

Tabla de parámetros y valores para modelado (Social Force Model en supermercado COVID-19)

Característica	Valor / Rango estimado	Fuente	Uso en simulación
1. Porcentaje de casos asintomáticos y contagiosidad	<p>≈30–40% de los infectados son asintomáticos (meta-análisis: ~33%) ¹ .</p> <p>Transmisibilidad de asintomáticos es menor: alrededor del 25–50% de la de un caso sintomático ² (estudios estiman 3–4 veces menos contagiosos). Por ejemplo, tasa de ataque secundaria ~13% si el caso índice es asintomático vs 18% si es sintomático ³ .</p>	Oran <i>et al.</i> , 2021 (Ann. Int. Med.) ¹ ; Methi <i>et al.</i> , 2022 ³ ² .	Define la proporción de agentes “asintomáticos” en el modelo (~1/3 del total) y se ajusta su factor de contagio (p. ej. la probabilidad de infectar a otros) a ~0.3–0.5 veces la de un sintomático. Esto refleja que muchos infectados no muestran síntomas y contagian menos, pero no cero, lo cual es clave para simular transmisión oculta en la tienda.
2. Tasa de detección por métodos convencionales (filtro de entrada: control de temperatura, síntomas, etc.)	<p>Muy baja sensibilidad: detecta solo un 5%–40% de casos.</p> <p>Ejemplos: un control de temperatura con umbral 37.8 °C solo identifica ~4.8% de positivos ⁴ ; registrar historia de fiebre ~14.8% ⁵ . Aún combinando síntomas, la sensibilidad máxima ronda 30–40% ⁶ .</p> <p>Controles de fiebre estándar (≥38 °C) captan ~19% de infectados con PCR positiva ⁶ .</p>	Nuertey <i>et al.</i> , 2021 (PLOS ONE) ⁵ ⁴ ; Chamoures <i>et al.</i> , 2021 (BMC Public Health) ⁶ .	Indica la eficacia de filtros de entrada en el modelo: solo ~1 de cada 5–10 infectados es detectado y excluido al ingreso. En la simulación, a los agentes infectados se les asigna una probabilidad baja (~0.2 o menos) de ser identificados y rechazados al entrar (emulando control de temperatura/síntomas), dejando pasar a la mayoría inadvertidos.

Característica	Valor / Rango estimado	Fuente	Uso en simulación
3. Efecto de rechazar entrada a infectados en la tasa de ataque secundaria	Evitar la entrada de un infectado previene sus contagios potenciales. En contactos cercanos, un infectado puede infectar en promedio a ~15-20% de sus contactos (tasa de ataque) ³ . Por tanto, cada caso detectado y excluido podría reducir ese número de contagios secundarios (evita ~0.2 infecciones por cliente infectado en promedio). Si el caso era sintomático (más contagioso), la prevención es mayor (ataque ~18%); en asintomáticos (~13%) algo menor ³ .	Methi <i>et al.</i> , 2022 (BMC Medicine, datos de <i>contact tracing</i>) ³ .	Sirve para modelar el beneficio de los filtros : al “eliminar” un agente infectado, se puede descontar la cantidad de contagios que este habría causado en el supermercado. En términos de simulación, se reduce proporcionalmente el número esperado de nuevas infecciones (~0.2 menos por cada infectado no admitido). Esto permite cuantificar la reducción de la tasa de ataque secundaria global cuando hay control en la entrada.
4. Tamaño óptimo de grupos de ingreso (clientes simultáneos)	Mínimo posible. Se recomienda 1 persona por grupo familiar (evitar que vayan varios de la misma familia) ⁷ . En la práctica, supermercados limitaron la entrada en pequeños lotes : p. ej. una cadena permitió grupos de ≈50 clientes máximo en tienda ⁷ para mantener la distancia (~1 m entre personas). Normativas de aforo sugieren ~5 m² por persona (≈20% del aforo normal) ⁸ , lo que equivale a un grupo reducido entrando por turno.	El País (noticia, 17 Mar 2020) ⁷ ; Gobierno Sint Maarten, 2020 ⁸ .	En la simulación, se controla la tasa de ingreso de agentes: entrada escalonada en grupos pequeños para evitar aglomeraciones. Se puede implementar permitiendo el ingreso de, por ejemplo, 50 personas y obligando a esperar al resto hasta que salgan compradores (simulando un aforo máximo). Además, cada “grupo” de entrada se puede espaciar en el tiempo para minimizar contactos entre grupos distintos.

Característica	Valor / Rango estimado	Fuente	Uso en simulación
5. Movimiento no aleatorio de clientes (trayectorias típicas)	Los compradores siguen patrones predecibles en la tienda: No recorren todos los pasillos de forma sistemática, sino solo algunos “selectivos” y con recorridos parciales. Suelen entrar unos metros en un pasillo y regresar sin cruzarlo completo ⁹ . Prefieren circular en sentido antihorario por el perímetro (“carril perimetral”) de la tienda ¹⁰ , usando ese circuito como vía principal y haciendo incursiones breves a los pasillos. Además, aceleran el paso hacia el final de la compra (al acercarse a cajas/salida) ¹¹ .	Larson, Bradlow & Fader, 2005 (datos RFID en supermercado) ⁹ ¹⁰ .	Se configura el modelo para que los agentes no deambulen al azar, sino que sigan trayectorias tipo : por ejemplo, moverse a lo largo del perímetro en una dirección preferente (antihoraria), con destinos específicos en algunos pasillos (puntos de interés) y retornos sin recorrer el pasillo completo. También se puede aumentar gradualmente su velocidad al final de la simulación (simulando que hacen compras rápidas al final). Estos patrones mejoran el realismo de los flujos y aglomeraciones en secciones típicas (p. ej. zonas populares vs. pasillos poco transitados).

Característica	Valor / Rango estimado	Fuente	Uso en simulación
6. Efectividad de las mascarillas (con y sin distanciamiento)	<p>Muy alta cuando se usan correctamente: una mascarilla quirúrgica bien ajustada reduce la emisión de virus del portador infectado en hasta ≈95% ¹² (efecto fuente), y protege al sano que la porta con una eficacia de ≈85% ¹³ frente a inhalar virus. Si <i>ambas</i> personas llevan mascarilla, la reducción combinada del riesgo de transmisión es sobresaliente (producto de ambas eficacias, p. ej. ~97% menos riesgo).</p> <p>Sin distancia física, la mascarilla sigue aportando protección significativa (bloquea gotas/aerosoles), aunque mantener $\geq 1-2$ m mejora el efecto. Un estudio observacional halló un 62% menos riesgo de COVID-19 entre quienes “siempre” usaban mascarilla, incluso en comunidades con poco distanciamiento ¹⁴.</p>	Catching <i>et al.</i> , 2021 (Sci. Reports) ¹² ¹³ ; Kwon <i>et al.</i> , 2021 (medRxiv/Nature) ¹⁴ .	En el modelo, a los agentes se les asigna un factor de transmisión reducido si portan mascarilla. Por ejemplo, un contacto cercano entre personas con mascarilla tiene solo ~5–15% de la probabilidad de contagio de un contacto sin protección. Esto se puede implementar reduciendo la tasa de emisión y/o de susceptibilidad en la función de contagio. Se pueden simular escenarios “con mascarilla universal”, “sin mascarilla” o “cumplimiento parcial” ajustando el porcentaje de agentes con esta reducción de transmisión, y combinándolo con la distancia: si además mantienen 2 m, prácticamente se eliminan contagios directos por gotas.

Característica	Valor / Rango estimado	Fuente	Uso en simulación
7. Radio de infección efectivo (SARS-CoV-2)	<p>Depende del tipo de emisión: las gotículas pesadas caen en ~1–2 m, mientras que los aerosoles finos pueden viajar varios metros en el aire interior. Se estima un rango de 1 hasta ~8 metros para partículas con virus en espacios cerrados sin ventilación ¹⁵. En práctica, la probabilidad de contagio cae mucho más allá de ~2 m, pero en ambiente tranquilo aerosoles infecciosos han sido detectados a >7 m. Las recomendaciones típicas (distancia de “seguridad”) usan 1.5–2 m como radio efectivo para gotículas.</p>	<p>Catching <i>et al.</i>, 2021 ¹⁵ ; CDC/OMS (distanciamiento $\geq 1-2$ m).</p>	<p>En la simulación, este parámetro define el alcance de interacción infecciosa: si un agente infectado está a menos de ~2 m de otro susceptible durante cierto tiempo, existe probabilidad de transmisión (por gotas). También se puede incorporar un radio mayor (varios metros) con probabilidad muy reducida, representando aerosoles flotantes. Por ejemplo, usar ~2 m como radio principal para eventos de contagio directo, y un factor de riesgo ambiente global para contaminación aérea en todo el local (especialmente si ventilación pobre), calibrado para distancias mayores.</p>

Característica	Valor / Rango estimado	Fuente	Uso en simulación
8. Impacto de la inmunidad (vacunación/recuperación) en R_0	<p>La inmunidad (por vacuna o infección pasada) reduce proporcionalmente la transmisibilidad en la población. En teoría, si una fracción p de la población es inmune, el R_0 efectivo se reduce a $R_0(1-p)$. <i>Ejemplo: con $R_0 \approx 3$, se requiere ~67% inmune para R efectivo ≈ 1 ¹⁶ ¹⁷ (umbral de “inmunidad de rebaño”). Con R_0 más alto (p. ej. 5–6), haría falta >80%. Las primeras vacunas presentaron eficacia ~90% en prevenir enfermedad, ~50–80% en prevenir contagio, por lo que un 100% vacunados (90% eficaces)* equivale aproximado a 90% inmunes para efectos de transmisión. Cada 10% adicional de cobertura inmune reduce R efectivo en orden del 10%.</i></p>	<p>“R_0 and impact on vaccination” (Alimohamadi et al., 2020) ¹⁸ ¹⁶ ; modelos SIR básicos.</p>	<p>En el modelo, se puede implementar asignando a cada agente inmune (vacunado/recuperado) una susceptibilidad reducida (casi 0 si se asume inmunidad completa) y/o una infecciosidad nula (no se reinfecta ni transmite). Al iniciar la simulación, una proporción de agentes se marca como “inmunes” (no susceptibles). Esto reduce el R efectivo proporcionalmente. Sirve para analizar escenarios de vacunación: p. ej., comparar propagación con 0%, 50%, 80% de población inmune. Un porcentaje alto de inmunes debe resultar en un R efectivo < 1, frenando la cadena de contagios en la simulación.</p>

Característica	Valor / Rango estimado	Fuente	Uso en simulación
9. Dinámica de interacción en burbujas sociales (grupos familiares)	<p>Dentro de un núcleo familiar o “burbuja”, no hay distanciamiento y el contacto es muy frecuente. Esto conlleva tasas de contagio internas altas: meta-análisis estiman una tasa de ataque secundaria en hogares ~19% (casi 1 de cada 5) ¹⁹, llegando a ~43% de contagio al cónyuge ²⁰ (contacto más cercano), comparado con ~15% entre otros parientes. Es decir, si un miembro se infecta, la probabilidad de infectar a los demás en casa es ~20–40%. En cambio, entre diferentes burbujas (p. ej. extraños en tienda) el contacto cercano es más ocasional.</p>	<p>Madewell <i>et al.</i>, 2020 (meta-r análisis, <i>Household SAR</i>) ¹⁹ ²⁰.</p>	<p>Para la simulación, los miembros de una misma burbuja pueden agruparse y moverse juntos como una sola unidad (manteniendo entre ellos distancias muy cortas, p. ej. 0.5 m, ignorando la regla de 2 m). No se aplican fuerzas de repulsión dentro del grupo familiar. Además, en caso de infección, se puede asumir que dentro del grupo el contagio es casi seguro tras cierto tiempo (o asignar una probabilidad alta ~20–40% por contacto continuo). Esto modela que familiares comprando juntos actúan como un “super-agente”: no se contagian entre sí en la tienda (ya conviven), pero incrementan el riesgo de brote intra-hogar si uno se infectó fuera. Permite también evaluar beneficio de aconsejar que solo vaya 1 por familia (evitar introducir 2–3 personas susceptibles adicionales que interactúan con otros).</p>

Característica	Valor / Rango estimado	Fuente	Uso en simulación
10. Eficiencia de personal sanitario/ supervisor para reducir contagios	<p>Supervisión activa mejora notablemente el cumplimiento de medidas y la respuesta ante incidencias. Por ejemplo, con vigilancia se puede lograr ~100% de uso de mascarilla (vs quizá 70% sin supervisión), lo que aumenta la reducción efectiva de contagios en la tienda (~30% menos transmisión en comparación con cumplimiento parcial) ¹² . Asimismo, en entornos controlados con alta supervisión se han evitado completamente ciertos contagios (p. ej. ningún contagio cruzado entre huéspedes en hoteles de cuarentena con protocolos estrictos) ²¹ . Modelos indican que incluso con medidas rigurosas, si la adherencia es baja no se logra controlar: se requiere al menos ~50% de cumplimiento para que R baje de 1 ²² . El personal de control puede asegurar que se supere ese umbral (recordando distancia, corrigiendo uso de mascarilla, limitando aglomeraciones).</p>	<p>Catching <i>et al.</i>, 2021 ¹² ; (Ej. medidas cuarentena, informe gubernamental) ²¹ ; Mukerjee <i>et al.</i>, 2021 (PLOS ONE) ²² .</p>	<p>En la simulación, la presencia de personal de seguridad/ sanitario se puede modelar incrementando parámetros de cumplimiento: p. ej. forzar que casi todos los agentes lleven mascarilla (se aplica el factor de protección a ~100% en vez de 70%), y que mantengan la distancia (menos violaciones de la distancia mínima). También se puede introducir una lógica de “corrección”: si un agente infringe las normas (muy cercano a otro, sin mascarilla), el supervisor interviene – en el modelo, esto podría reflejarse en forzar separación de esos agentes o reducir su velocidad (recordatorio) en ese momento. En resumen, el efecto cuantitativo es que se aproxima el escenario de adherencia perfecta, reduciendo sustancialmente las oportunidades de contagio que en un escenario de cumplimiento parcial sí ocurrirían.</p>

Característica	Valor / Rango estimado	Fuente	Uso en simulación
11. Límites de aforo recomendados (densidad de ocupación)	<p>Las guías sugieren limitar la densidad de personas para permitir distancia. Una regla común: $\geq 5 \text{ m}^2$ por persona en tiendas ⁸ (equivalente a $\sim 0,2 \text{ personas/m}^2$, aproximadamente 20–25% del aforo normal, asumiendo ~ 1 persona por cada $1\text{--}2 \text{ m}^2$ en tiempos pre-COVID). Muchos países impusieron aforos del 30%–50%. Por ejemplo, Lidl España limitó su aforo a 50 clientes simultáneamente por tienda mediana ⁷, junto con 1 persona por familia, para evitar aglomeraciones y garantizar $\sim 1 \text{ m}$ de separación mínima.</p>	<p>Sint Maarten Gov. (Medidas 2020) ⁸; El País, 2020 ⁷.</p>	<p>En el modelo, esto establece el número máximo de agentes presentes en el supermercado a la vez. Se puede implementar como una restricción en la entrada: no generar nuevos agentes si el conteo actual \geq aforo máximo. También influye en la densidad para las fuerzas de interacción del SFM: con menor densidad (espacio por persona), las fuerzas de repulsión interpersonales se activan con menos frecuencia (menos choques), reflejando que es más fácil mantener la distancia. El aforo limitado reduce la probabilidad de contactos cercanos concurrentes en la simulación, disminuyendo la tasa de encuentros susceptibles-infectados por unidad de tiempo.</p>

12. Influencia de la ventilación y temperatura en transmisión aérea

Ventilación: Una buena ventilación reduce la concentración de aerosol viral. Se cuantifica en **renovaciones de aire por hora (ACH)**: estudios de dinámica de fluidos muestran que aumentar la ventilación de **2 ACH a 8 ACH** (ejemplo: de pobre a óptima) puede **reducir ~70%** la cantidad de partículas inhaladas y el riesgo de contagio por aerosoles

²³ . **Temperatura/ambiente:** El virus sobrevive menos en condiciones cálidas y con luz UV. En experimentos, a **40 °C** con alta radiación solar simulada, el 90% del virus en aerosol se inactivó en **~4.8 minutos**; bajo condiciones típicas **interiores** (20°C, poca humedad, sin luz solar), tomaría **>2 horas** lograr el mismo 90% de decaimiento ²⁴ ²⁵ . Es decir, espacios cerrados, frescos y mal ventilados permiten que aerosoles infecciosos persistan por horas, mientras que calor/sol aceleran su eliminación.

Kohanski et al. 2020, Bazant & Bush 2021 (modelos de ventilación); CFD study (2021) ²³ ; Schuit *et al.*, 2020 (Aerosol Sci. Tech.) ²⁵ .

Para simular esto: se ajusta un **factor de dispersión/decaimiento** de aerosoles en el ambiente. Con ventilación alta (ACH elevado), el modelo puede reducir la concentración viral ambiental o acortar el “tiempo de vida” de partículas (p. ej., aumentar la tasa de decaimiento exponencial de aerosoles, de forma que pocas partículas permanezcan después de minutos). En escenarios de mala ventilación, las partículas emitidas por un infectado permanecen más tiempo y viajan más lejos, aumentando la probabilidad de infecciones a distancia. También se puede introducir una dependencia de la tasa de contagio ambiental con la temperatura: en ambientes cálidos/soleados (simulación al aire libre o con irradiación UV), reducir la probabilidad de transmisión vía aerosol; en ambientes fríos cerrados, incrementarla. Esto permitirá ver en la simulación cómo una mejora de ventilación (e.g. de 2 a 8 ACH)

Característica	Valor / Rango estimado	Fuente	Uso en simulación
			reduce notablemente los contagios aerosolizados, y cómo condiciones adversas pueden causar eventos de “superpropagación” por aerosoles acumulados.

13. Impacto del cumplimiento parcial de medidas en efectividad global

Si la población **no cumple totalmente** las medidas, la efectividad combinada cae de forma **cuadrática** aproximadamente. Ejemplo: una medida que individualmente reduciría 50% el riesgo (0.5 de eficacia, como mascarilla moderada) pero que solo adopta el **50%** de la gente, logra en conjunto solo **~25%** de reducción del contagio ($0.5 * 0.5$) – insuficiente para controlar un brote. Estudios indican que para **doblegar** la curva ($R < 1$) se necesita un **alto nivel de cumplimiento** simultáneo de las intervenciones. En modelos SEIR, con políticas moderadas, si solo ~30% cumplen, R permanece > 1 ; en cambio con **80–90%** de cumplimiento, las mismas políticas pueden llevar R por debajo de 1. Por ejemplo, un análisis multi-estado mostró que con cierta intensidad de medidas, se requería $\geq 50\%$ de cumplimiento ciudadano para reducir R_0 a 1 ²². Cumplimientos parciales más bajos provocan que la epidemia continúe propagándose.

Mukerjee *et al.*, 2021 ²²
(relación medidas-compliance); cálculo teórico basado en eficacia multiplicativa de intervenciones.

En la simulación, esto significa que no basta con “activar” una medida; hay que modelar el **grado de adherencia**. Se implementa asignando solo a una fracción de agentes el comportamiento seguro. Por ejemplo, si solo 50% usan mascarilla o guardan distancia, se aplica la reducción de transmisión solo entre aquellos agentes/ encuentros en que ambos cumplen, dejando que el resto interactúe prácticamente sin protección. El resultado cuantitativo será que la reducción esperada de contagios es mucho menor que en un escenario de cumplimiento universal. Esto permite explorar escenarios “¿qué pasa si solo X% de clientes siguen la regla?”. El modelo mostrará que con bajo cumplimiento las medidas tienen un efecto limitado en bajar contagios, enfatizando la necesidad de alta participación para lograr control epidémico.

Fuentes: Referencias seleccionadas de literatura académica y técnica; ver citas específicas 【1†】 – 【59†】 en la tabla para cada valor mencionado. Cada valor se ha extraído de estudios (meta-análisis, ensayos, simulaciones) relevantes al comportamiento de COVID-19 en contextos aplicables al supermercado.

1 ¿Qué porcentaje de infecciones por SARS-CoV-2 son asintomáticas? Revisión sistemática - COVID-19 - Medicina Interna Basada en la Evidencia

<https://empendium.com/manualmibe/covid19/259854,que-porcentaje-de-infecciones-por-sars-cov-2-son-asintomaticas-revision-sistemica>

2 3 Lower transmissibility of SARS-CoV-2 among asymptomatic cases: evidence from contact tracing data in Oslo, Norway | BMC Medicine | Full Text

<https://bmcmmedicine.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12916-022-02642-4>

4 5 Performance of COVID-19 associated symptoms and temperature checking as a screening tool for SARS-CoV-2 infection | PLOS One

<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0257450>

6 Feasibility and effectiveness of daily temperature screening to detect COVID-19 in a prospective cohort at a large public university | BMC Public Health | Full Text

<https://bmcpublihealth.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12889-021-11697-6>

7 Los supermercados reducen sus horarios y controlan aforos para evitar aglomeraciones | Economía | EL PAÍS

<https://elpais.com/economia/2020-03-17/los-supermercados-reducen-sus-horarios-y-controlan-aforos-para-evitar-aglomeraciones.html>

8 MEDIDAS PUBLICAS DE SALUD EN SUPERMERCADOS, MINIMERCADOS Y SALIDAS DURANTE COVID-19 - SXM IslandTime

<https://sxmislandtime.com/medidas-publicas-de-salud-en-supermercados-minimercados-y-salidas-durante-covid-19/>

9 10 11 Tag Team: Tracking the Patterns of Supermarket Shoppers - Knowledge at Wharton

<http://knowledge.wharton.upenn.edu/article/tag-team-tracking-the-patterns-of-supermarket-shoppers/>

12 13 15 Examining the interplay between face mask usage, asymptomatic transmission, and social distancing on the spread of COVID-19 | Scientific Reports

https://www.nature.com/articles/s41598-021-94960-5?error=cookies_not_supported&code=e5a12b81-893a-4975-b02b-a80c6387225a

14 COVID-19 and face masks/coverings - FactCheckNI

<https://factcheckni.org/articles/explainers/covid-19-and-face-masks-coverings/>

16 [PDF] Counterfactuals of effects of vaccination and public health measures ...

<https://www.canada.ca/content/dam/phac-aspc/documents/services/reports-publications/canada-communicable-disease-report-ccdr/monthly-issue/2022-48/issue-7-8-july-august-2022/ccdrv48i78a01-eng.pdf>

17 Commentary on the use of the reproduction number R during the ...

<https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/09622802211037079>

18 R0 of COVID-19 and its impact on vaccination coverage - PubMed

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34612165/>

19 20 Household transmission of SARS-CoV-2: a systematic review and meta-analysis of secondary attack rate | NCRC

<https://ncrc.jhsph.edu/research/household-transmission-of-sars-cov-2-a-systematic-review-and-meta-analysis-of-secondary-attack-rate/>

21 High compliance to infection control measures prevented guest-to ...

[https://www.journalofinfection.com/article/S0163-4453\(21\)00533-8/fulltext](https://www.journalofinfection.com/article/S0163-4453(21)00533-8/fulltext)

22 Mitigation strategies and compliance in the COVID-19 fight; how much compliance is enough? | PLOS One

<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0239352>

23 Effects of recirculation and air change per hour on COVID-19 ...

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844024111231>

24 25 The influence of temperature, humidity, and simulated sunlight on the infectivity of SARS-CoV-2 in aerosols - PMC

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10698725/>