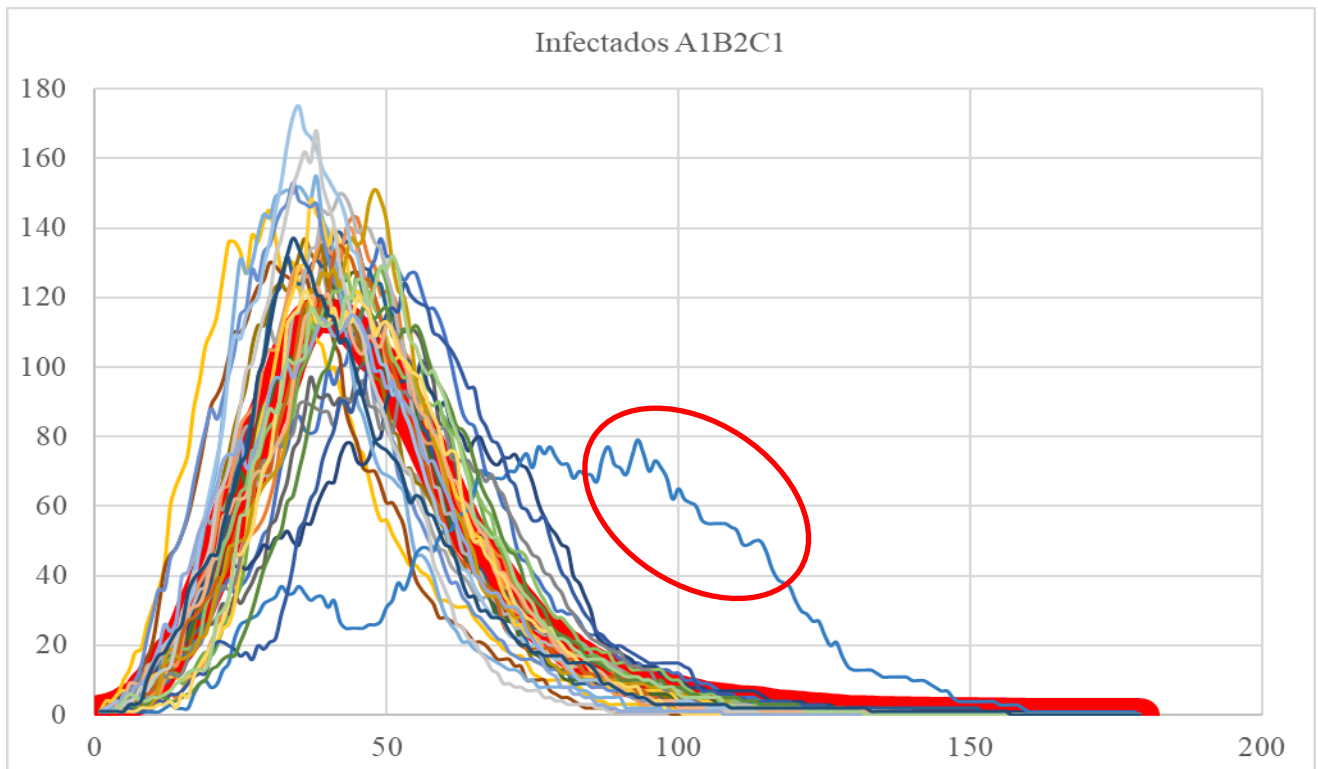


Tabla 4-5 Estocasticidad de los resultados. Fuente: Elaboración propia

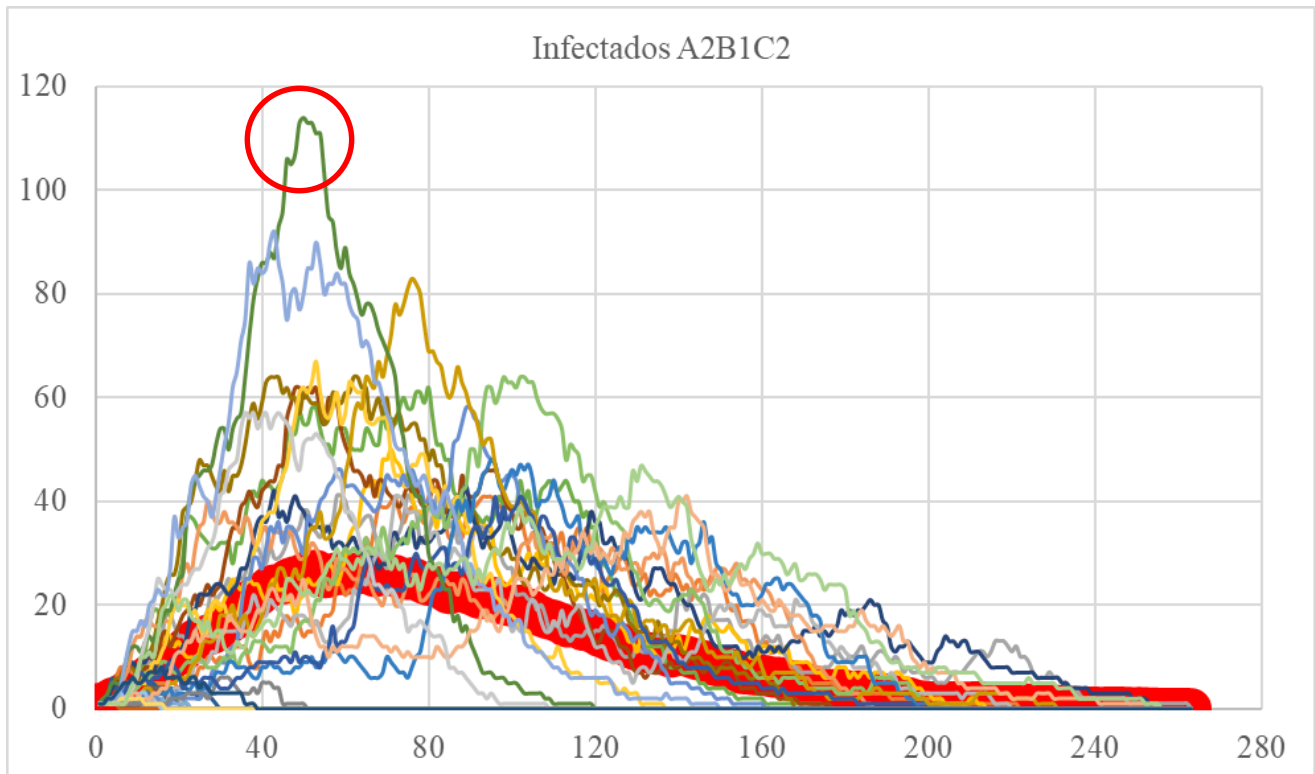


Tabla 4-6 Estocasticidad de los resultados. Fuente: Elaboración propia

4.1 Pareto

El siguiente diagrama permite asignar un orden de prioridades en los factores clave de estudio para la contención de la propagación del virus. (Ver Figura 4-7)

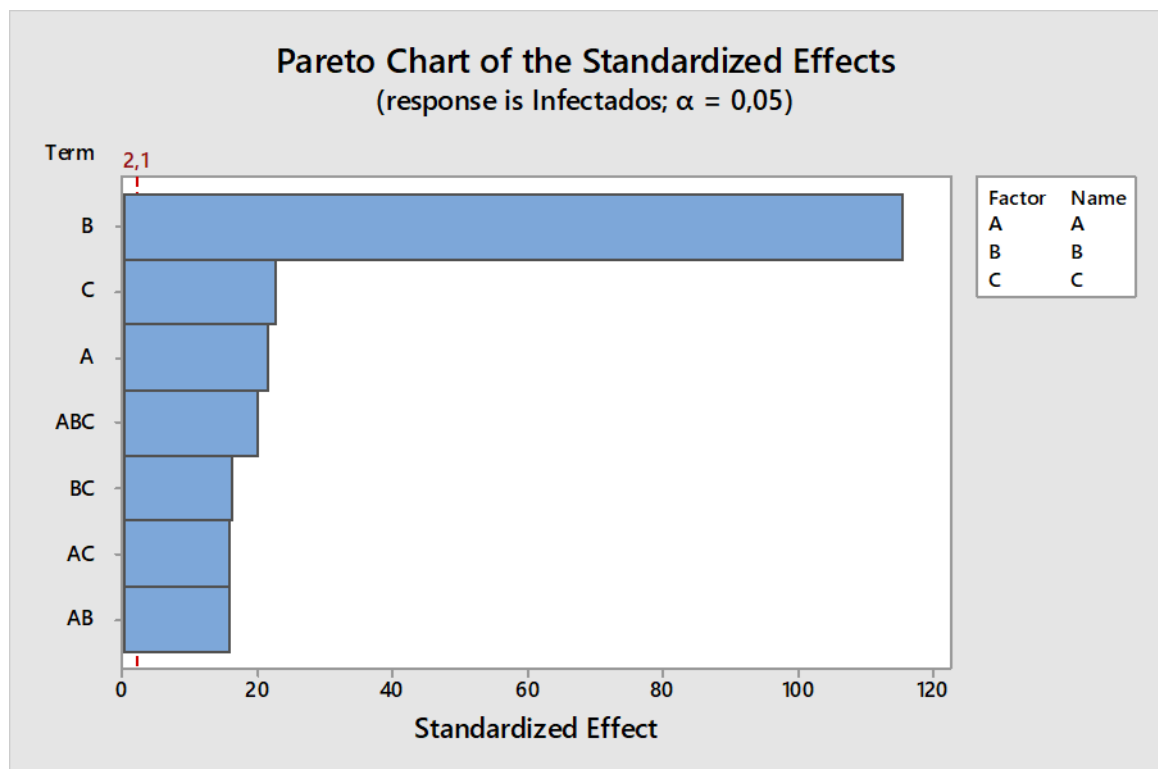


Figura 4-7 Diagrama de Pareto de los efectos clave. Fuente: MiniTab

De acuerdo a la Figura 4-7, se ratifica la importancia de la mascarilla por encima del resto de factores, tal y como se observó en las Figura 4-1 y Figura 4-2. Sin embargo, también se observa la relevancia de la ventilación y la distancia social para la contención del virus. Por tanto, pese a ser la mascarilla el factor más influyente, el resto de medidas han de ser igualmente empleadas tanto de manera individual, como las diferentes combinaciones de las medidas anti-COVID-19.

4.2 ANOVA

A mayores, se realiza un análisis de la varianza (ANOVA por sus siglas en inglés, ANalysis Of VAriance) de la población I + R anteriormente mencionada, obteniendo como resultado la siguiente tabla cuyas fórmulas están explicadas en el Anexo I: Fórmulas ANOVA. (Ver Tabla 4-7)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
Modelo	7	620798	88685	2210,43	0,000
Lineal	3	574921	191640	4776,53	0,000
A	1	18498	18498	461,06	0,000
B	1	535778	535778	13353,98	0,000
C	1	20645	20645	514,56	0,000
Interacción de 2 términos	3	30183	10061	250,77	0,000
A*B	1	9862	9862	245,8	0,000
A*C	1	9967	9967	248,43	0,000
B*C	1	10354	10354	258,07	0,000
Interacción de 3 términos	1	15693	15693	391,13	0,000
A*B*C	1	15693	15693	391,13	0,000
Error	16	642	40		
Total	23	621439			

Tabla 4-7 ANOVA población I + R para $\alpha = 0,05$. Fuente: MiniTab

de donde se aprecia que todos los factores estudiados son significativos en la contención de la propagación del virus. Todos los que tienen un p-valor menor de 0,05 son significativos, dado que, el valor p ayuda a diferenciar resultados que son producto del azar del muestreo, de resultados que son estadísticamente significativos.

A mayores, MiniTab ofrece el siguiente resumen del modelo: (Tabla 4-8)

R-cuad	R-cuad. (ajustado)	R-cua. (pred)
99,90%	99,85%	99,77%

Tabla 4-8 Resumen del modelo ANOVA. Fuente: MiniTab

donde S es la desviación estándar agrupada. El coeficiente R cuadrado, también llamado coeficiente de determinación, muestra el modelo está muy aproximado a las variables (factores clave) que aquí se han especificado. El coeficiente R cuadrada ajustada nos muestra el elevado grado de efectividad que tienen las variables independientes en explicar las variables dependientes. Por último, el coeficiente R cuadrada para predicción, establece una fiabilidad próxima al 100% en la predicción de situaciones futuras para conocer la relevancia de los factores anti-COVID-19.

Se obtiene como resultado final que, pese a ser la mascarilla el factor de mayor relevancia, los factores distancia social y ventilación son también importantes y relevantes en la contención de la propagación de la enfermedad, así como todas interacciones entre los factores.

4.3 Resultados esperados

De acuerdo a toda la información recabada a lo largo de la historia del arte del presente documento, se resume que la influencia de los tres factores claves definidos anteriormente va a ser la siguiente:

- **Mascarilla:** Hay estudios experimentales que demuestran la reducción de la emisión de virus con el uso de mascarilla, tanto para coronavirus humanos estacionales como para virus de la gripe, en aerosoles mayores y menores de 5 μm [76] [77]. De acuerdo a [78], la reducción de la transmisión con una distancia interpersonal de 50 cm no alcanzó el 100% con ningún tipo de mascarilla y oscilaría entre el 70% con el uso de mascarilla higiénica, 80% con quirúrgica y 90-95% con la FPP2.
- **Ventilación:** Hay suficiente evidencia para afirmar que el aire recirculado en ausencia de filtros en una estancia en la que se encuentre una persona con infección activa por SARS-CoV-2 sin mascarilla, el tiempo suficiente, constituye un riesgo para otras personas presentes independientemente de la distancia a la que se encuentren [79][80][81].
- **Distancia social:** De forma experimental, la reducción de la transmisión de SARS-CoV-2 a mayores distancias se ha podido comprobar mediante simuladores, con una reducción del 60% de la transmisión a una distancia interpersonal sin mascarilla de 50 cm y del 70% a 1 metro [82]. A mayor tiempo de exposición, mayor dosis infectiva recibida. En espacios interiores mal ventilados, en presencia de una persona con capacidad infectiva, la concentración en el aire aumenta con el tiempo pues se acumulan los aerosoles.

Por tanto, la ventilación queda definida con un factor verdaderamente influyente en los casos en los que no se portará mascarilla, independientemente de que uno de los dos interlocutores la porte. De la misma manera, la distancia social resulta ser efectiva en ausencia de los otros dos factores. Concluyendo que la mascarilla parece ser el factor de mayor relevancia en la contención del virus.

Toda esta información ha sido contrastada en los resultados, verificando la significancia de los tres factores y destacando la importancia del empleo de mascarillas en la contención de la propagación del virus.

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1 Conclusiones

Como se ha podido ver a lo largo de todo el estado del arte y en el estudio del presente trabajo, se establece que los estudios estadísticos están siendo esenciales desde la aparición de este nuevo virus. Muchos de estos estudios han sido empleados para decidir el relajamiento o endurecimiento de las medidas aquí analizadas.

Se han conseguido identificar al empleo de la mascarilla, la ventilación y la distancia social mayor de dos metros como los factores que tienen mayor relevancia en la contención de la propagación del virus. Se destaca que estos factores son comunes a todas las poblaciones, es decir, que no dependen de parámetros individuales como es, por ejemplo, la carga viral que posee una persona infectada. Son, por tanto, los factores principales en torno a los que se evalúan los parámetros a la hora de tomar medidas para la contención del virus.

La simulación de la propagación del virus ha resultado un instrumento esencial para la realización del trabajo puesto que ha permitido la obtención de las probabilidades de infección en función a las diferentes interacciones de los factores anti-COVID-19 de mayor significancia. No obstante, la probabilidad dada aquí es una estimación calculada por la herramienta DieZeit y puede variar mucho en condiciones reales.

Cabe destacar el empleo de la herramienta AnyLogic como elemento de simulación, puesto que ofrece el modelo epidemiológico SIR, el cual ha sido empleado para la obtención de las situaciones de la población (Susceptible, Infectado o Recuperado) en función de las medidas de mayor significancia y sus combinaciones. El modelo utilizado para la simulación ha permitido modificar sus parámetros, concluyendo que se ha conseguido un modelo adaptado al comportamiento del virus (propagación entre personas al entrar en contacto y duración máxima de enfermedad) y a la situación que viven los alumnos dentro de la escuela (contactos cercanos y de otras brigadas). No obstante, pese a haber mostrado la importancia de los factores anti-COVID-19, no es ningún estudio de predicciones futuras.

Se corrobora entonces que las medidas establecidas por la ENM sobre el uso obligatorio de la mascarilla, el mantenimiento de la distancia social mayor de dos metros y la ventilación permanente de los habitáculos que frecuentan en su día a día los alumnos, son vitales para evitar la propagación incontrolada de la enfermedad. Además, se ha destacado el empleo de la mascarilla como norma de mayor eficacia para detener una posible infección entre los alumnos. En definitiva, podemos considerar que tenemos los medios para frenar la propagación del virus. Por ello, como bien se ha mostrado a lo largo de este trabajo, la combinación de los tres factores es considerada como la norma más relevante a la hora de proteger a la población del contagio.

5.2 Líneas futuras

El presente estudio ha sido realizado mediante el empleo del modelo SIR, mencionado en apartado 2.7.2. Sin embargo, dada la complejidad de la enfermedad, muchos autores han implementado el modelo SEIR con diferentes variaciones con respecto a las ecuaciones y los parámetros o la gestión de diferentes ajustes técnicos, para hacer que el modelo que representa la realidad sea lo más cercano posible. Como es el caso del modelo [83], que estudió la infección por COVID-19 en varias provincias chinas, el modelo [82] que estudió la infección por COVID-19 en Italia y el modelo valenciano [84] que lo estudió en España. El modelo SEIR añade el estado de expuesto a los ya mencionados anteriormente.

- Expuesto o latente (E), es la fracción de la población que ha sido infectada pero no muestra síntomas ni todavía es capaz de infectar.

Como línea futura se propone la realización de un modelo SEIR de acuerdo a las medidas adoptadas por la escuela, con el fin de volver a realizar el presente estudio, pero realizando la experimentación en un modelo más ajustado a la ENM. Se plantea en la Figura 5-1 un diagrama de flujo de acuerdo a las medidas empleadas por la escuela, así como los parámetros que habría que tener en cuenta para dicho flujograma.

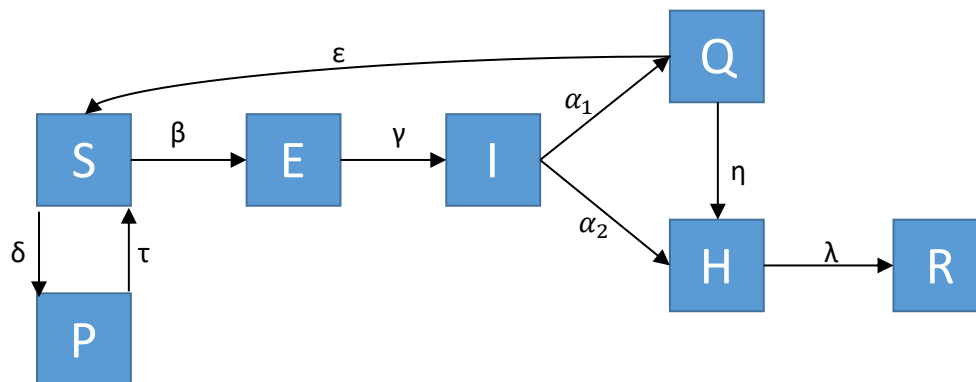


Figura 5-1 Diagrama de flujo del modelo. Fuente: elaboración propia de acuerdo con toda la información recopilada en este informe.

- Tasas de transmisión de la infección β
- Tasa de paso de susceptibles S a protegido P, δ
- Tasa de paso de protegido P a susceptibles S, τ
- Tasa de paso de expuestos E a infecciosos I, γ
- Tasas de paso de infecciosos I a cuarentena Q, α_1 , y a hospitalizados H, α_2
- Tasa de paso de hospitalizado H a recuperado R, λ
- Tasa de paso de cuarentena Q a hospitalizado H, η , y a susceptible S, ϵ

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] RAE, “virus | Definición | Diccionario de la lengua española | RAE - ASALE.” <https://dle.rae.es/virus>.
- [2] NIH, “National Human Genome Research Institute.” <https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Virus>.
- [3] Genotipia, “Historia de los virus,” 2020. https://genotipia.com/virus_1/.
- [4] FDA, “Autorización de uso de emergencia (EUA, por sus siglas en Inglés) de la vacuna contra la COVID-19 de Pfizer-BioNTech para prevenir la enfermedad del coronavirus 2019 (COVID-19) en personas de 16 años de edad y mayores,” vol. 2019, pp. 1–7, 2020.
- [5] Empendium, “Importancia de los SARS-CoV y MERS-CoV, en comparación con SARS-CoV-2.” <https://empendium.com/manualmibe/covid19/231147,cual-es-la-importancia-de-los-sars-cov-y-mers-cov-en-comparacion-con-sars-cov-2>.
- [6] OMS, “Cronología de la respuesta de la OMS a la COVID-19.” <https://www.who.int/es/news/item/29-06-2020-covidtimeline>.
- [7] C. e I. Dirección General de Salud Pública and C. de C. de A. y E. Sanitarias, “Enfermedad por nuevo coronavirus, COVID-19,” *Minist. Sanidad. Gob. España*, vol. 19, no. 2005, p. 2020, 2019, [Online]. Disponible en: https://www.mscbs.gob.es/profesionales/saludPublica/ccayes/alertasActual/nCov-China/documentos/Informacion_inicial_alerta.pdf.
- [8] Instituto de Salud Carlos III, “Informe del grupo de análisis científico de coronavirus del ISCIII. Secuenciación genética: ¿qué es y para qué sirve?,” 2020.
- [9] OMS, “Declaración sobre la segunda reunión del Comité de Emergencias del Reglamento Sanitario Internacional (2005) acerca del brote del nuevo coronavirus (2019-nCoV),” 2020. [https://www.who.int/es/news/item/30-01-2020-statement-on-the-second-meeting-of-the-international-health-regulations-\(2005\)-emergency-committee-regarding-the-outbreak-of-novel-coronavirus-\(2019-ncov\)](https://www.who.int/es/news/item/30-01-2020-statement-on-the-second-meeting-of-the-international-health-regulations-(2005)-emergency-committee-regarding-the-outbreak-of-novel-coronavirus-(2019-ncov)).
- [10] OMS, “Consideración de la COVID-19 como pandemia por parte de la OMS.”
- [11] OMS, “VIH/Sida,” 2020. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/hiv-aids#:~:text=La OMS es uno de,la coordinación de las actividades>.
- [12] Gacetamédica, “España confirma su primer caso de coronavirus en La Gomera.” <https://gacetamedica.com/investigacion/espana-confirma-su-primer-caso-de-coronavirus/#:~:text=El Centro Nacional de Microbiología,de Guadalupe de La Gomera>.

- [13] Gacetamédica, “Valencia confirma la primera muerte por coronavirus en España.” <https://gacetamedica.com/politica/valencia-confirma-la-primer-muerte-por-coronavirus-en-espana/>.
- [14] Instituto de Salud Carlos III, “LA INFECCIÓN POR SARS-CoV-2 EN ESPAÑA (ENE-COVID) Segunda fase Información general sobre el estudio,” pp. 1–3, 2020.
- [15] OMS, “Fases de desarrollo de una vacuna,” *OPS OMS*, p. 1, 2020.
- [16] M. de S. Gobierno de España, “¿Cómo se transmite el coronavirus SARS-Cov2?,” p. 1, 2020.
- [17] Center for Disease Control and Prevention (CDC), “Cómo se propaga el COVID-19 El COVID-19 se propaga muy fácilmente de persona a persona El COVID-19 se propaga más comúnmente durante el contacto El COVID-19 se propaga con menor frecuencia a través del contacto con superficies contaminadas,” pp. 2019–2021, 2021.
- [18] M. Richard *et al.*, “SARS-CoV-2 is transmitted via contact and via the air between ferrets,” *Nat. Commun.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–6, 2020, doi: 10.1038/s41467-020-17367-2.
- [19] Ministerio de Sanidad, “Evaluación del riesgo de la transmisión de SARS-CoV-2 mediante aerosoles. Medidas de prevención y recomendaciones.,” pp. 1–43, 2020.
- [20] A. P. Harvey *et al.*, “Longitudinal monitoring of SARS-CoV-2 RNA on high-touch surfaces in a community setting,” 2020.
- [21] S. Riddell, S. Goldie, A. Hill, D. Eagles, and T. W. Drew, “The effect of temperature on persistence of SARS-CoV-2 on common surfaces,” *Virol. J.*, vol. 17, no. 1, pp. 1–7, 2020, doi: 10.1186/s12985-020-01418-7.
- [22] R. Hirose *et al.*, “Survival of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) and Influenza Virus on Human Skin: Importance of Hand Hygiene in Coronavirus Disease 2019 (COVID-19),” *Clin. Infect. Dis.*, vol. 2, no. Xx Xxxx, 2020, doi: 10.1093/cid/ciaa1517.
- [23] A. W. H. Chin *et al.*, “Stability of SARS-CoV-2 in different environmental conditions,” *The Lancet Microbe*, vol. 1, no. 1, p. e10, 2020, doi: 10.1016/s2666-5247(20)30003-3.
- [24] Y. Zhang *et al.*, “Isolation of 2019-nCoV from a Stool Specimen of a Laboratory-Confirmed Case of the Coronavirus Disease 2019 (COVID-19),” *China CDC Wkly.*, vol. 2, no. 8, pp. 123–124, 2020, doi: 10.46234/ccdcw2020.033.
- [25] D. Wang *et al.*, “Clinical Characteristics of 138 Hospitalized Patients with 2019 Novel Coronavirus-Infected Pneumonia in Wuhan, China,” *JAMA - J. Am. Med. Assoc.*, vol. 323, no. 11, pp. 1061–1069, 2020, doi: 10.1001/jama.2020.1585.
- [26] F. Xiao *et al.*, “Infectious SARS-CoV-2 in feces of patient with severe COVID-19,” *Emerg. Infect. Dis.*, vol. 26, no. 8, pp. 1920–1922, 2020, doi: 10.3201/eid2608.200681.
- [27] R. Wölfel *et al.*, “Virological assessment of hospitalized patients with COVID-2019,” *Nature*, vol. 581, no. 7809, pp. 465–469, 2020, doi: 10.1038/s41586-020-2196-x.
- [28] A. J. Vivanti *et al.*, “Transplacental transmission of SARS-CoV-2 infection,” *Nat. Commun.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–7, 2020, doi: 10.1038/s41467-020-17436-6.
- [29] D. A. Christakis, *Pediatrics and COVID-19*. 2020, p. 2.
- [30] A. M. Bosco-Lauth *et al.*, “Pathogenesis, transmission and response to re-exposure of SARS-CoV-2 in domestic cats,” *Coll. Vet. Med. Biomed. Sci. Color. State Univ. Fort Collins, CO*, 2020.
- [31] N. R. Jones, Z. U. Qureshi, R. J. Temple, J. P. J. Larwood, T. Greenhalgh, and L. Bourouiba, “Two metres or one: what is the evidence for physical distancing in covid-19?,” *BMJ*, vol. 370, p. m3223, 2020, doi: 10.1136/bmj.m3223.

- [32] L. Morawska and D. K. Milton, “It Is Time to Address Airborne Transmission of Coronavirus Disease 2019 (COVID-19),” *Clin. Infect. Dis.*, vol. 71, no. 9, pp. 2311–2313, 2020, doi: 10.1093/cid/ciaa939.
- [33] C. y B. S. Ministerio de Sanidad, “Orden SND/422/2020, de 19 de mayo, por la que se regulan las condiciones para el uso obligatorio de mascarilla durante la situación de crisis sanitaria ocasionada por el COVID-19,” *Boletín Of. del Estado*, pp. 33600–33602, 2020.
- [34] Ministerio de Consumo, “¿Qué debes tener en cuenta al comprar una mascarilla?,” pp. 0–9, 2020, [Online]. Disponible en: https://www.mscbs.gob.es/profesionales/saludPublica/ccayes/alertasActual/nCov-China/documentos/030520_GUIA_COMPRA_MASCARILLAS.pdf.
- [35] Asociación Española de Normalización, “Publicada la Especificación UNE para facilitar la fabricación de mascarillas higiénicas,” 2020.
- [36] Asociación Española de Normalización, “Especificación {UNE} 0065:2020 . {Mascarillas} higiénicas reutilizables para adultos y niños. {Requisitos} de materiales, diseño, confección, marcado y uso,” p. 22, 2020.
- [37] A. E. de N. UNE, “Mascarillas quirúrgicas Requisitos y métodos de ensayo,” 2020, [Online]. Disponible en: www.une.org.
- [38] Science 3M, “Comparison of FFP2, KN95, and N95 Filtering Facepiece Respirator Classes 3M Personal Safety Division,” pp. 2–4, 2020.
- [39] Ministerio de Sanidad, “BOE-A-2019-5577,” *Boletín Of. del Estado*, pp. 61561–61567, 2020.
- [40] Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades, “Cómo protegerse y proteger a los demás,” *Cent. para el Control y la prevención enfermedades*, vol. 2019, pp. 2019–2021, 2020, [Online]. Disponible en: <https://espanol.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/prevent-getting-sick/prevention.html>.
- [41] European Centre for Disease Prevention and control, “ECDC Guidance for discharge and ending of isolation of people with COVID-19,” *ECDC Tech. Rep.*, no. October, 2020, [Online]. Disponible en: <https://www.ecdc.europa.eu/sites/default/files/documents/Guidance-for-discharge-and-ending-of-isolation-of-people-with-COVID-19.pdf>.
- [42] Center for Disease Control and Prevention (CDC), “Discontinuation of Isolation for Persons with COVID-19 Not in Healthcare Settings,” *Discontinuation Isol. Pers. with COVID-19 Not Healthc. Settings*, pp. 1–4, 2020, [Online]. Disponible en: <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/hcp/disposition-in-home-patients.html>.
- [43] C. y B. S. Ministerio de Sanidad, “Periodo máximo de incubación de la COVID-19.” [https://www.mscbs.gob.es/ciudadanos/enfLesiones/enfTransmisibles/sras/transmision.htm#:~:text=El periodo máximo de incubación,días tras la exposición](https://www.mscbs.gob.es/ciudadanos/enfLesiones/enfTransmisibles/sras/transmision.htm#:~:text=El%20periodo%20m%C3%A1ximo%20de%20incubaci%C3%B3n,d%C3%ADas%20tras%20la%20exposici%C3%B3n).
- [44] OMS, “Síntomas más habituales de la COVID-19.” <https://www.who.int/es/news-room/q-a-detail/coronavirus-disease-covid-19>.
- [45] OMS, “Preguntas y respuestas sobre la enfermedad por coronavirus (COVID-19).” <https://www.who.int/es/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public/q-a-coronaviruses#:~:text=sintomas>.
- [46] J. R. Larsen, M. R. Martin, J. D. Martin, P. Kuhn, and J. B. Hicks, “Modeling the Onset of Symptoms of COVID-19.” 2020.
- [47] JAMA Internal Medicine, “Clinical course and molecular viral shedding among asymptomatic and symptomatic patients with SARS-CoV-2 infection in a community treatment center in the Republic of Korea.” 2020.

- [48] D. Buitrago-García *et al.*, “Occurrence and transmission potential of asymptomatic and presymptomatic SARS-CoV-2 infections: A living systematic review and meta-analysis,” 2020.
- [49] C. y B. S. Ministerio de Sanidad, “Preguntas y respuestas sobre la vacunación frente a la gripe.” https://www.mschs.gob.es/profesionales/saludPublica/prevPromocion/vacunaciones/programasDeVacunacion/gripe/faq/Preguntas_respuestas_gripe_profsanitarios_2020-2021.htm#diez.
- [50] Center for Disease Control and Prevention (CDC), “Similitudes y diferencias entre la influenza y el COVID-19.” <https://espanol.cdc.gov/flu/symptoms/flu-vs-covid19.htm>.
- [51] GTM, “Informe Del Gtm 1 Sobre “Inmunidad Protectora Y Reinfección”,” pp. 1–9, 2020.
- [52] R. L. Tillett *et al.*, “Genomic evidence for reinfection with SARS-CoV-2: a case study,” *Lancet Infect. Dis.*, vol. 21, no. 1, pp. 52–58, 2020, doi: 10.1016/S1473-3099(20)30764-7.
- [53] L. M. Kucirka, S. A. Lauer, O. Laeyendecker, D. Boon, and J. Lessler, “Annals of Internal Medicine Variation in False-Negative Rate of Reverse Transcriptase Polymerase Chain Reaction – Based SARS-CoV-2 Tests by Time Since Exposure,” doi: 10.7326/M20-1495.
- [54] OMS, “Detección de antígenos para el diagnóstico de la infección por el SARS-CoV-2 mediante inmunoanálisis rápidos,” 2020.
- [55] SEIMC, “Posicionamiento SEIMC sobre pruebas rápidas de detección de anticuerpos de SARS-CoV-2 para autodiagnóstico,” vol. 2, p. 1, 2020.
- [56] Ilustre Colegio Oficial de Médicos de Madrid, “Informe, recomendaciones y propuestas del ilustre colegio de médicos de Madrid (ICOMEM) sobre puebas diagnósticas en las distintas situaciones de infección por el coronavirus SARS-CoV-2,” *Clin. Infect. Dis.*, 2020.
- [57] EMA, “The European Medicines Agency’s EU conditional marketing authorisations for COVID-19 vaccines.” 2020.
- [58] EMA, “COVID-19 Vaccine Moderna (COVID-19 mRNA vaccine [nucleoside modified]),” vol. 31, no. 0, 2021.
- [59] S. E. Oliver, J. W. Gargano, M. Marin, M. Wallace, and K. G. Curran, “The Advisory Committee on Immunization Practices ’ Interim Recommendation for Use of Pfizer-BioNTech COVID-19 Vaccine — United States , December 2020,” vol. 69, no. 50, pp. 1922–1924, 2020.
- [60] K. Dooling *et al.*, “The Advisory Committee on Immunization Practices’ Updated Interim Recommendation for Allocation of COVID-19 Vaccine — United States, December 2020,” *MMWR. Morb. Mortal. Wkly. Rep.*, vol. 69, no. 5152, pp. 1657–1660, 2021, doi: 10.15585/mmwr.mm695152e2.
- [61] A. Almirante Director de Enseñanza Naval Victoriano Gilabert, “Modificación temporal a la instrucción núm. 15160 régimen de francos y uniformidad,” 2020.
- [62] S. C.C. Martínez Mata, “Normas ampliatorias COVID-19 para el batallón de alumnos,” 2020.
- [63] S. C.C. Martínez Mata, “Normas ampliatorias COVID-19 para alumnos aislados y confinados,” 2020.
- [64] I. C.N. Cuartero Lorenzo, “Instrucción para el aislamiento/confinamiento de los alumnos de la ENM por situación COVID-19,” 2020.
- [65] I. C.N. Cuartero Lorenzo, “Instrucción sobre régimen de vida de alumnos para reforzar la prevención y control ante el COVID-19,” 2021.
- [66] QUIRON PREVENCIÓN, “Evaluación del Riesgo, escenarios posibles según lo establecido en el ‘ Procedimiento de actuación para los SPRL frente a la exposición al nuevo coronavirus (SARS-COV-2)’, del Ministerio de Sanidad . FEPALESCA S.A.,” 2020.

- [67] Centro Universitario de la Defensa, “Protocolo de actuación durante la nueva normalidad laboral del CUD-ENM. COVID-19,” 2020.
- [68] C. Fullana Belda and E. Urquía Grande, “Los modelos de simulación: una herramienta multidisciplinar de investigación,” *Encuentros Multidiscip.*, vol. 11, no. 32, pp. 37–48, 2009.
- [69] Die Zeit, “¿Por qué el riesgo de transmisión del coronavirus es tan alto en interiores?” https://www.zeit.de/wissen/gesundheit/2020-11/coronavirus-aerosols-infection-risk-hotspot-interiors?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.20minutos.es%2F.
- [70] U. de Colorado, “Un salón, un bar y una clase: así contagia el coronavirus en el aire.” <https://elpais.com/ciencia/2020-10-24/un-salon-un-bar-y-una-clase-asi-contagia-el-coronavirus-en-el-aire.html>.
- [71] J. M. Gutiérrez and J. L. Varona, “Análisis de la posible evolución de la epidemia de coronavirus COVID-19 por medio de un modelo SEIR,” *Dep. Matemáticas y Comput.*, pp. 1–14, 2020.
- [72] K. W.O. and M. A.G., “A Contribution to the Mathematical Theory of Big Game Hunting,” *Am. Math. Mon.*, vol. 45, no. 7, p. 446, 1938, doi: 10.2307/2304150.
- [73] Universidad Politécnica de Valencia, “¿Qué es el diseño de experimentos?” <https://victoryepes.blogs.upv.es/2013/04/21/que-es-el-diseno-de-experimentos/>.
- [74] M. Álvarez Hernández, “Seminario de técnicas pedagógicas para profesores del CUD. Diseño de experimentos.” doi: 10.1007/BF03004007.
- [75] J. Lelieveld *et al.*, “Model Calculations of Aerosol Transmission and Infection Risk of COVID-19 in Indoor Environments,” pp. 1–18, 2020.
- [76] D. K. Milton, M. P. Fabian, B. J. Cowling, M. L. Grantham, and J. J. McDevitt, “Influenza Virus Aerosols in Human Exhaled Breath: Particle Size, Culturability, and Effect of Surgical Masks,” 2013.
- [77] N. H. L. Leung *et al.*, “Respiratory virus shedding in exhaled breath and efficacy of face masks,” *Nat. Med.*, vol. 26, no. 5, pp. 676–680, 2020, doi: 10.1038/s41591-020-0843-2.
- [78] H. Ueki *et al.*, “Effectiveness of Face Masks in Preventing Airborne Transmission of SARS-CoV-2,” *mSphere*, vol. 5, no. 5, pp. 2–6, 2020, doi: 10.1128/msphere.00637-20.
- [79] Y. Li *et al.*, “Evidence for probable aerosol transmission of SARS-CoV-2 in a poorly ventilated restaurant,” *medRxiv*, pp. 1–19, 2020, doi: 10.1101/2020.04.16.20067728.
- [80] Y. Shen *et al.*, “Community outbreak investigation of SARS-CoV-2 transmission among bus riders in eastern China,” 2020.
- [81] J. Lu *et al.*, “COVID-19 Outbreak associated with air conditioning in restaurant, Guangzhou, China, 2020.” 2020.
- [82] A. Godio, F. Pace, and A. Vergnano, “Seir modeling of the italian epidemic of sars-cov-2 using computational swarm intelligence,” *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 17, no. 10, 2020, doi: 10.3390/ijerph17103535.
- [83] L. Peng, W. Yang, D. Zhang, C. Zhuge, and L. Hong, “Epidemic analysis of COVID-19 in China by dynamical modeling,” *medRxiv*, no. March, 2020, doi: 10.1101/2020.02.16.20023465.
- [84] C. B. Simón *et al.*, “Modelo para el estudio de la dinámica de transmisión del SARS-COV-2 y la enfermedad del COVID19. Descripción técnica.” pp. 1–11, 2020.
- [85] H. Gutiérrez Pulido and R. de la Vara Salazar, *Análisis y diseño de experimentos*, 2º., vol. 46, no. 5. México D.F.: The McGraw-Hill Companies, 2008.

ANEXO I: FÓRMULAS ANOVA

El análisis de varianza (ANOVA) es la técnica central en el análisis de datos experimentales. La idea general de esta técnica es separar la variación total en las partes con las que contribuye cada fuente de variación en el experimento. En el caso de diseños completamente al azar, se separan la variabilidad debida a los tratamientos y la debida al error. Cuando la primera predomina “claramente” sobre la segunda, es cuando se concluye que los tratamientos tienen efecto o, dicho de otra manera, las medias de los tratamientos son diferentes. Cuando los tratamientos no dominan contribuyen igual o menos que el error, por lo que se concluye que las medias son iguales. El objetivo del análisis de varianza es probar la hipótesis de igualdad de los tratamientos con respecto a la media de la correspondiente variable de respuesta [85].

6.1 Modelo estadístico

En un diseño factorial $a \times b \times c$ como el realizado en el presente trabajo, para se supone que el comportamiento de la respuesta Y puede describirse mediante el modelo de efectos dado por:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_{il} + \beta_{jl} + \gamma_{kl} + (\alpha\beta)_{ijl} + (\alpha\gamma)_{ikl} + (\beta\gamma)_{jkl} + (\alpha\beta\gamma)_{ijkl} + \varepsilon_{ijkl}; \quad (1)$$

$$i = 1, 2, \dots, a; j = 1, 2, \dots, b; k = 1, 2, \dots, c; l = 1, 2, \dots, n$$

donde μ es la media general, α_i es el efecto del nivel i -ésimo del factor A, β_j es el efecto del nivel j del factor B y γ_k es el efecto del nivel k en el factor C; $(\alpha\beta)_{ij}$, $(\alpha\gamma)_{ik}$ y $(\beta\gamma)_{jk}$ representan efectos de interacción dobles (de dos factores) en los niveles ij , ik , jk , respectivamente, y $(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ es el efecto de interacción triple en la combinación o punto ijk ; ε_{ijkl} representa el error aleatorio en la combinación $ijkl$ y l son las repeticiones o réplicas del experimento. Todos los efectos cumplen la restricción de sumar cero, es decir, son desviaciones relacionadas con la media general μ .

6.2 Hipótesis de interés

El estudio factorial de tres factores (A, B y C) permite investigar los efectos: A, B, C, AB, AC, BC y ABC, donde el nivel de desglose o detalle con el que pueden estudiarse depende del número de niveles utilizado en cada factor. Por ejemplo, si un factor se prueba en dos niveles, todo su efecto marginal (individual) es lineal, o sea que su efecto individual no se puede descomponer; pero, si tuviera tres niveles su efecto marginal se puede descomponer en una parte lineal y otra cuadrática pura.

Al efecto cuyo valor-p sea menor al valor especificado para el nivel de significación α establecido arbitrariamente (generalmente entre 0,05 y 0,01), se declara estadísticamente significativo o se dice que está activo. Las sumas de cuadrados son muy similares a las obtenidas para dos factores (ecuación 2); habrá que considerar un subíndice adicional para el tercer factor, y comenzando otra vez por la suma total de cuadrados, estas resultan ser:

$$SC_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^n Y_{ijkl}^2 - \frac{Y_{\dots}^2}{N} \quad (2)$$

donde $N = abc n$ es el total de observaciones en el experimento. Las sumas de cuadrados de efectos son:

$$SC_A = \sum_{i=1}^a \frac{Y_{i\cdot\cdot\cdot}^2}{bcn} - \frac{Y_{\dots}^2}{N}; SC_B = \sum_{j=1}^b \frac{Y_{\cdot j \cdot \cdot}^2}{acn} - \frac{Y_{\dots}^2}{N}; SC_C = \sum_{k=1}^c \frac{Y_{\cdot \cdot k \cdot}^2}{abn} - \frac{Y_{\dots}^2}{N}; \quad (3)$$

$$SC_{AB} = \sum_{l=1}^a \sum_{j=1}^b \frac{\gamma_{ij..}^2}{cn} - \frac{\gamma_{....}^2}{N} - SC_A - SC_B \quad (4)$$

$$SC_{AC} = \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c \frac{\gamma_{i.k.}^2}{bn} - \frac{\gamma_{....}^2}{N} - SC_A - SC_C \quad (5)$$

$$SC_{AC} = \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c \frac{\gamma_{i.k.}^2}{bn} - \frac{\gamma_{....}^2}{N} - SC_A - SC_C \quad (6)$$

$$SC_{ABC} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \frac{\gamma_{ijk.}^2}{n} - \frac{\gamma_{....}^2}{N} - SC_{AB} - SC_{AC} - SC_{BC} \quad (7)$$

Al restar estas del total, la suma de cuadrados del error resulta ser:

$$SC_E = SC_T - SC_A - SC_B - SC_C - SC_{AB} - SC_{AC} - SC_{BC} - SC_{ABC} \quad (8)$$

Toda la información necesaria para calcular el estadístico F_0 hasta llegar al valor-p se escribe en la llamada tabla de análisis de varianza (ANOVA) que se muestra en la Tabla A1-1. En esta tabla, las abreviaturas significan lo siguiente: FV = fuente de variabilidad (efecto), SC = suma de cuadrados, GL = grados de libertad, CM = cuadrado medio, F_0 = estadístico de prueba, valor-p = significancia observada.

FV	SC	GL	CM	F_0	Valor-p
Efecto A	SC_A	$a - 1$	CM_A	CM_A/CM_E	$P(F > F_0^A)$
Efecto B	SC_B	$b - 1$	CM_B	CM_B/CM_E	$P(F > F_0^B)$
Efecto C	SC_C	$c - 1$	CM_C	CM_C/CM_E	$P(F > F_0^C)$
Efecto AB	SC_{AB}	$(a - 1)(b - 1)$	CM_{AB}	CM_{AB}/CM_E	$P(F > F_0^{AB})$
Efecto AC	SC_{AC}	$(a - 1)(c - 1)$	CM_{AC}	CM_{AC}/CM_E	$P(F > F_0^{AC})$
Efecto BC	SC_{BC}	$(b - 1)(c - 1)$	CM_{BC}	CM_{BC}/CM_E	$P(F > F_0^{BC})$
Efecto ABC	SC_{ABC}	$(a - 1)(b - 1)(c - 1)$	CM_{ABC}	CM_{ABC}/CM_E	$P(F > F_0^{ABC})$
Error	SC_E	$abc(n - 1)$	CM_E		
Total	SC_T	$abcn - 1$			

Tabla A1-1 ANOVA. Fuente: [85]

Por último, es importante resaltar que el ANOVA supone que la variable de respuesta se distribuye normal, con varianza constante (los tratamientos tienen varianza similar) y que las mediciones son independientes entre sí. Estos supuestos deben verificarse para estar más seguros de las conclusiones obtenidas.

ANEXO II: TABLAS DE INFECTADOS PARA LAS DIFERENTES INTERACCIONES DE LOS FACTORES

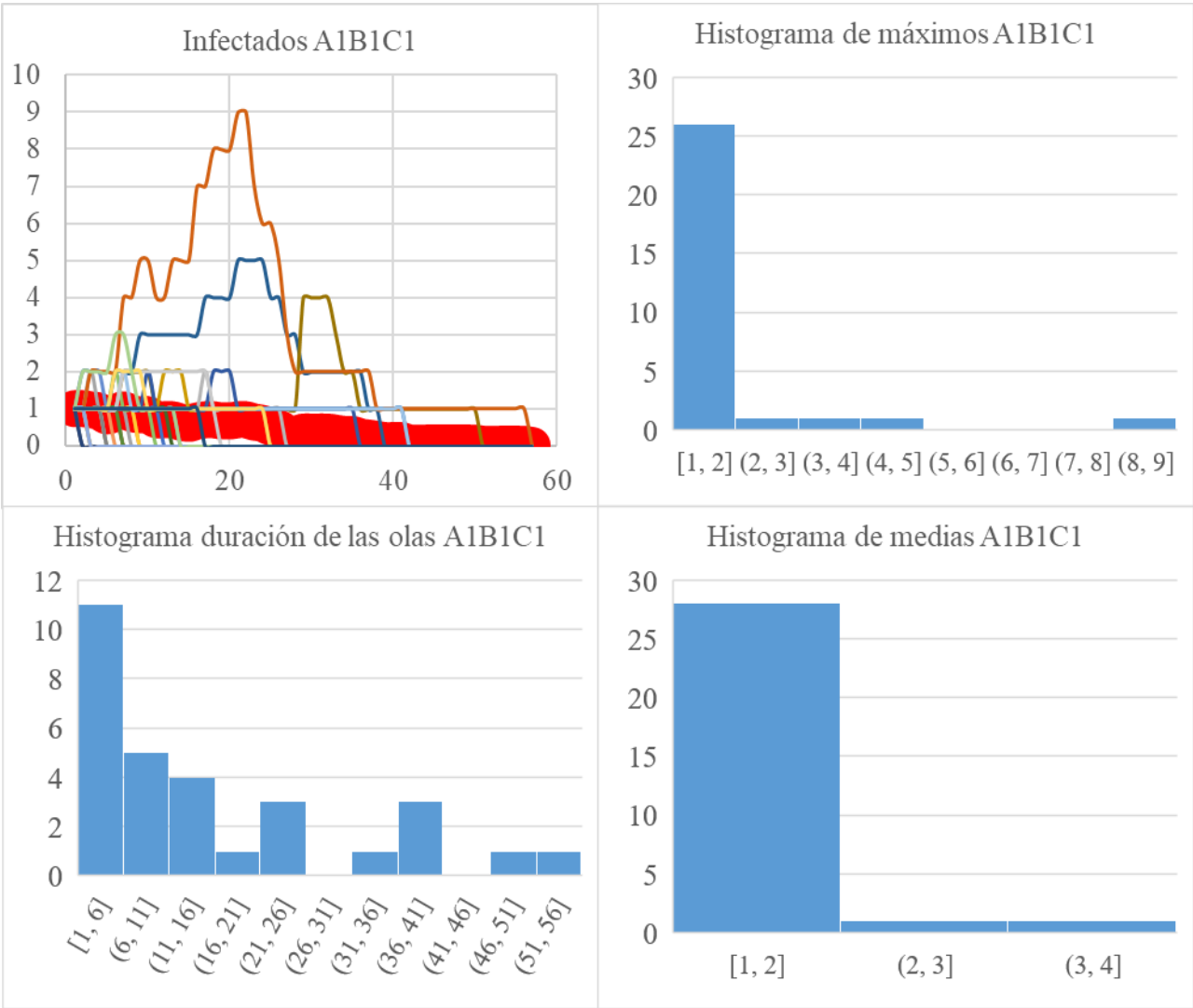


Figura A2-1 Gráficas A1B1C1. Fuente: Elaboración propia

A1B1C1					
<i>Duración =</i>		<i>Media de Infectados =</i>		<i>Máximos =</i>	
Media	16,27	Media	1,21	Media	1,87
Error típico	2,87	Error típico	0,09	Error típico	0,30
Mediana	10,5	Mediana	1	Mediana	1
Moda	4	Moda	1	Moda	1
Desviación estándar	15,73	Desviación estándar	0,49	Desviación estándar	1,66
Varianza de la muestra	247,44	Varianza de la muestra	0,24	Varianza de la muestra	2,74
Curtosis	0,30	Curtosis	9,16	Curtosis	12,01
Coeficiente de asimetría	1,16	Coeficiente de asimetría	3,05	Coeficiente de asimetría	3,21
Rango	55	Rango	2,09	Rango	8
Mínimo	1	Mínimo	1	Mínimo	1
Máximo	56	Máximo	3,09	Máximo	9
Suma	488	Suma	36,45	Suma	56
Cuenta	30	Cuenta	30	Cuenta	30

Tabla A2-1 Estadística descriptiva A1B1C1. Fuente: Excel

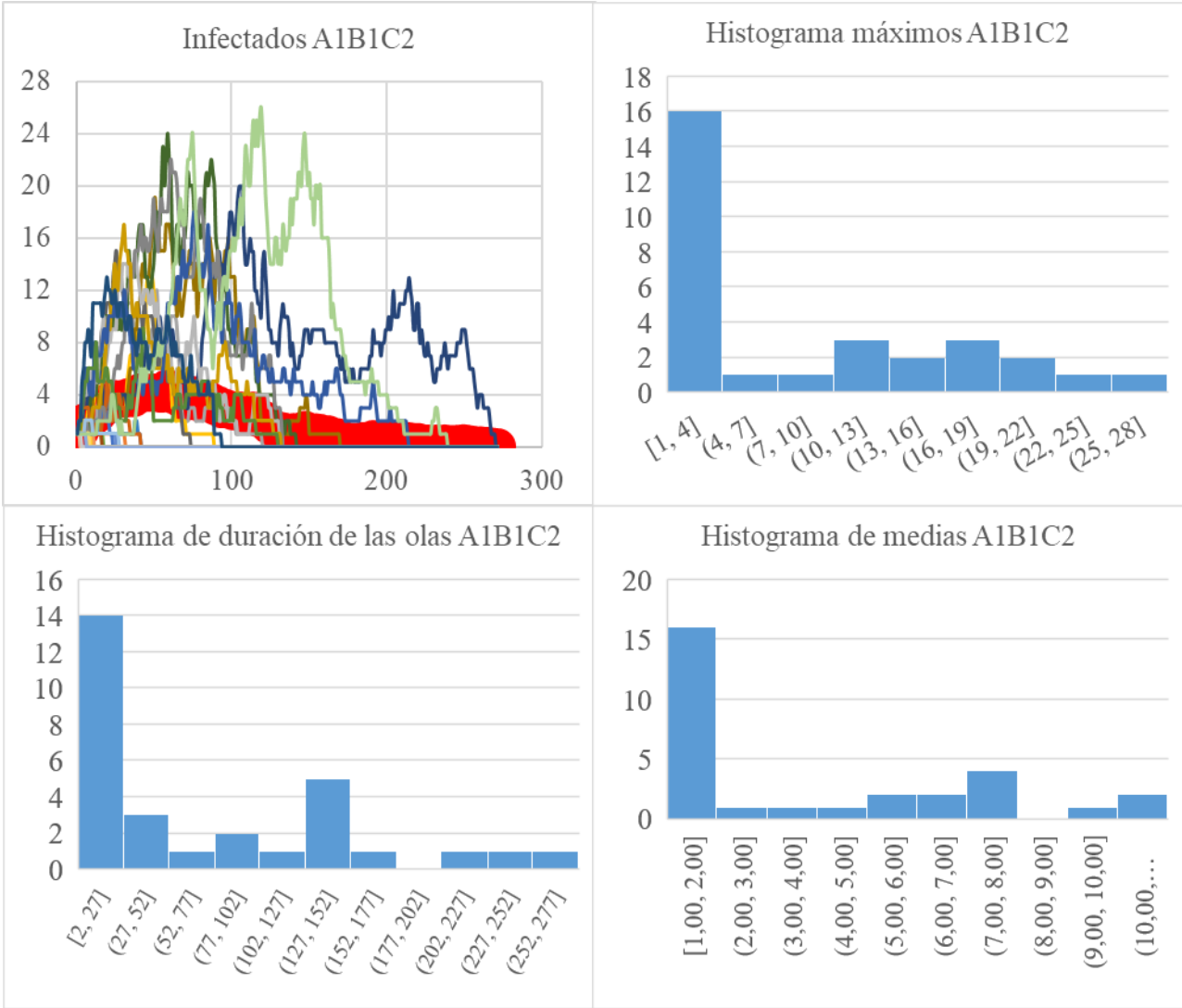


Figura A2-2 Gráficas A1B1C2. Fuente: Elaboración propia

A1B1C2					
<i>Duración =</i>		<i>Media de Infectados =</i>		<i>Máximos =</i>	
Media	73,43	Media	3,75	Media	8,57
Error típico	14,10	Error típico	0,59	Error típico	1,53
Mediana	36	Mediana	1,62	Mediana	3,50
Moda	132	Moda	1	Moda	1
Desviación estándar	77,24	Desviación estándar	3,24	Desviación estándar	8,38
Varianza de la muestra	5965,29	Varianza de la muestra	10,52	Varianza de la muestra	70,19
Curtosis	0,19	Curtosis	-0,85	Curtosis	-1,04
Coeficiente de asimetría	1,05	Coeficiente de asimetría	0,79	Coeficiente de asimetría	0,68
Rango	267	Rango	9,59	Rango	25
Mínimo	2	Mínimo	1	Mínimo	1
Máximo	269	Máximo	10,59	Máximo	26
Suma	2203	Suma	112,63	Suma	257
Cuenta	30	Cuenta	30	Cuenta	30

Tabla A2-2 Estadística descriptiva A1B1C2. Fuente: Excel

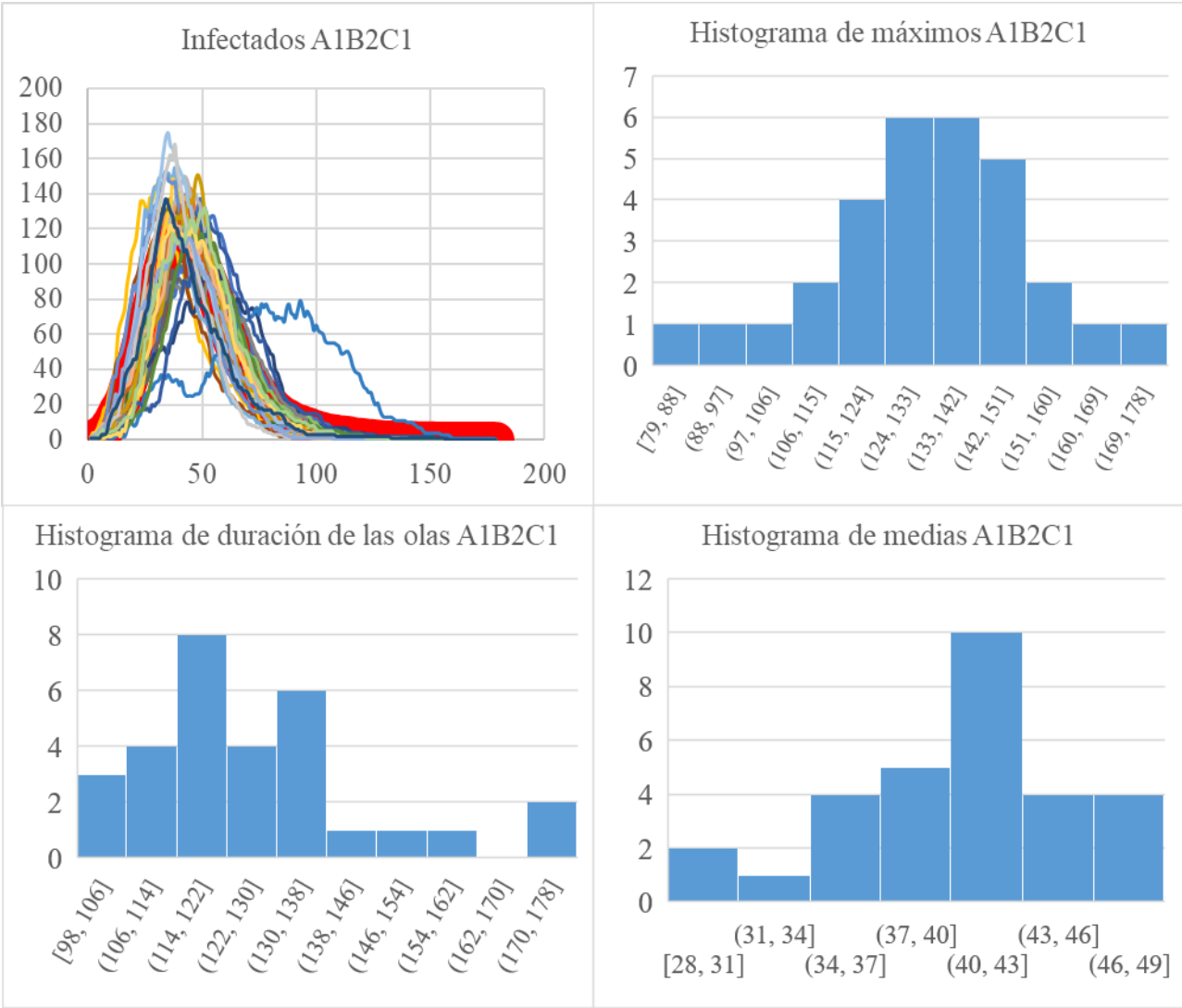


Figura A2-3 Gráficas A1B2C1. Fuente: Elaboración propia

A1B2C1					
<i>Duración =</i>		<i>Media de Infectados =</i>		<i>Máximo =</i>	
Media	127,23	Media	40,34	Media	132,67
Error típico	3,54	Error típico	0,88	Error típico	3,66
Mediana	124	Mediana	41,09	Mediana	133,50
Moda	133	Moda	42,12	Moda	137
Desviación estándar	19,38	Desviación estándar	4,84	Desviación estándar	20,07
Varianza de la muestra	375,43	Varianza de la muestra	23,43	Varianza de la muestra	402,85
Curtosis	1,57	Curtosis	0,42	Curtosis	1,05
Coeficiente de asimetría	1,14	Coeficiente de asimetría	-0,71	Coeficiente de asimetría	-0,43
Rango	80	Rango	19,18	Rango	96
Mínimo	98	Mínimo	28,34	Mínimo	79
Máximo	178	Máximo	47,52	Máximo	175
Suma	3817	Suma	1210,18	Suma	3980
Cuenta	30	Cuenta	30	Cuenta	30

Tabla A2-3 Estadística descriptiva A1B2C1. Fuente: Excel

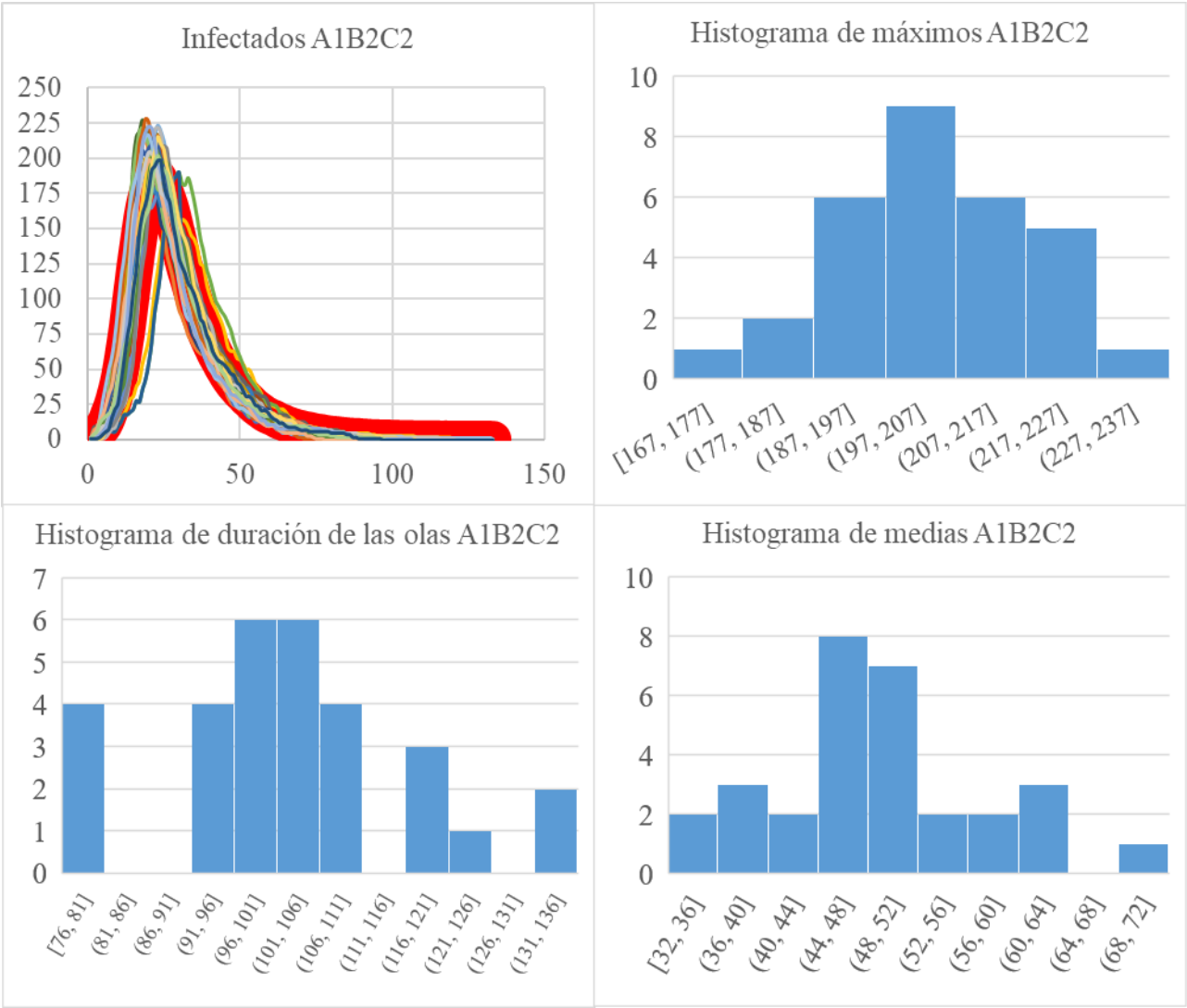


Figura A2-4 Gráficas A1B2C2. Fuente: Elaboración propia

A1B2C2					
<i>Duración =</i>		<i>Media de Infectados =</i>		<i>Máximo =</i>	
Media	102,87	Media	49,11	Media	204,10
Error típico	2,63	Error típico	1,59	Error típico	2,78
Mediana	102,50	Mediana	48,45	Mediana	202,50
Moda	106	Moda	48,50	Moda	190
Desviación estándar	14,42	Desviación estándar	8,71	Desviación estándar	15,22
Varianza de la muestra	208,05	Varianza de la muestra	75,86	Varianza de la muestra	231,54
Curtosis	0,14	Curtosis	0,11	Curtosis	-0,43
Coeficiente de asimetría	0,04	Coeficiente de asimetría	0,37	Coeficiente de asimetría	-0,28
Rango	56	Rango	37,95	Rango	61
Mínimo	76	Mínimo	32,25	Mínimo	167
Máximo	132	Máximo	70,20	Máximo	228
Suma	3086	Suma	1473,20	Suma	6123
Cuenta	30	Cuenta	30	Cuenta	30

Tabla A2-4 Estadística descriptiva A1B2C2. Fuente: Excel

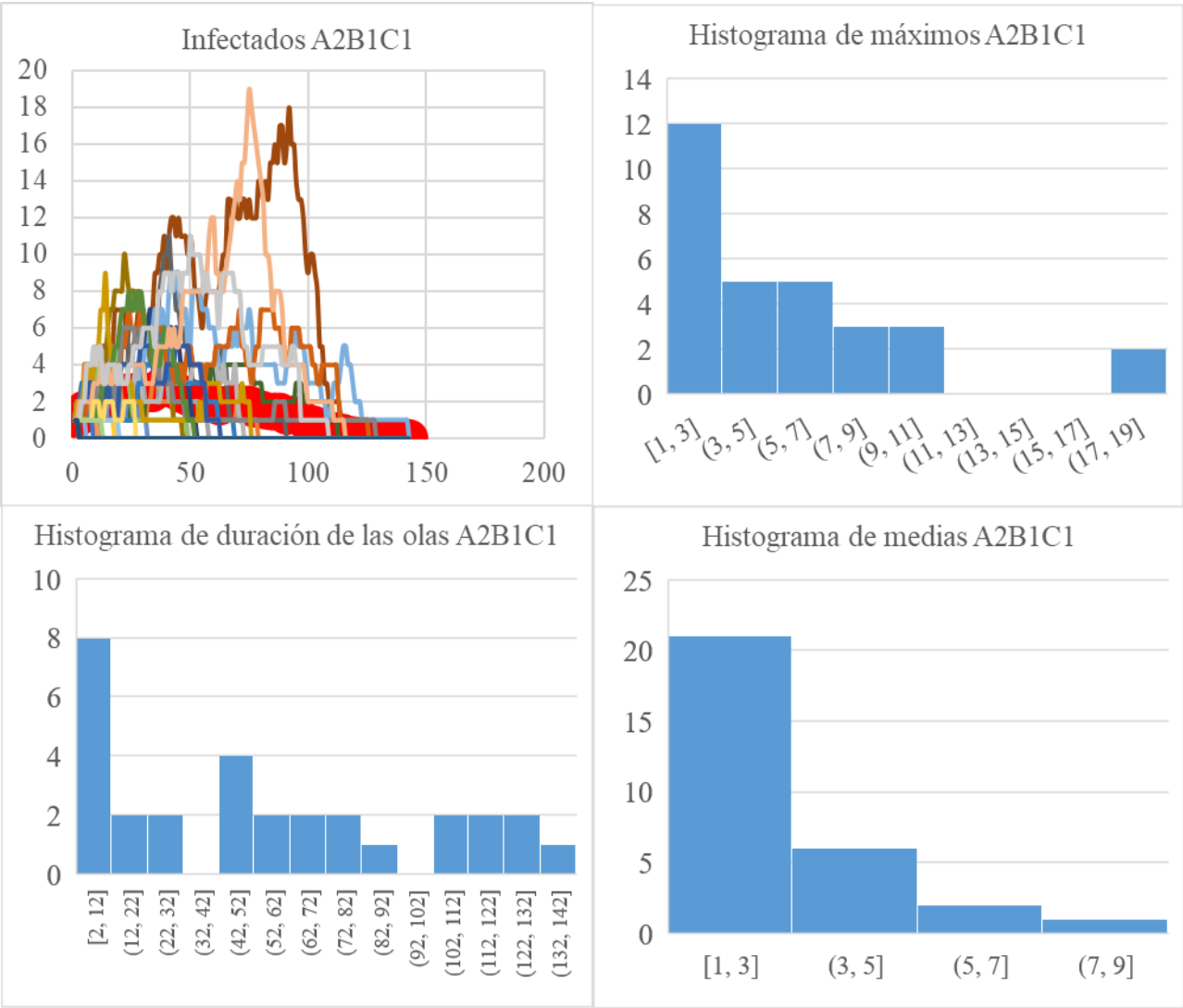


Figura A2-5 Gráficas A2B1C1. Fuente: Elaboración propia

A2B1C1					
<i>Duración =</i>		<i>Media de Infectados =</i>		<i>Máximo =</i>	
Media	56,57	Media	2,62	Media	5,60
Error típico	8,03	Error típico	0,33	Error típico	0,87
Mediana	51,50	Mediana	2,13	Mediana	5
Moda	10	Moda	1	Moda	1
Desviación estándar	43,99	Desviación estándar	1,82	Desviación estándar	4,78
Varianza de la muestra	1935,22	Varianza de la muestra	3,31	Varianza de la muestra	22,87
Curtosis	-1,11	Curtosis	3,14	Curtosis	1,72
Coeficiente de asimetría	0,41	Coeficiente de asimetría	1,62	Coeficiente de asimetría	1,31
Rango	140	Rango	7,71	Rango	18
Mínimo	2	Mínimo	1	Mínimo	1
Máximo	142	Máximo	8,71	Máximo	19
Suma	1697	Suma	78,67	Suma	168
Cuenta	30	Cuenta	30	Cuenta	30

Tabla A2-5 Estadística descriptiva A2B1C1. Fuente: Excel

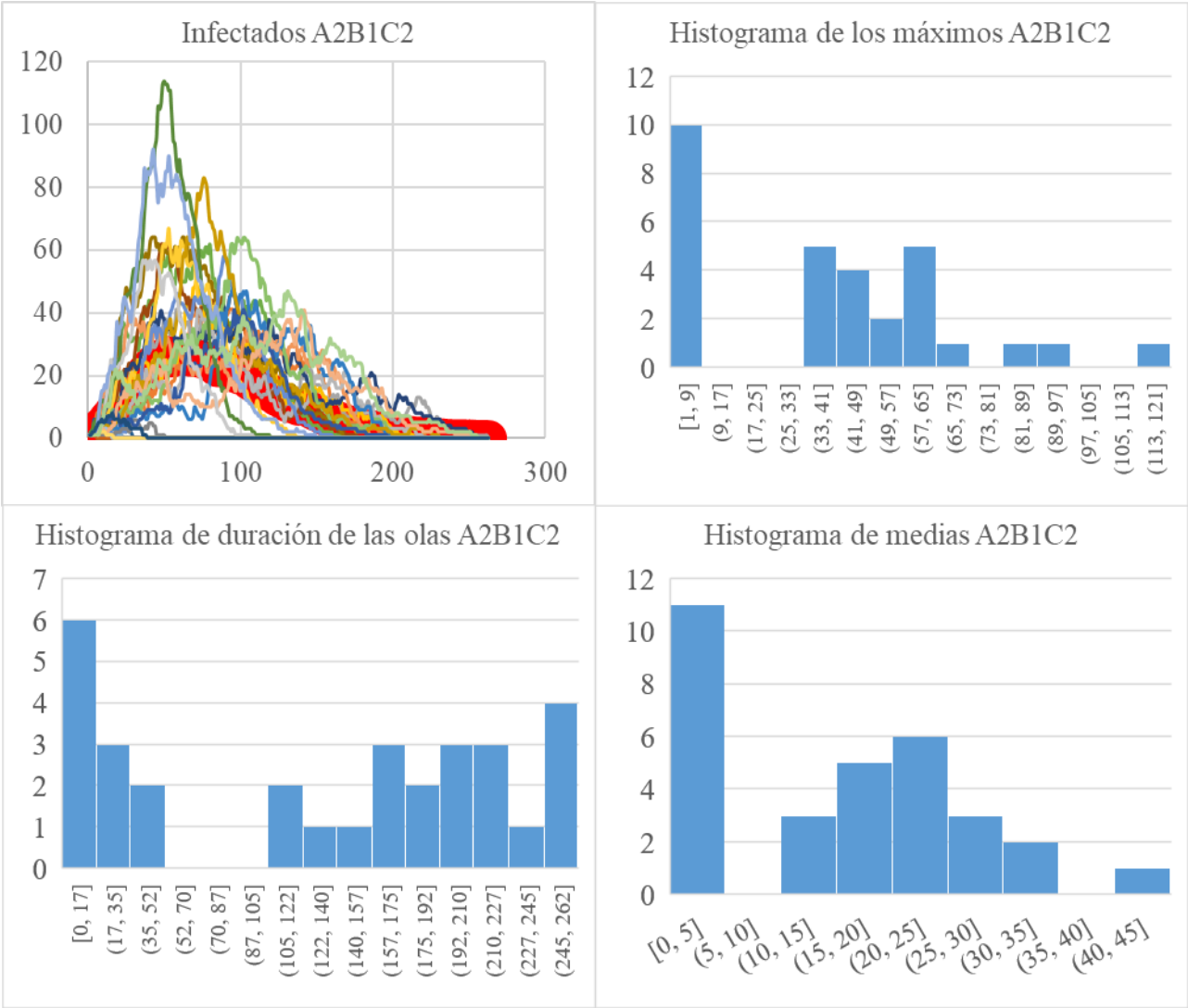


Figura A2-6 Gráficas A2B1C2. Fuente: Elaboración propia

A2B1C2					
<i>Duración =</i>		<i>Medias de infectados =</i>		<i>Máximo =</i>	
Media	136,37	Media	15,81	Media	39,80
Error típico	16,68	Error típico	2,10	Error típico	5,57
Mediana	163,50	Mediana	17,95	Mediana	42
Moda	22	Moda	1	Moda	41
Desviación estándar	91,37	Desviación estándar	11,48	Desviación estándar	30,53
Varianza de la muestra	8348,52	Varianza de la muestra	131,72	Varianza de la muestra	931,89
Curtosis	-1,49	Curtosis	-0,85	Curtosis	-0,37
Coeficiente de asimetría	-0,28	Coeficiente de asimetría	0,13	Coeficiente de asimetría	0,31
Rango	257	Rango	39,99	Rango	113
Mínimo	5	Mínimo	1	Mínimo	1
Máximo	262	Máximo	40,99	Máximo	114
Suma	4091	Suma	474,24	Suma	1194
Cuenta	30	Cuenta	30	Cuenta	30

Tabla A2-6 Estadística descriptiva A2B1C2. Fuente: Excel

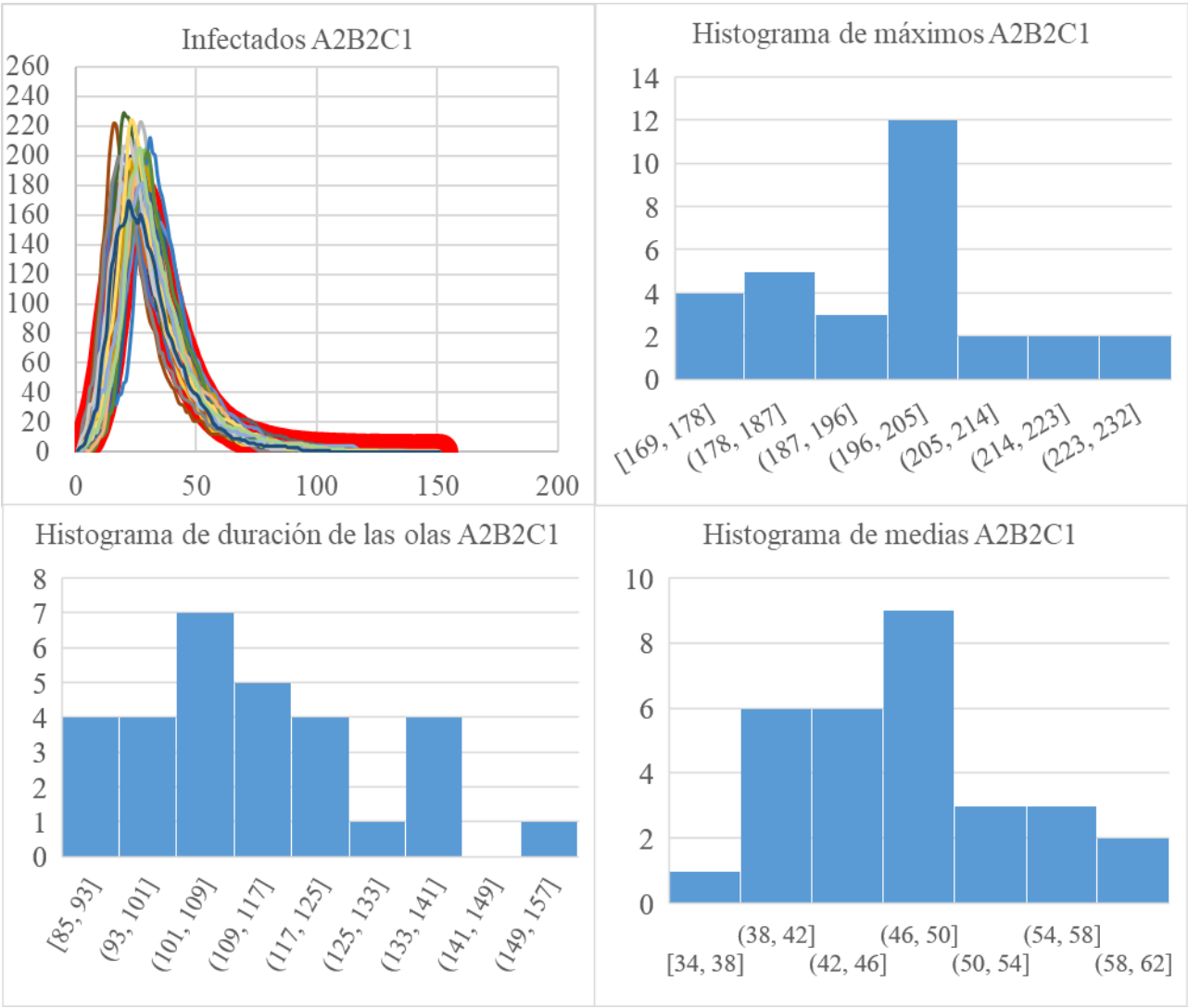


Figura A2-7 Gráficas A2B2C1. Fuente: Elaboración propia

A2B2C1					
<i>Duración =</i>		<i>Media de Infectados =</i>		<i>Máximos =</i>	
Media	111,90	Media	46,67	Media	197,07
Error típico	2,97	Error típico	1,16	Error típico	2,92
Mediana	110	Mediana	46,38	Mediana	198,50
Moda	96	Moda	46	Moda	203
Desviación estándar	16,28	Desviación estándar	6,33	Desviación estándar	16,00
Varianza de la muestra	265,13	Varianza de la muestra	40,06	Varianza de la muestra	256,00
Curtosis	-0,35	Curtosis	-0,43	Curtosis	-0,47
Coeficiente de asimetría	0,52	Coeficiente de asimetría	0,24	Coeficiente de asimetría	0,12
Rango	65	Rango	25,12	Rango	60
Mínimo	85	Mínimo	33,88	Mínimo	169
Máximo	150	Máximo	59	Máximo	229
Suma	3357	Suma	1400,19	Suma	5912
Cuenta	30	Cuenta	30	Cuenta	30

Tabla A2-7 Estadística descriptiva A2B2C1. Fuente: Excel

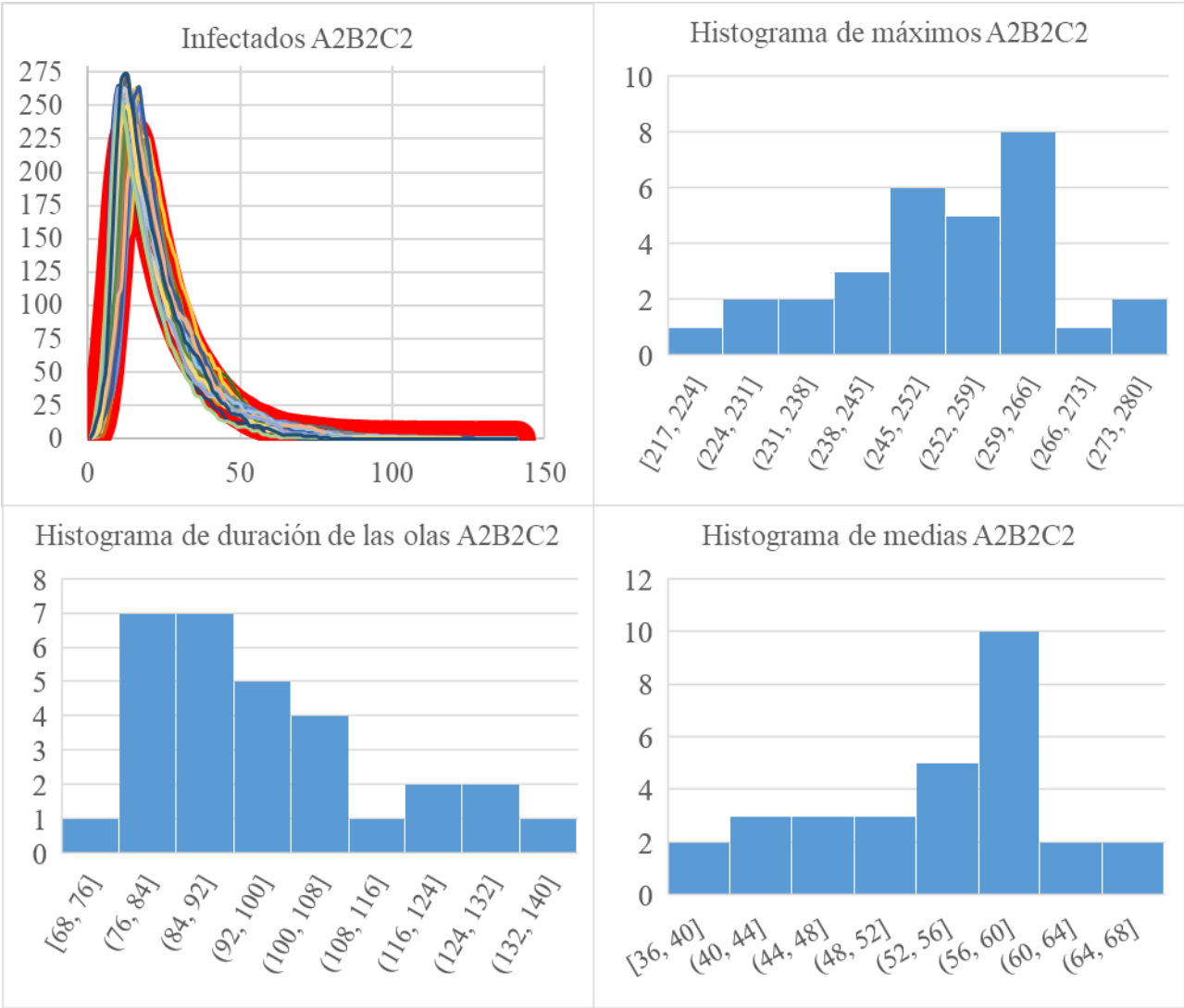


Figura A2-8 Gráficas A2B2C2. Fuente: Elaboración propia

A2B2C2					
<i>Duración =</i>		<i>Media de Infectados =</i>		<i>Máximo =</i>	
Media	96,33	Media	53,44	Media	251,97
Error típico	3,11	Error típico	1,45	Error típico	2,53
Mediana	92	Mediana	55,57	Mediana	253
Moda	86	Moda	263	Moda	263
Desviación estándar	17,04	Desviación estándar	7,92	Desviación estándar	13,88
Varianza de la muestra	290,37	Varianza de la muestra	62,72	Varianza de la muestra	192,59
Curtosis	0,24	Curtosis	-0,28	Curtosis	0,08
Coeficiente de asimetría	0,89	Coeficiente de asimetría	-0,45	Coeficiente de asimetría	-0,52
Rango	72	Rango	31,37	Rango	57
Mínimo	68	Mínimo	36,11	Mínimo	217
Máximo	140	Máximo	67,49	Máximo	274
Suma	2890	Suma	1603,18	Suma	7559
Cuenta	30	Cuenta	30	Cuenta	30

Tabla A2-8 Estadística descriptiva A2B2C2. Fuente: Excel

ANEXO III: ENCUESTA TASA DE CONTACTO MEDIA



Figura A3-1 Encuesta de contactos cercanos. Fuente: Google

Esta encuesta ha sido realizada a la primera, segunda, tercera y cuarta brigada de la Escuela Naval Militar, obteniendo una participación total de 92 alumnos. Como se puede observar se puede establecer en 8 personas el círculo cercano de cada alumno.