Instituto Nacional de Salud

Modelo de transmisión de coronavirus COVID-19

Escenarios para Colombia

Observatorio Nacional de Salud

Instituto Nacional de Salud
Observatorio Nacional de Salud

FERNANDO RUIZ GÓMEZ
Ministro de Salud y Protección Social

MARTHA LUCÍA OSPINA MARTÍNEZ
Directora General INS

CARLOS ANDRÉS DURÁN CAMACHO
Secretario General

OFICINA DE COMUNICACIONES INS

CARLOS ANDRÉS CASTAÑEDA-ORJUELA
Director Observatorio Nacional de Salud

Equipo de trabajo
Carlos Castañeda-Orjuela
Liliana Hilarión-Gaitán
Jean Carlo Pineda-Lozano
Gina Vargas Sandoval
Diana Díaz-Jiménez
Karol Patricia Cotes-Cantillo
Pablo Chaparro-Narváez

22 de abril de 2020

Versión 5

Modelo de transmisión de Coronavirus COVID-19

Escenarios para Colombia

Mensajes clave

- La aparición de nuevos virus respiratorios circulantes en los humanos representa un reto en Salud pública global para los gobiernos.
- La planeación de la respuesta a la epidemia de COVID-19 se beneficia de contar con el número estimado de casos de forma anticipada a partir de la implementación de modelación matemática de epidemias.
- Se ajustó un modelo SIR (susceptible, infectado, recuperado) a partir de información reportada en la literatura y luego de ajustarlos para la información de Hubei (China) y el crucero Diamond Princess.
- Asumiendo un R0 de 2,28, un periodo de transmisión entre 5-7 días y una letalidad de los casos de 1,14%, ponderada por estructura poblacional de Colombia, se estimaron para el país, en sus áreas urbanas, entre 21.237.000 - 34.606.000 infecciones y entre 212.000 y 381.000 muertes en los primeros 100 días de la transmisión.
- Los modelos de predicción se ajustaron y validaron a la curva de transmisión local de Colombia según fecha de inicio de síntoma y se estimó el R efectivo (Rt) para el inicio de la epidemia y según la implementación de medidas no farmacológicas de distanciamiento social.
- Con un 11,1% de infecciones asintomáticas, del total de infecciones estimadas, 3.507.000 (IC 95% 2.357.000 – 3.841.000) serían asintomáticas, 22.870.000 (IC 95% 15.371.000 - 25.047.000) casos leves, 5.221.000 (IC 95% 3.509. 000 – 5.718. 000 requerirían algún tipo de hospitalización y, de estos últimos, 1.320.000 (IC 95% 887,000 – 1.446.000) requerirían UCI.
- Con los parámetros de severidad de los casos reportados en China, las estimaciones para Colombia identifican que en la semana de más contagio 250 mil casos nuevos requerirían tratamiento en UCI en los escenarios sin intervención o intervención solo por cuatro semanas iniciales.
- Estos valores disminuyen considerablemente si se asume un porcentaje de asintomáticos entre 50 y 80%, un valor que corresponde con varios modelos implementados globalmente, pero que sigue pendiente por confirmación empírica con estudios de buena calidad. En el nuevo escenario sin intervención en la semana pico se realizarían 60 mil ingresos nuevos a UCI, que requerirían una capacidad de 83 mil camas de UCI, pico que se esperaría para el 23 de mayo.
- Los resultados son sensibles a los valores del R efectivo (Rt) y del tiempo de transmisibilidad de la enfermedad, por lo que medidas que disminuyan estos parámetros podrían representar un número inferior de casos a los estimados.
- Medidas no farmacológicas de distanciamiento social resultarían siendo efectivas en la reducción del pico si se mantienen por periodos de tiempo prolongados (300 días). Cuando estas solo se aplican por dos o cuatro semanas se logra un aplazamiento del pico de requerimiento de servicios, pero no su reducción. Las medidas que lleven el Rt a valores de uno o menos corresponden a aquellas de supresión.

- En el caso de medidas temporales de supresión una vez se suspendan estas, reemergería la infección alcanzando su pico inicial, a no ser que se haya alcanzado una cantidad considerable de resistentes en los ciclos anteriores (con medidas de mitigación).
- Estrategias intermitentes de cuarentena y otras mediadas de distanciamiento social, por largos periodos de tiempo, pueden disminuir el pico y aplazar la infección (escenario de mitigación), pero su combinación e intensidad debe estar ajustada a la capacidad disponible del sistema de salud, especialmente en lo referente a camas de UCI.
- Las medidas de distanciamiento social fueron efectivas en Colombia, en el sentido de disminuir, por el tiempo de aplicación, el Rt. Medidas previas a la cuarentena obligatoria llevaron el Rt a 1,5, mientras que la propia cuarentena lo llevó a cerca de 1,0. El R0 estimado localmente al inicio de la epidemia y que sería el efectivo una vez se levanten las medidas de distanciamiento social es de cerca de 2,5.
- Los modelos se corrieron bajo distintas estrategias (intervención seleccionada y/o duración de la intervención) con los parámetros de Rt estimados para Colombia y variando el parámetro de porcentaje de asintomáticos, en el cual persiste la incertidumbre sobre su real valor.

1. Introducción

La enfermedad del coronavirus 2019 (COVID-19), problema actual de salud pública, es producida por el coronavirus-2 (SARS-CoV-2) (1). Este es un virus de ARN monocatenario de sentido positivo perteneciente al género Betacoronavirus (2–4). Parece que los reservorios de COVID-19 son los murciélagos (5) y otros animales salvajes (3,6), pero aún no se han identificado los hospederos intermedios. El virus se transmite de persona a persona (7) por gotitas, contacto y fómites (8,9). Las estimaciones actuales indican que COVID-19 tiene un período de incubación medio de 3 días (rango de 0 a 24 días), con posible transmisión asintomática (8,9).

La enfermedad se manifiesta con fiebre, tos y mialgia o fatiga; días antes de la fiebre se pueden presentar diarrea y náuseas. También puede aparecer cefalea o hemoptisis (8,10) e incluso podría cursar sin síntomas (7). Los adultos mayores que presenten comorbilidad tienen más probabilidad de presentar insuficiencia respiratoria debido al daño alveolar severo que produce el virus (11). La enfermedad inicialmente puede mostrar una rápida progresión a falla orgánica multisistémica y en los casos graves ocasiona la muerte (10,12). En diciembre de 2019 se presentó un brote de neumonía en Wuhan (China) (13) causada por el COVID-19, que luego se extendió por China y otros países del mundo. El 30 de enero de 2020, la Organización Mundial de la Salud declaró el brote como una emergencia de salud pública de preocupación internacional. Para limitar y controlar la transmisión se han recomendado medidas relacionadas con detección temprana, diagnóstico precoz, tratamiento oportuno, seguimiento de posibles contactos y cuarentena para bloquear la transmisión de persona a persona, así como para reducir las infecciones secundarias entre contactos cercanos y trabajadores de la salud (14).

Para planear y hacer seguimiento a la respuesta a la epidemia se hace necesario contar el número de casos. Sin embargo, estos recuentos de casos confirmados pueden resultar engañosos porque puede estar limitados por problemas de acceso a la atención, a las pruebas de laboratorio, o a la evaluación de casos graves (15,16). La modelación de epidemias es una herramienta indispensable para el estudio de enfermedades emergentes y reemergentes, permite conocer su propagación, su detección, su prevención, su tratamiento y su control, aun antes del inicio de la transmisión en un escenario geográfico. Existe una gran variedad de modelos a utilizar y para las enfermedades cuyos agentes infecciosos son los virus. Se ha propuesto el modelo tipo SIR, un modelo, determinístico que divide la población afectada en tres grupos: “S” el grupo de individuos susceptibles o que pueden contagiarse, “I” el grupo de individuos infectados o que son capaces de transmitir la enfermedad, y “R” el grupo de individuos recuperados de la infección (los que adquieren inmunidad) (17). Los resultados estimados con este tipo de modelo permiten lograr una mejor asignación de los escasos recursos en la preparación de medidas efectivas para la detección, la prevención y el control.

El objetivo del presente análisis es ajustar un modelo predictivo SIR de transmisión del COVID-19, con componente probabilístico, con los datos diarios de los territorios con transmisión activa reportados a la OMS, estimar unos posibles escenarios de transmisión en Colombia, proyectar la efectividad de una serie de intervenciones no farmacológicas para su contención y validar estas estimaciones con el comportamiento de la transmisión y las medidas implementadas en nuestro país.

2. Métodos

Se ajustó modelo de transmisión epidemiológica del tipo **SIR**, S (población susceptible), I (población infectada) y R (población recuperada), que corría en ciclos diarios, a partir de ecuaciones diferenciales de la siguiente estructura:

$$\frac{dS}{dt} = -\beta SI$$

$$\frac{dI}{dt} = \beta SI - \gamma I$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma I$$

Donde

β = Tasa de infección
γ = Tasa de recuperación

El modelo fue ajustado con parámetros identificados en la literatura científica sobre la transmisión inicial del COVID-19 en el mundo (Tabla 1) y corre en ciclos diarios. El R0, correspondiente al promedio de casos originados de un caso nuevo en una población susceptible, se incluyó en el modelo como el cálculo de:

R0 = $\frac{\beta}{\gamma}$

Los parámetros R0 y Gamma se incluyeron con su distribución de probabilidad, a partir de los datos reportados en la literatura científica, para correr el componente estocástico del modelo la transmisión. Se realizó una validación de los modelos con los reportes diarios de la provincia de Hubei, China, a partir de 8 de diciembre de 2019, que corresponde al inicio de síntomas primer caso reportado en China (18); y del crucero Diamond Princess, a partir del 20 de enero de 2020, fecha de partida del mismo desde Yokohama, Japón (19). Los datos reportados diariamente de número de casos confirmados de COVID-19 se tomaron de la base de datos del CSSE (Centro de Ciencia e Ingeniería de Sistemas) de la Universidad Johns Hopkins (20).

Se estimaron casos nuevos y acumulados diarios a partir de los modelos ajustados, con una variación probabilística en los parámetros de duración de la enfermedad, R0 y letalidad de los casos, según lo encontrado en la literatura (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Se corrieron 10.000 simulaciones de cada modelo para estimar el promedio y el intervalo de confianza del 95% de los resultados. Se presentan los datos en gráficas con casos acumulados desde el día cero hasta 100 días, abarcando las 14 primeras semanas de la transmisión. Se redondean los valores en las tablas a múltiplos de miles en las estimaciones de casos y a múltiplos de cientos para las muertes.

Con los modelos ajustados se estimó el número probable de infectados por COVID-19 a nivel nacional y en cada departamento, a partir del inicio la transmisión en el país y durante los primeros 100 días (14 semanas). La población 2020 utilizada para las estimaciones correspondió a las proyecciones poblacionales urbanas de 2018-2023 del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) (21). Las predicciones se compararon contra los reportes de casos de realizados por el INS, según fecha de inicio de síntomas, para validar el poder predictivo del modelo. Esta comparación se realizo con los casos de transmisión local.

Para cada uno de los departamentos fue calculada la tasa de ataque. El numerador correspondió al número probable de casos infectados para el día 100, mientras que el denominador fue el total de población reportada por DANE para cada entidad territorial (21). Los análisis se realizaron en R y Excel.

Tabla 1. Parámetros implementados en el modelo SIR de transmisión de COVID-19 y letalidad

Parámetros	**Valor IC (95%)**	**Incertidumbre**	**Referencia**
Numero básico de reproducción (R0):	2,28 (2,06-2,52)	Distribución normal (media 2,28, desviación estándar = 0,11735)	(19)
	2,68 (2,47-2,86)	Distribución normal (media 2,68, desviación estándar =0,09949)	(22)
Infectados iniciales	1-5	Valor fijo (1 para departamentos y municipios, y 5 para el modelo nacional)	Supuesto
Periodo de incubación de la enfermedad	14 días	Distribución uniforme entre 12-15	(23)
Duración del periodo infeccioso	5,8 días (IC 95% 4,3-7,5 días)	Distribución uniforme entre 5-7	(24)
Letalidad de todos los casos	1,14% (1,00-1,30%)	Distribución Beta (media = 1,14, DE = 0,76%)	(25)

Un aspecto central en la estimación de casos es su distribución de severidad y la existencia o no de casos asintomáticos. Información que está sujeta a incertidumbre, por lo que se realizó una revisión sistemática de literatura específica para identificar esas proporciones del total de casos. Tanto a nivel nacional como departamental, con los casos estimados se calculó la distribución de la enfermedad según severidad (asintomáticos, leves, severos y críticos) y el número de muertes, basados en la descripción clínica realizada por el *Chinese Center for Disease Control and Prevention* (26) (Tabla 2).

Tabla 2. Parámetros de distribución de casos de COVID-19 según severidad

Parámetro	**Población**	**Porcentaje (n/N)**	**Definición operativa**	**Referencia**
Asintomáticos				
Proporción asintomáticos	Casos locales + retornados en Japón	11,1% (96/865)	Asintomáticos sobre el total de infectados	(27)
Sintomáticos				
Proporción casos leves *	Población de Hubei, China	81,4 %	Valor fijo	(26)
Proporción casos severos *		13,9 %	Valor fijo	(26)
Proporción casos críticos *		4,7 %	Valor fijo	(26)
Proporción de casos	Casos locales + retornados en Japón	43,5% (317/728)	Síntomas leves a moderados	(27)

Leves a moderados				
Proporción de casos críticos	Casos en el Diamond Princess	2,1% (15/712)	Ingresados UCI o ventilador	(27)
	Casos locales + retornados en Japón	6,32% (46/728)	Ingresados UCI	(27)
	Casos confirmados en Wuhan	7,3% (52/710)	Admitidos a UCI	(28)

* Se excluyó el 0,6% de casos sin información de severidad. Calculado solo para los casos sintomáticos

El modelo de transmisión fue programado en R a partir de la construcción y solución de las ecuaciones diferenciales y reportaba la estimación del número diario de personas sanas, infectadas, recuperadas y muertas por Covid-19. Estos resultados fueron cargados en una herramienta de distribución por severidad construida en Excel, que incluía los rezagos de tránsito a los diferentes de complejidad de atención (hospitalización general o UCI) y la duración de su estancia es cada estado (siete días en hospitalización en piso y 10 días en UCI).

Se evaluó adicionalmente la implementación de diferentes medidas de intervención no farmacológicas, basadas en el distanciamiento social, con potencial impacto sobre el número reproductivo efectivo (Rt). Este análisis se ajustó en el modelo original de transmisión, permitiendo cargar valores ponderado del R0, según la efectividad reportada de las intervenciones. El ajuste del R0, manteniendo igual la distribución inicial del periodo infecciosos se traduce en un ajuste del parámetro Beta en el conjunto de ecuaciones diferenciales. Con el cálculo de la efectividad local de las intervenciones (como un R t para el momento de su aplicación) se modelaron diversos escenarios adicionales. En la Tabla 3 se presentan los parámetros finalmente usados en los modelos presentados.

Tabla 3. Parámetros usados en los modelos implementados de Covid-19 en Colombia

Parámetro	**Caso Base**	**Modelo 1**	**Modelo 2**
Número reproductivo básico	2,28 (2,06-2,52) (19)		
Duración del periodo infeccioso	5,8 días (IC 95% 4,3-7,5 días) (24)		
Proporción de infectados asintomáticos	11,1% (27)†	50% (29–34)	80% (35,36)
Proporción de infectados casos leves *	72,4%	40,7%	16,3%
Proporción de infectados con hospitalización no UCI *	12,3%	6,9%	2,8%
Proporción de infectados en UCI*	4,2%	2,3%	0,9%

Letalidad de todos los casos	1,14% (1,00-1,30%) (25)

* La distribución de severidad entre los sintomáticos no cambia y sigue siendo basada en (26).

† Este dato se ha venido actualizando en múltiples subpoblaciones

3. Resultados

3.1. Validación de los modelos con otras curvas epidémicas

Se validó el modelo de transmisión con diferentes parámetros de R0, reportados en la literatura, para dos contextos de transmisión inicial, el crucero Diamond Princess (

Figura *1* y

Figura 2) y la provincia de Hubei (Figura 3. 3 y Figura 4), esta última donde inició la transmisión del brote.

Figura 1. Modelo de infección en el Diamond Princess con un R0 de 2,28 en comparación con la curva de reporte de casos

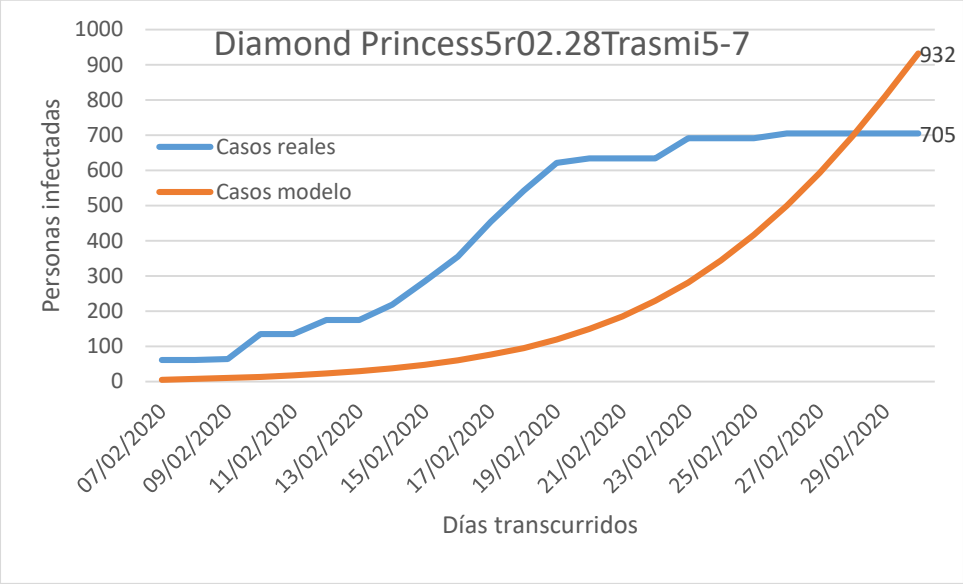


Figura 2. Modelo de infección en el Diamond Princess con R0 de 2,68 en comparación con la curva de reporte de casos

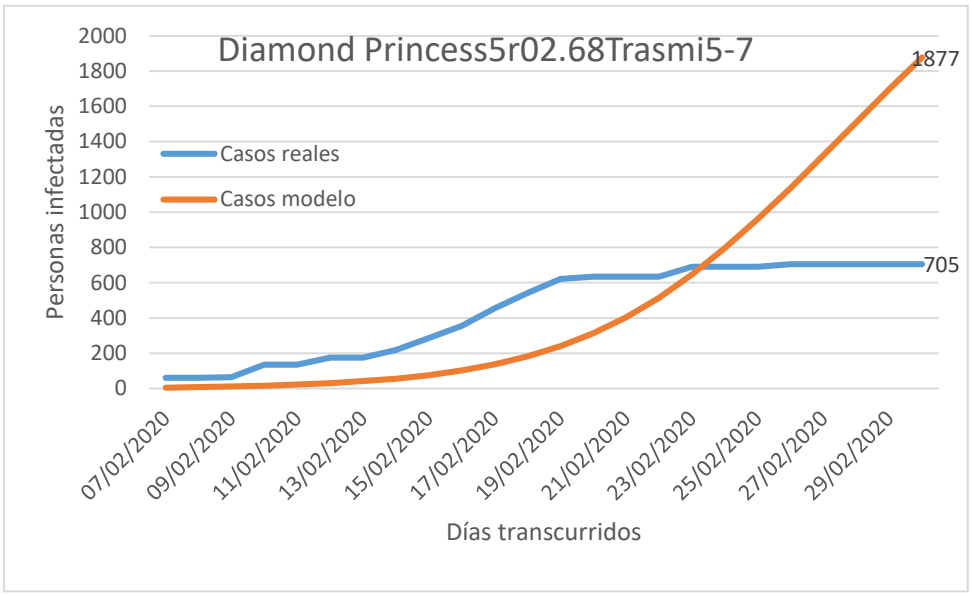
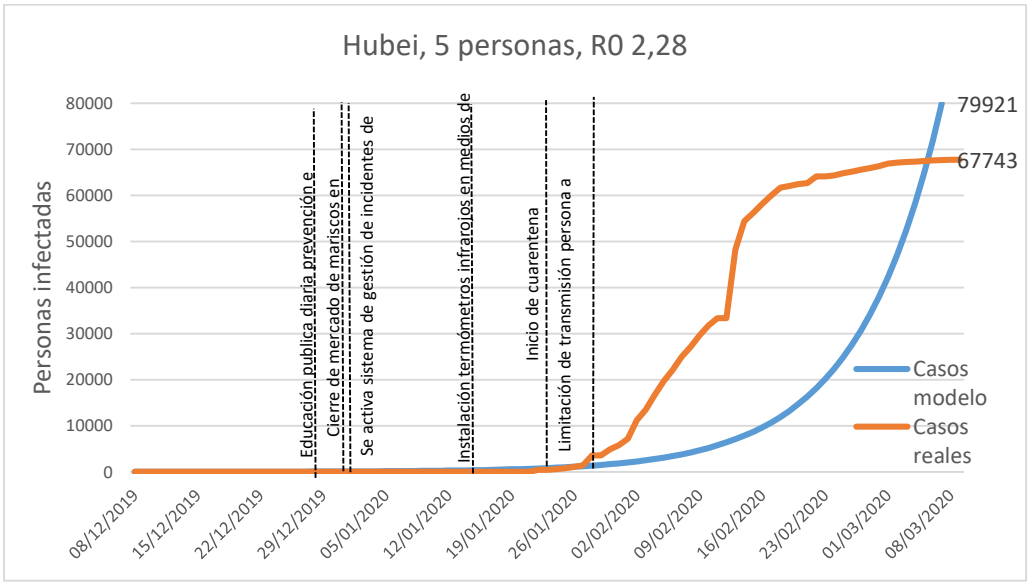
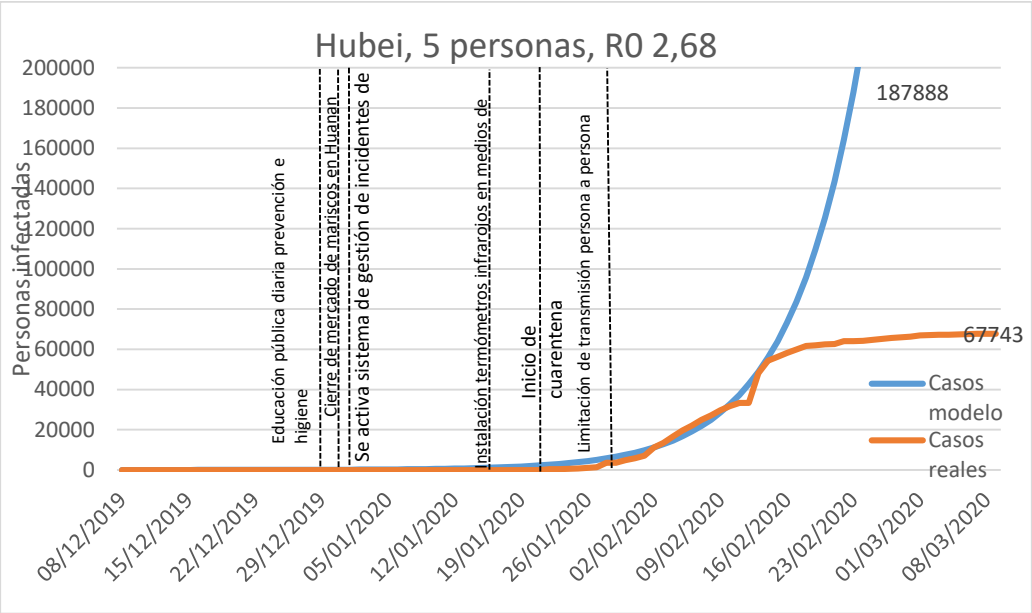


Figura 3. Modelo de infección en Hubei con R0 de 2,28 en comparación con la curva de reporte de casos



* Medidas de control tomadas en Hubei para el control del COVID-19 según los reportes de situación diarios de la OMS (37,38)

Figura 4. Modelo de infección en *Hubei con R0 de 2,68 en comparación con la curva de reporte de casos*



* Mediadas de control tomadas en Hubei para el control del COVID-19 según los reportes de situación diarios de la OMS (37,38)

3.2. Estimaciones para Colombia en el escenario de no hacer nada con 11,1% de infecciones asintomáticas

Se realizó la estimación del peor escenario (no hacer nada) en Colombia, simulando resultados que alcanzaban tasas de ataque entre el 50 y 80% de la población, lo que ocurre en una población totalmente susceptible, con los parámetros de R0 reportados para el Covid-19 de 2,28 y asumiendo que no se implemente ninguna medida de control (farmacológica o no).

Se estimarían al día 100 (14 semanas) un total acumulado de 31,598,000 casos (IC 95% 21,237,000 – 34,606,000) (Figura 5), de los cuales 3.507.000 (IC 95% 2.357.000 – 3.841.000) serían asintomáticos, 22.870.000 (IC 95% 15.371.000 – 25.047.000) leves, 5.221.000 (IC 95% 3.509. 000 – 5.718. 000) requerirían algún tipo de hospitalización. De estos últimos 1.320.000 (IC 95% 887,000 – 1.446.000) requerirían UCI (Tabla 5). La comparación entre casos estimados y reportados por el sistema de Vigilancia en Salud Pública se muestra en la Figura 6. En la Figura 7 se muestra el número nuevo de casos estimados por día para esa modelación.

Figura 5. Casos estimados en peor escenario de Colombia urbana (No hacer nada), 2020.

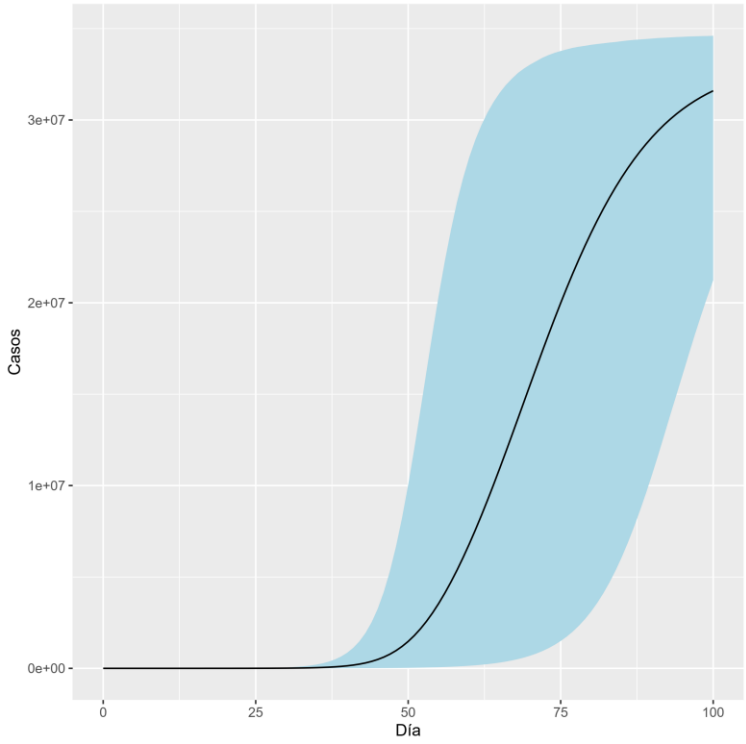
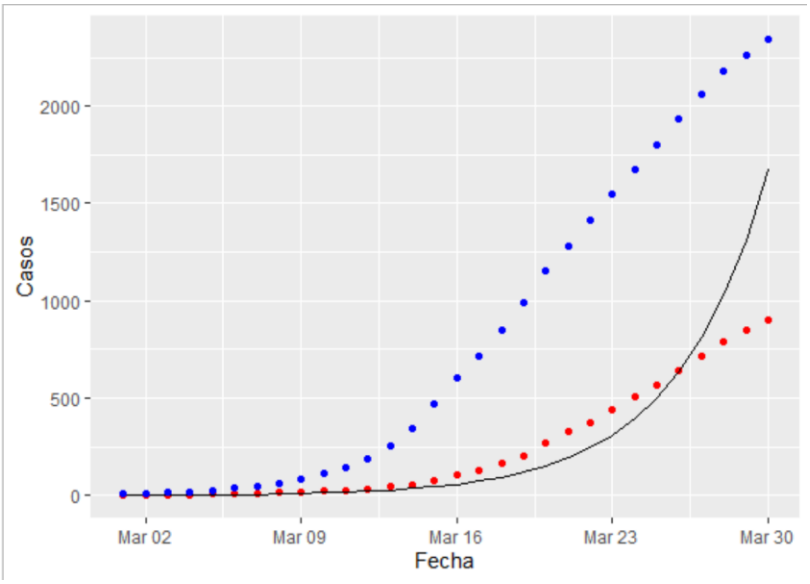
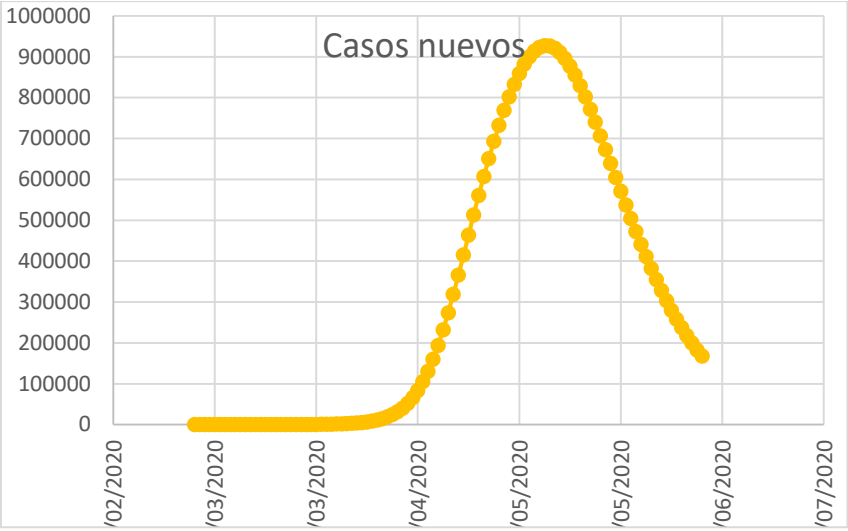


Figura 6. Proyección de sintomáticos acumulados en el escenario de no intervención Colombia urbana, para los primeros días desde el primer reporte, por fecha de inicio de síntomas, respecto a los casos reportados.



Puntos azules, casos totales reportados; puntos rojos, casos de transmisión local; línea, proyección en el escenario de no hacer nada ajustada a la transmisión local en Colombia.

Figura 7. Infecciones nuevas estimados diariamente en escenario sin intervención. Colombia urbana, 2020.



Se modeló el escenario para Colombia con un R0 de 2,28, por departamento en los primeros 100 días del brote. La Tabla 4 reporta los valores de casos y muertes al día 100 para cada departamento.

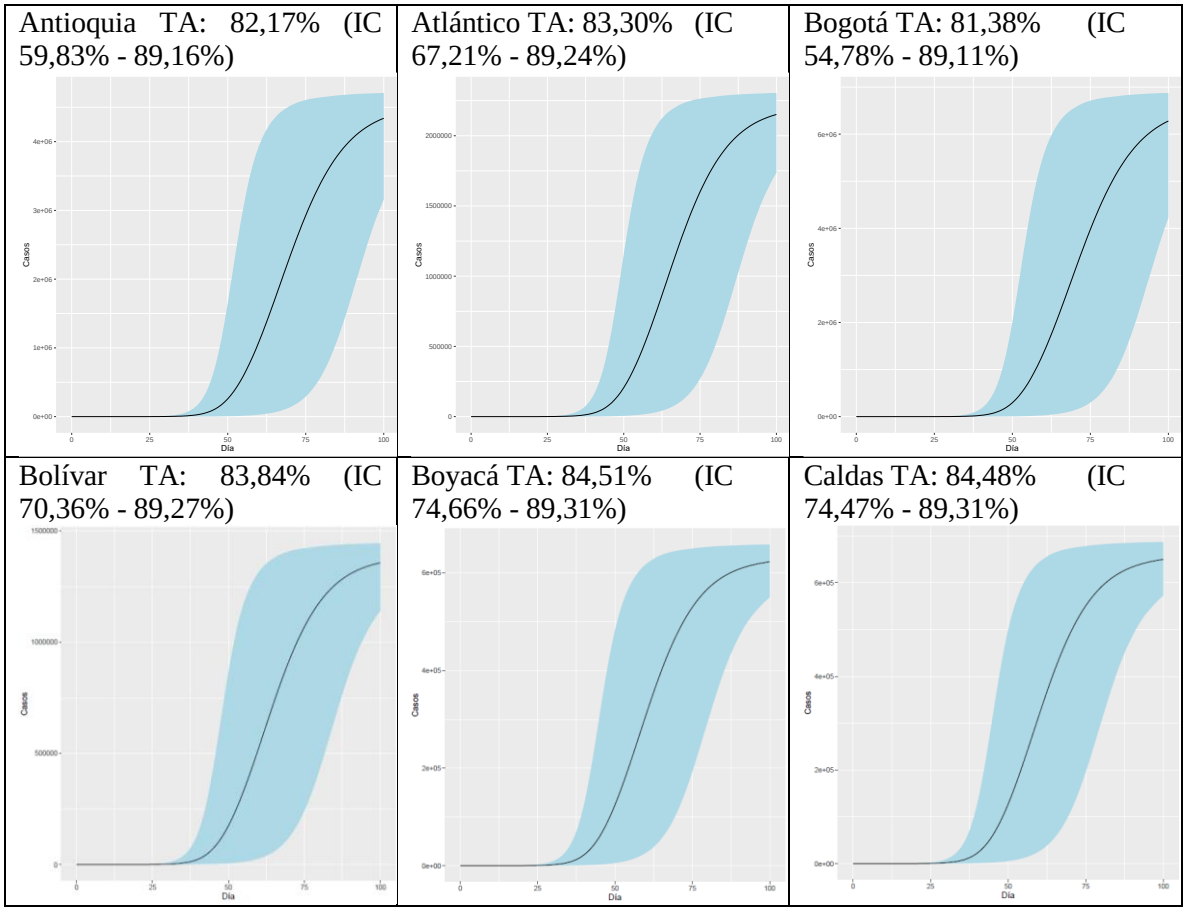
Tabla 4. Número de casos y muertes estimados a los 100 días de epidemia para los departamentos de Colombia R0 de 2,28 y 11,1% de asintomáticos

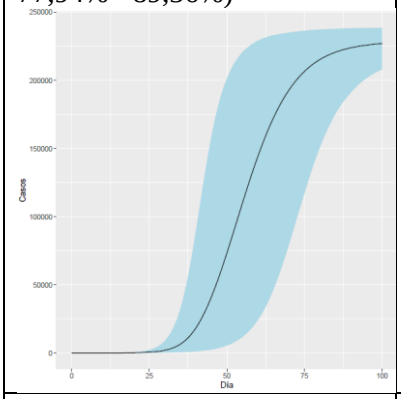
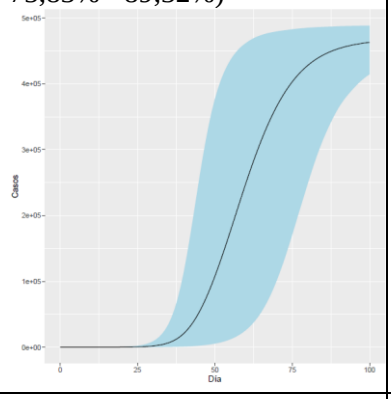
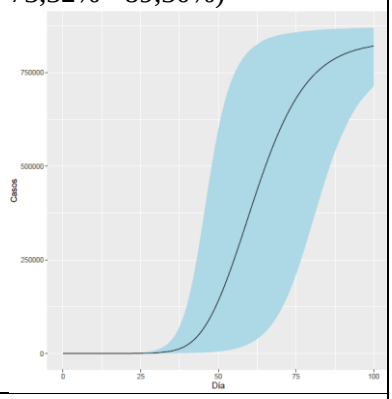
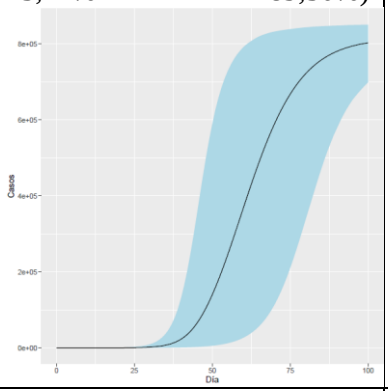
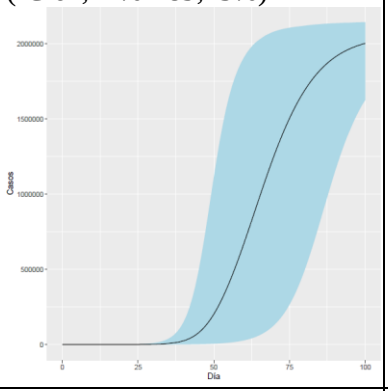
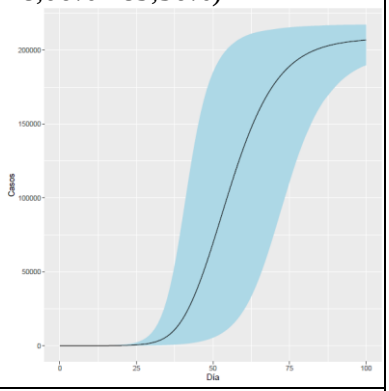
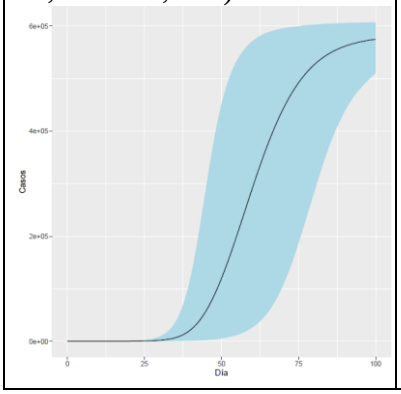
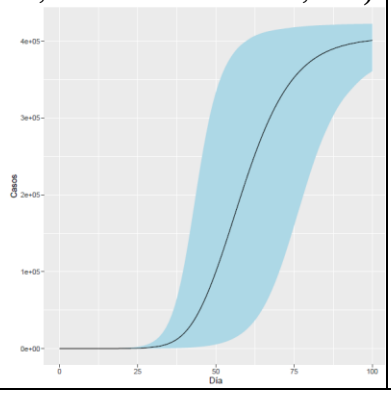
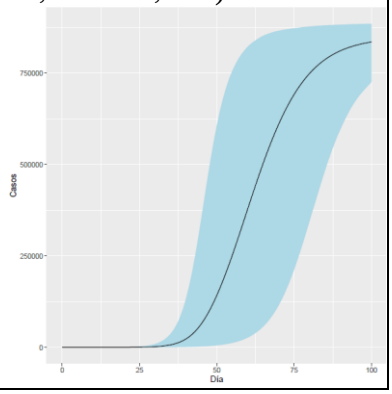
Departamento	**Total casos**	**Muertes**
Bogotá, D.C.	6.230.000 (IC 95% 3.546.000 - 6.964.000)	63.300 (IC 95% 36.100 - 76.500)
Antioquia	4.306.000 (IC 95% 2.651.000 - 4.769.000)	43.700 (IC 95% 26.900 - 52.400)
Valle del Cauca	3.174.000 (IC 95% 2054000 - 3493000)	32.200 (IC 95% 20.800 - 38.400)
Atlántico	2.135.000 (IC 95% 1.456.000 - 2.334.000)	21.700 (IC 95% 14.600 - 25.700)
Cundinamarca	1.987.000 (IC 95% 1.365.000 - 2.171.000)	20.200 (IC 95% 13.700 - 23.900)
Santander	1.451.000 (IC 95% 1.024.000 - 1.578.000)	14.700 (IC 95% 10.200 - 17.400)
Bolívar	1.347.000 (IC 95% 956.000 - 1.464.000)	13.700 (IC 95% 9.500 - 16.100)
Norte de Santander	1.070.000 (IC 95% 772.000 - 1.160.000)	10.900 (IC 95% 7.700 - 12.800)
Magdalena	828.000 (IC 95% 608.000 - 896.000)	8.400 (IC 95% 6.000 - 9.900)
Cesar	815.000 (IC 95% 599.000 - 881.000)	8.300 (IC 95% 5.900 - 9.700)
Córdoba	797.000 (IC 95% 587.000 - 861.000)	8.100 (IC 95% 5.800 - 9.500)
Tolima	769.000 (IC 95% 568.000 - 831.000)	7.800 (IC 95% 5.600 - 9.200)
Meta	679.000 (IC 95% 505.000 - 733.000)	6.900 (IC 95% 5.000 - 8.100)
Caldas	645.000 (IC 95% 480.000 - 696.000)	6.500 (IC 95% 4.700 - 7.700)
Risaralda	639.000 (IC 95% 477.000 - 690.000)	6.500 (IC 95% 4.700 - 7.600)
Boyacá	618.000 (IC 95% 461.000 - 666.000)	6.300 (IC 95% 4.500 - 7.400)
Nariño	599.000 (IC 95% 448.000 - 646.000)	6.100 (IC 95% 4.400 - 7.100)
Huila	570.000 (IC 95% 428.000 - 615.000)	5.800 (IC 95% 4.200 - 6.800)
Sucre	497.000 (IC 95% 375.000 - 535.000)	5.000 (IC 95% 3.700 - 5.900)
Cauca	459.000 (IC 95% 348.000 - 495.000)	4.700 (IC 95% 3.400 - 5.500)
Quindío	411.000 (IC 95% 312.000 - 442.000)	4.200 (IC 95% 3.000 - 4.900)
La Guajira	398.000 (IC 95% 303.000 - 428.000)	4.000 (IC 95% 2.900 - 4.700)

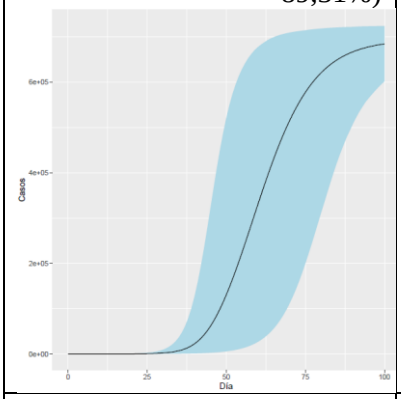
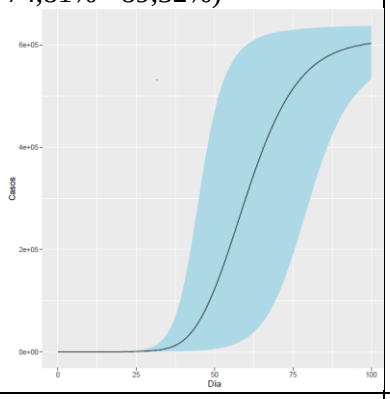
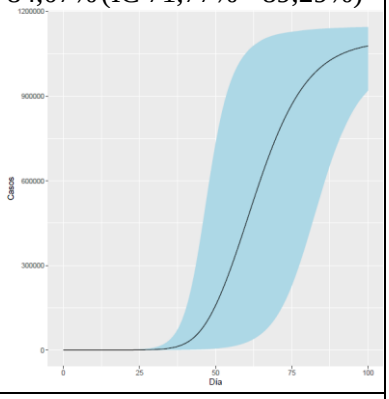
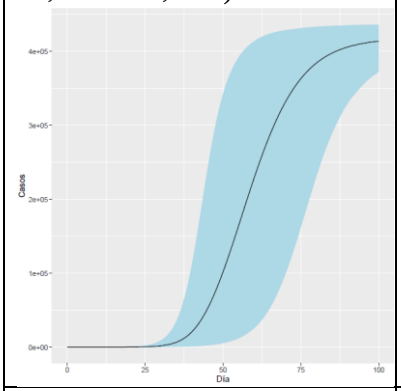
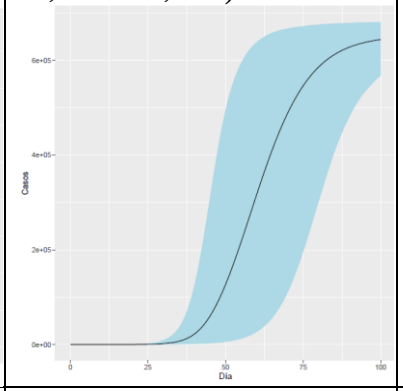
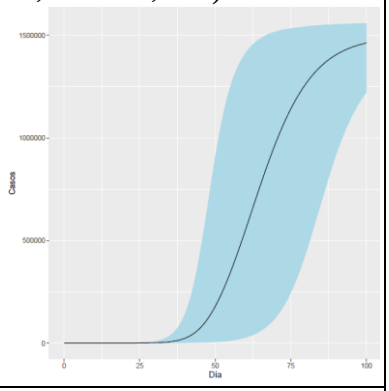
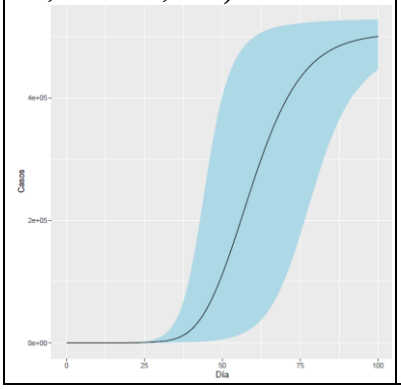
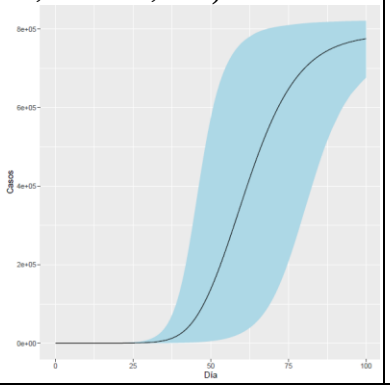
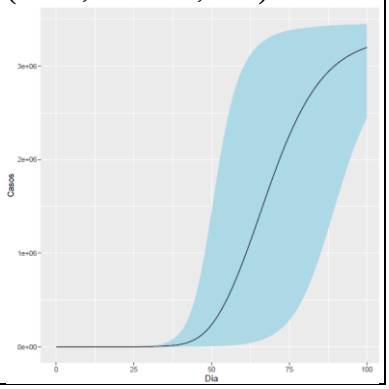
Casanare	261.000 (IC 95% 202.000 - 281.000)	2.700 (IC 95% 1.900 - 3.100)
Caquetá	225.000 (IC 95% 175.000 - 242.000)	2.300 (IC 95% 1.700 - 2.700)
Chocó	205.000 (IC 95% 159.000 - 220.000)	2.100 (IC 95% 1.500 - 2.400)
Arauca	163.000 (IC 95% 127.000 - 174.000)	1.700 (IC 95% 1.200 - 1.900)
Putumayo	154.000 (IC 95% 120.000 - 165.000)	1.600 (IC 95% 1.200 - 1.800)
Guaviare	41.000 (IC 95% 33.000 - 44.000)	400 (IC 95% 300 - 500)
San Andrés	39.000 (IC 95% 31.000 - 41.000)	400 (IC 95% 300 - 450)
Amazonas	33.000 (IC 95% 26.000 - 35.000)	350 (IC 95% 250 - 400)
Vichada	24.000 (IC 95% 19.000 - 25.000)	250 (IC 95% 200 - 300)
Guainía	19.000 (IC 95% 15.000 - 20.000)	200 (IC 95% 150 - 200)
Vaupés	11.000 (IC 95% 9.000 - 12.000)	100 (IC 95% 90 - 150)
Total nacional	31.598.000 (IC 95% 21.237.000 - 34.606.000)	321.000 (IC 95% 212.000 - 381.000)

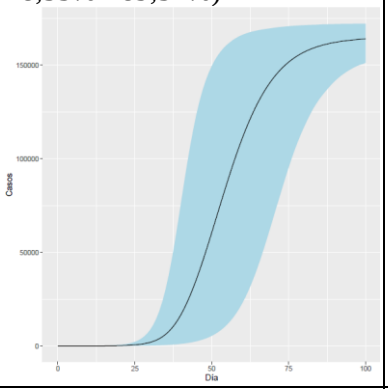
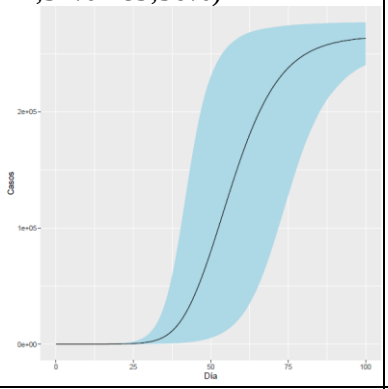
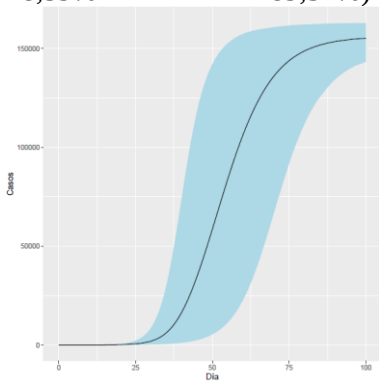
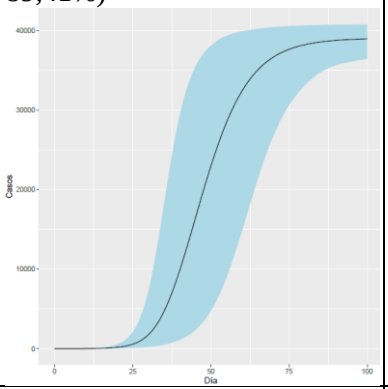
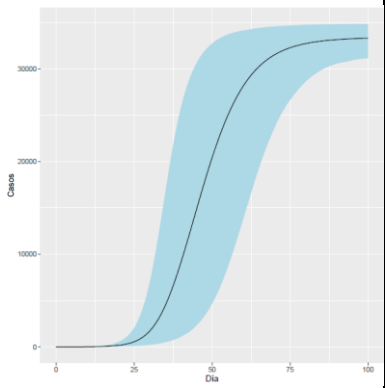
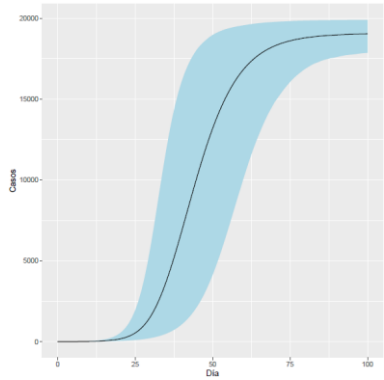
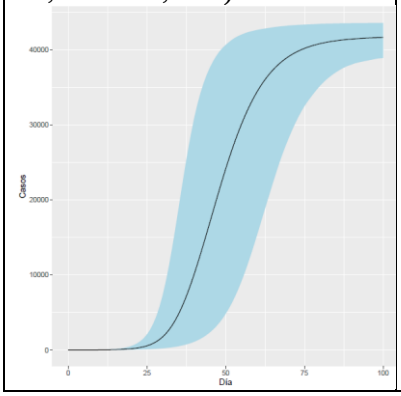
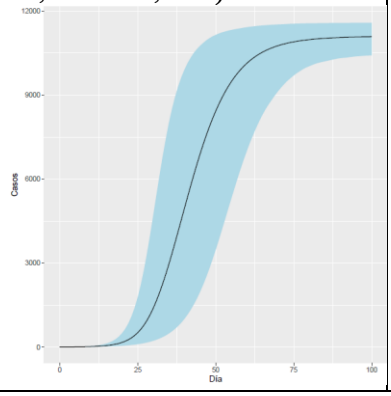
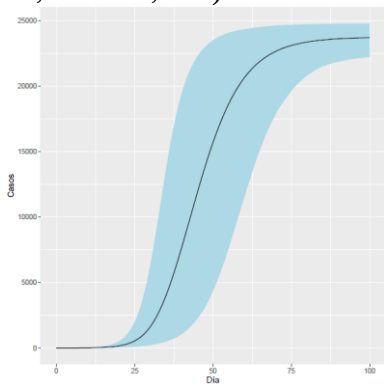
En la Figura 8 se muestran los resultados para los departamentos de Colombia usando un número básico de reproducción (R0): 2,28 (19). El mayor número de casos, casi el 50%, se concentraría en las ciudades de Bogotá, Antioquia, Valle del Cauca y Atlántico, mientras que las tasas de ataque serían superiores en los departamentos de Vaupés (85,6%), Guainía (85,56%), Vichada (85,53%) y Amazonas (85,49%).

Figura 8. Número probable de infectados y tasa de ataque para cada departamento, Colombia 2020



Caquetá TA: 85,04% (IC 77,94% - 89,36%) 	Cauca TA: 84,70% (IC 75,83% - 89,32%) 	Cesar TA: 84,31% (IC 73,32% - 89,30%) 
Córdoba TA: 84,33% (IC 73,44% - 89,30%) 	Cundinamarca TA: 83,39% (IC 67,72% - 89,25%) 	Chocó TA: 85,08% (IC 78,06% - 89,36%) 
Huila TA: 84,57% (IC 75,02% - 89,32%) 	La Guajira TA: 84,78% (IC 76,36% - 89,34%) 	Magdalena TA: 84,29%(IC 73,23% - 89,30%) 

Meta TA: 84,45% (IC 74,24% - 89,31%) 	Nariño TA: 84,54% (IC 74,81% - 89,32%) 	Norte de Santander TA: 84,07% (IC 71,77% - 89,29%) 
Quindío TA: 84,76% (IC 76,26% - 89,33%) 	Risaralda TA: 84,49% (IC 74,51% - 89,31%) 	Santander TA: 83,76% (IC 69,91% - 89,27%) 
Sucre TA: 84,66% (IC 75,55% - 89,32%) 	Tolima TA: 84,35% (IC 73,61% - 89,31%) 	Valle del Cauca TA: 82,72% (IC 63,31% - 89,20%) 

Arauca TA: 85,16% (IC 78,53% - 89,37%) 	Casanare TA: 84,98% (IC 77,57% - 89,36%) 	Putumayo TA: 85,17% (IC 78,59% - 89,37%) 
Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina TA: 85,47% (IC 79,89% - 89,41%) 	Amazonas TA: 85,49% (IC 79,99% - 89,41%) 	Guainía TA: 85,56% (IC 80,30% - 89,42%) 
Guaviare TA: 85,46% (IC 79,85% - 89,41%) 	Vaupés TA: 85,60% (IC 80,46% - 89,43%) 	Vichada TA: 85,53% (IC 80,21% - 89,41%) 

* La escala en el eje *y* es diferente para cada ciudad. TA: tasa de ataque en los primeros 100 días de la transmisión.

Según la distribución de casos por grado de severidad, reportado en la Tabla 5, en un escenario de número de R0 de 2,28 y un 11,1% de infectados asintomáticos, se estiman para Colombia un total de 321.000 (IC 95% 212.000 - 381.000) muertes. La Tabla 6 muestra la distribución de severidad nacional y los resultados de los modelos departamentales se presentan en la Tabla 6.

Tabla 5. Distribución probable de casos infectados por Covid-19 según severidad en Colombia utilizando R0 de 2,28 y un 11,1% de infecciones asintomáticas.

Distribución	**Casos**
Casos totales	31.598.000 (IC 95% 21.237.000 - 34.606.000)
Asintomáticos	3.507.000 (IC 95% 2.357.000 – 3.841.000)
Leves	22.870.000 (IC 95% 15.371.000 – 25.047.000)
Severos (Hospitalización)	3.901.000 (IC 95% 2.622.000 – 4.272.000)
Críticos (UCI)	1.320.000 (IC 95% 887,000 – 1.446.000)
Muertes	317.000 (IC 95% 194.000 - 380.000)

Tabla 6. Distribución probable de casos infectados por Covid-19, según severidad, para cada departamento, con 11,1% de infectados sintomáticos. Colombia 2020

Departamento	**Asintomáticos**	**Casos leves**	**Casos severos (Hospitalización piso)**	**Casos críticos (UCI)**
Bogotá, D.C.	692.000 (IC 95% 394.000 - 773.000)	4.509.000 (IC 95% 2.566.000 - 5.040.000)	769.000 (IC 95% 438.000 - 860.000)	260.000 (IC 95% 148.000 - 291.000)
Antioquia	478.000 (IC 95% 294.000 - 529.000)	3.117.000 (IC 95% 1.919.000 - 3.452.000)	532.000 (IC 95% 327.000 - 589.000)	180.000 (IC 95% 111.000 - 199.000)
Valle del Cauca	352.000 (IC 95% 228.000 - 388.000)	2.297.000 (IC 95% 1.486.000 - 2.528.000)	392.000 (IC 95% 254.000 - 431.000)	133.000 (IC 95% 86.000 - 146.000)
Atlántico	237.000 (IC 95% 162.000 - 259.000)	1.545.000 (IC 95% 1.054.000 - 1.690.000)	264.000 (IC 95% 18.0000 - 288.000)	89.000 (IC 95% 61.000 - 98.000)
Cundinamarca	221.000 (IC 95% 151.000 - 241.000)	1.438.000 (IC 95% 988.000 - 1.571.000)	245.000 (IC 95% 168.000 - 268.000)	83.000 (IC 95% 57.000 - 91.000)
Santander	161.000 (IC 95% 114.000 - 175.000)	1.050.000 (IC 95% 741.000 - 1.142.000)	179.000 (IC 95% 126.000 - 195.000)	61.000 (IC 95% 43.000 - 66.000)
Bolívar	149.000 (IC 95% 106.000 - 162.000)	975.000 (IC 95% 692.000 - 1.059.000)	166.000 (IC 95% 118.000 - 181.000)	56.000 (IC 95% 4.0000 - 61.000)
Norte de Santander	119.000 (IC 95% 86.000 - 129.000)	774.000 (IC 95% 559.000 - 840.000)	132.000 (IC 95% 95.000 - 143.000)	45.000 (IC 95% 32.000 - 48.000)

Magdalena	92.000 (IC 95% 68.000 - 99.000)	599.000 (IC 95% 440.000 - 648.000)	102.000 (IC 95% 75.000 - 111.000)	35.000 (IC 95% 25.000 - 37.000)
Cesar	90.000 (IC 95% 67.000 - 98.000)	590.000 (IC 95% 434.000 - 638.000)	101.000 (IC 95% 74.000 - 109.000)	34.000 (IC 95% 25.000 - 37.000)
Córdoba	88.000 (IC 95% 65.000 - 96.000)	577.000 (IC 95% 425.000 - 623.000)	98.000 (IC 95% 72.000 - 106.000)	33.000 (IC 95% 25.000 - 36.000)
Tolima	85.000 (IC 95% 63.000 - 92.000)	557.000 (IC 95% 411.000 - 602.000)	95.000 (IC 95% 70.000 - 103.000)	32.000 (IC 95% 24.000 - 35.000)
Meta	75.000 (IC 95% 56.000 - 81.000)	492.000 (IC 95% 365.000 - 531.000)	84.000 (IC 95% 62.000 - 91.000)	28.000 (IC 95% 21.000 - 31.000)
Caldas	72.000 (IC 95% 53.000 - 77.000)	467.000 (IC 95% 348.000 - 503.000)	80.000 (IC 95% 59.000 - 86.000)	27.000 (IC 95% 20.000 - 29.000)
Risaralda	71.000 (IC 95% 53.000 - 77.000)	463.000 (IC 95% 345.000 - 499.000)	79.000 (IC 95% 59.000 - 85.000)	27.000 (IC 95% 20.000 - 29.000)
Boyacá	69.000 (IC 95% 51.000 - 74.000)	447.000 (IC 95% 334.000 - 482.000)	76.000 (IC 95% 57.000 - 82.000)	26.000 (IC 95% 19.000 - 28.000)
Nariño	66.000 (IC 95% 50.000 - 72.000)	433.000 (IC 95% 324.000 - 467.000)	74.000 (IC 95% 55.000 - 80.000)	25.000 (IC 95% 19.000 - 27.000)
Huila	63.000 (IC 95% 47.000 - 68.000)	413.000 (IC 95% 310.000 - 445.000)	70.000 (IC 95% 53.000 - 76.000)	24.000 (IC 95% 18.000 - 26.000)
Sucre	55.000 (IC 95% 42.000 - 59.000)	359.000 (IC 95% 271.000 - 387.000)	61.000 (IC 95% 46.000 - 66.000)	21.000 (IC 95% 16.000 - 22.000)
Cauca	51.000 (IC 95% 39.000 - 55.000)	333.000 (IC 95% 252.000 - 358.000)	57.000 (IC 95% 43.000 - 61.000)	19.000 (IC 95% 15.000 - 21.000)
Quindío	46.000 (IC 95% 35000 - 49.000)	297.000 (IC 95% 226.000 - 32.0000)	51.000 (IC 95% 39.000 - 55.000)	17.000 (IC 95% 13.000 - 18.000)
La Guajira	44.000 (IC 95% 34.000 - 48.000)	288.000 (IC 95% 219.000 - 31.0000)	49.000 (IC 95% 37.000 - 53.000)	17.000 (IC 95% 13.000 - 18.000)
Casanare	29.000 (IC 95% 22.000 - 31.000)	189.000 (IC 95% 146.000 - 203.000)	32.000 (IC 95% 25.000 - 35.000)	11.000 (IC 95% 8.000 - 12.000)
Caquetá·	25.000 (IC 95% 19.000 - 27.000)	163.000 (IC 95% 126.000 - 175.000)	28.000 (IC 95% 22.000 - 30.000)	9.000 (IC 95% 7.000 - 10.000)
Chocó	23.000 (IC 95% 18.000 - 24.000)	149.000 (IC 95% 115.000 - 159.000)	25.000 (IC 95% 20.000 - 27.000)	8.600 (IC 95% 6.700 - 9.200)
Arauca	18.000 (IC 95% 14.000 - 19.000)	118.000 (IC 95% 92.000 - 126.000)	20.000 (IC 95% 16.000 - 22.000)	6.800 (IC 95% 5.300 - 7.300)

Putumayo	17.000 (IC 95% 13.000 - 18.000)	112.000 (IC 95% 87.000 - 119.000)	19.000 (IC 95% 15.000 - 20.000)	6.400 (IC 95% 5000 - 6.900)
Guaviare	4.600 (IC 95% 4.000 - 4.900)	30.000 (IC 95% 24.000 - 32.000)	5.100 (IC 95% 4.000 - 5.400)	1.700 (IC 95% 1.400 - 1.800)
San Andrés	4.000 (IC 95% 3.000 - 5.000)	28.000 (IC 95% 22.000 - 30.000)	4.800 (IC 95% 3.800 - 5.100)	1.600 (IC 95% 1.300 - 1.700)
Amazonas	3.700 (IC 95% 3.000 - 3.900)	24.000 (IC 95% 19.000 - 26.000)	4.100 (IC 95% 3.200 - 4.400)	1.400 (IC 95% 1.100 - 1.500)
Vichada	2.600 (IC 95% 2.000 - 2.800)	17.000 (IC 95% 13.000 - 18.000)	2.900 (IC 95% 2.300 - 3.100)	990 (IC 95% 800 - 1.000)
Guainía	2.100 (IC 95% 2.000 - 2.200)	14.000 (IC 95% 11.000 - 15.000)	2.300 (IC 95% 1.900 - 2.500)	780 (IC 95% 600 - 800)
Vaupés	1.200 (IC 95% 1000 - 1.300)	8.000 (IC 95% 6.300 - 8.500)	1.300 (IC 95% 1.100 - 1.400)	450 (IC 95% 400 - 500)
Total nacional *	3.507.000 (IC 95% 2.357.000 - 3.841.000)	22.870.000 (IC 95% 15.371.000 - 25.047.000)	3.901.000 (IC 95% 2.622.000 - 4.272.000)	1.320.000 (IC 95% 887.000 - 1.446.000)

3.3. Estimaciones para Colombia con diferentes intervenciones no farmacológicas

A partir de la información reportada en por el Imperial College de Inglaterra (39), sobre la efectividad de diferentes intervenciones no farmacológicas en la contención del Covid-19 (

Tabla 7), se corrieron los modelos con la aplicación de las medidas por 300 días de forma sostenida o por periodos de 14 o 28 días. Los escenarios corresponden a la población de Inglaterra y fueron estimados a partir de ejercicios de modelación, así que podrían presentar diferencias en su aplicación en nuestro país, pero resultan en un primer referente para estimar el posible impacto de estas intervenciones.

Tabla 7. Descripción de efectividad de intervenciones no farmacológicas descritas por Imperial College aplicadas poblacionalmente en Inglaterra

Intervención	**Efectividad**
Cierre escuelas y universidades	14%
Aislamiento casos	33%
Aislamiento casos + Cuarentena + Distanciamiento social	
Aislamiento casos + Cuarentena	53%
Aislamiento casos + Distanciamiento social	53%
Aislamiento casos + Cuarentena + Distanciamiento social >70 cuatro meses	67%
Cierre escuelas y universidades + Aislamiento casos + Cuarentena + Distanciamiento social >70 cuatro meses	69%

Al incluir la aplicación de las intervenciones de forma sostenida por 300 días, en nuestro modelo de predicción para Colombia, se disminuye el número total de casos para las medidas menos restrictivas (Cierre escuelas y universidades y Aislamiento casos) y disminuye el pico, lo que corresponde con un escenario de mitigación (Figura 9 y

Tabla 8). En el caso de medidas más restrictivas se evita que la epidemia inicie, mientras la medida se mantenga (escenario de supresión con R efectivo menor o igual 1,0). Si las medidas de supresión solo se aplican por un espacio limitado de tiempo, solo retrasa un poco el pico de la epidemia, sin disminuir su altura.

Figura 9. Infecciones diarias y acumuladas según alternativa no farmacológica para Colombia, 2020.

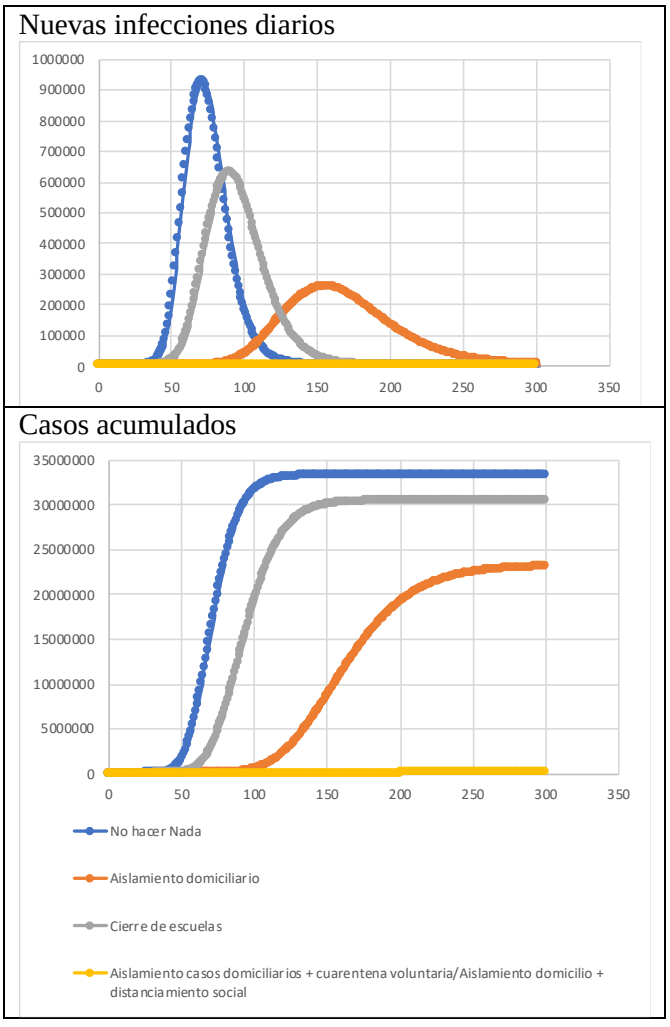


Tabla 8.Casos acumulados al día 100, 200 y 300 para no hacer nada y las intervenciones de cierre de escuelas, aislamiento domiciliario y Aislamiento casos domiciliarios + cuarentena voluntaria o Aislamiento domicilio + distanciamiento social

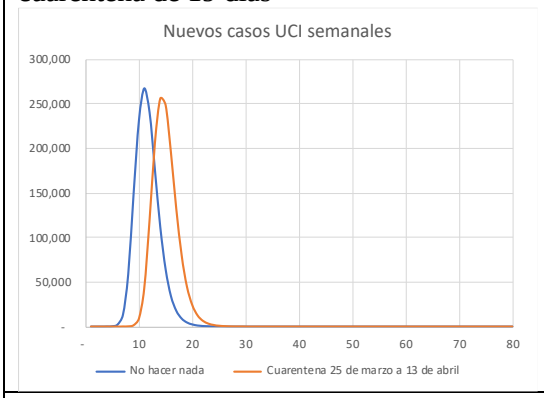
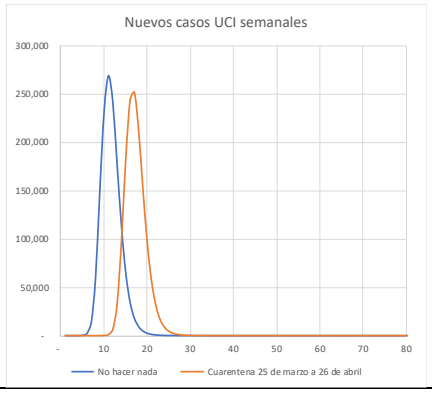
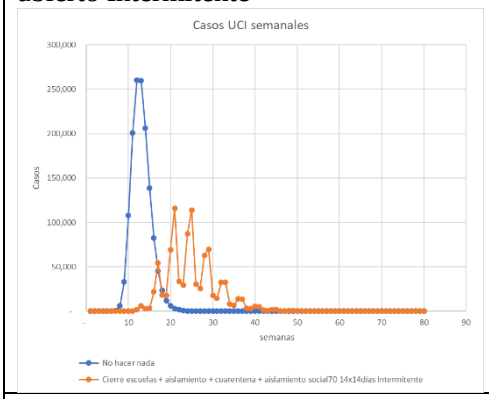
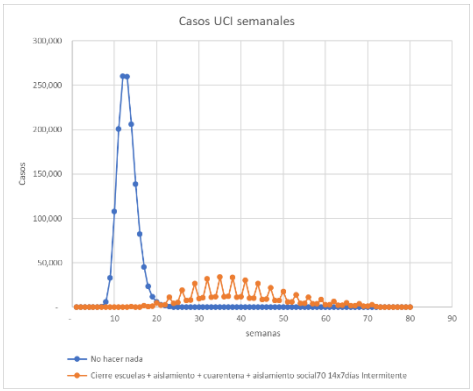
Escenario 1: No hacer Nada			
Día	**Casos**	**Límite inferior**	**Límite superior**
100	31.598.000	21.237.000	34.606.000
200	33.292,400	31.451.000	34.742.000
300	33.292,555	31.453.000	34.742.000
Escenario 2: Cierre de escuelas			
Día	**Casos**	**Límite inferior**	**Límite superior**
100	19.094.000	1.276.000	31.659.000
200	30.422.000	27.828.000	32.470.000
300	30.432.000	27.881.000	32.470.000
Escenario 3: Aislamiento casos en domicilio			
Día	**Casos**	**Límite inferior**	**Límite superior**
100	435.000	6.000	3.381.000
200	19.060.000	1.914.000	26.441.000
300	23.061.000	18.073.000	26.577.000
Escenario 4: Aislamiento casos en domicilio + cuarentena voluntaria/Aislamiento casos en domicilio + distanciamiento social			
Día	**Casos**	**Límite inferior**	**Límite superior**
100	236	63	763
200	3006	96	18.684
300	61.895	115	427.080

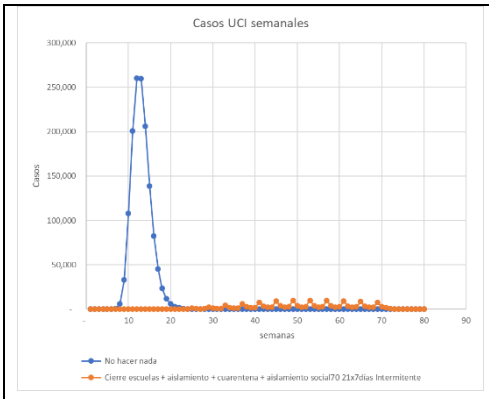
3.4. Efecto de medidas las medidas intermitentes (supresión-mitigación)

Se estimaron los valores semanales de infectados, casos sintomáticos y hospitalizados, comparando el escenario de no hacer nada con la aplicación de las medidas mas restrictivas propuestas por el Imperial College (Cierre escuelas + aislamiento de casos + cuarentena + aislamiento social de mayores de 70, efectividad del 69%) pero de forma intermitente. La

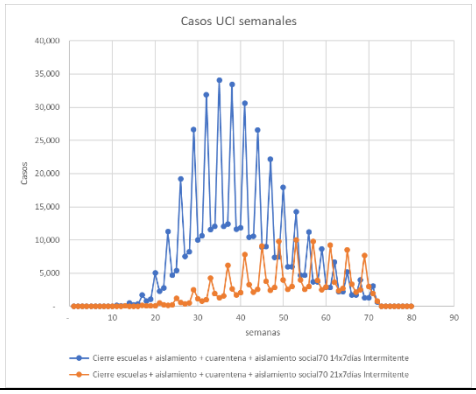
Figura 10 presenta los resultados comparativos de las diferentes estrategias agrupando los casos nuevos por semana para el desenlace de hospitalizaciones en UCI. Para la presentación de estos resultados de casos nuevos de UCI se asumió un intervalo de tiempo de cuatro días entre el inicio de síntomas y el ingreso a UCI en los casos críticos.

Figura 10. Nuevos casos semanales de UCI, para la cuarentena inicial decretada desde el 25 de marzo y diferentes combinaciones de intermitencia, con 11,1% de infectados asintomáticos. Colombia, 2020

<table>
<tr>
<td>Estimaciones de UCI, no hacer nada versus cuarentena de 19 días
 
</td>
<td>Estimaciones de UCI, no hacer nada versus cuarentena de 33 días
 
</td>
</tr>
<tr>
<td>Estimaciones de UCI, no hacer nada versus Cierre escuelas + aislamiento + cuarentena + aislamiento social70 14cerrado x14 días abierto Intermitente
 
</td>
<td>Estimaciones de UCI, no hacer nada versus Cierre escuelas + aislamiento + cuarentena + aislamiento social70 14 cerrado x7 días abierto. Intermitente
 
</td>
</tr>
<tr>
<td>Estimaciones de UCI, no hacer nada versus Cierre escuelas + aislamiento + cuarentena + aislamiento social70 21 cerrado x 7 días abierto Intermitente</td>
<td>Detalle de la comparación Cierre escuelas + aislamiento + cuarentena + aislamiento social70</td>
</tr>
</table>



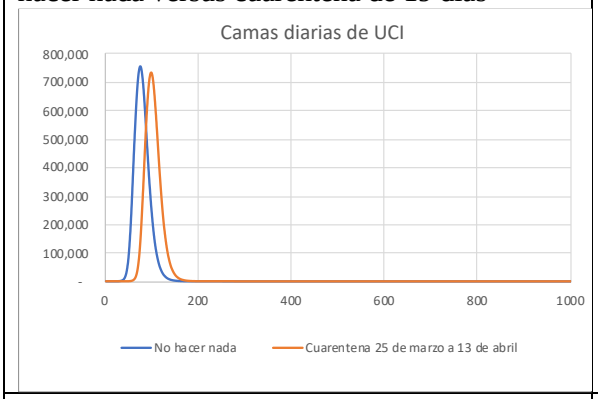
14 cerrado x 7 días abierto versus 21x7 días.



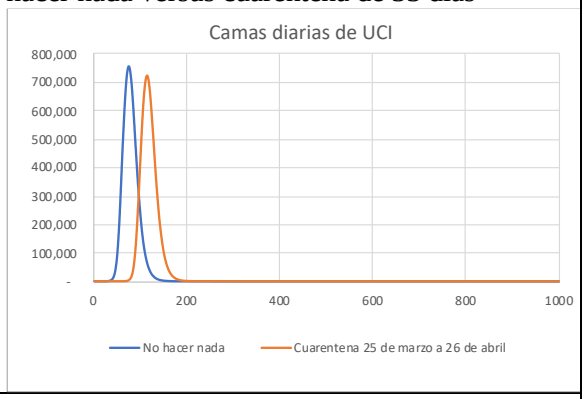
La Figura 11 presenta los resultados de los casos diarios de UCI por Covid-19, asumiendo estancias de hospitalización en UCI de 10 días.

Figura 11. Camas diarias de UCI, para la cuarentena inicial decretada desde el 25 de marzo y diferentes combinaciones de intermitencia, con 11,1% de infectados asintomáticos. Colombia, 2020

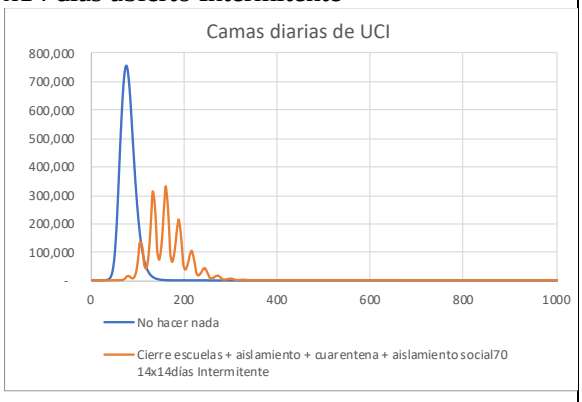
Estimaciones de camas diarias de UCI, no hacer nada versus cuarentena de 19 días



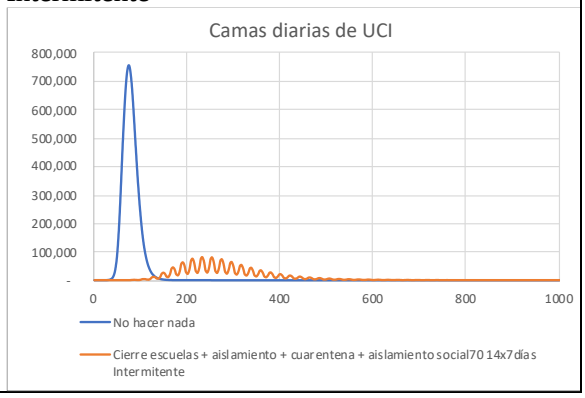
Estimaciones de camas diarias de UCI, no hacer nada versus cuarentena de 33 días

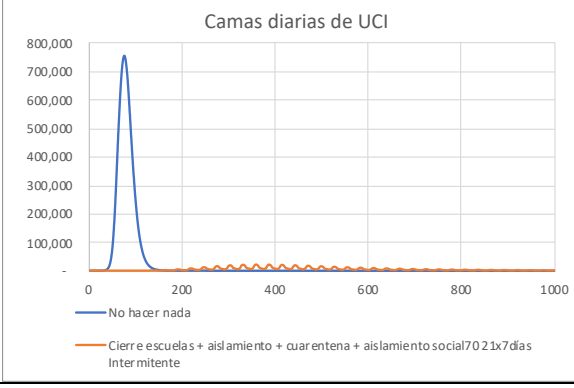
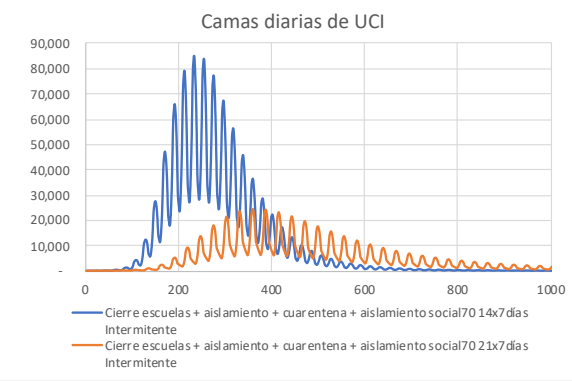


Estimaciones de camas diarias UCI, no hacer nada versus Cierre escuelas + aislamiento + cuarentena + aislamiento social70 14cerrado x14 días abierto Intermitente



Estimaciones de camas diarias de UCI, no hacer nada versus Cierre escuelas + aislamiento + cuarentena + aislamiento social70 14 cerrado x7 días abierto. Intermitente



Estimaciones de camas diarias de UCI, no hacer nada versus Cierre escuelas + aislamiento + cuarentena + aislamiento social70 21 cerrado x 7 días abierto Intermitente	Detalle de la comparación de camas diarias de UCI Cierre escuelas + aislamiento + cuarentena + aislamiento social70 14 cerrado x 7 días abierto versus 21x7 días.
	

3.5. Estimaciones en Colombia con un mayor valor de infecciones asintomáticas

Se corrió el modelo de Colombia con una redistribución diferente de manifestación de síntomas entre los infectados. En el escenario base se consideró qué solo el 11,1% de los infectados no manifestaban los síntomas, sin embargo, comparado con otros ejercicios de modelación este valor parece muy bajo (40–43). Por esta razón se corrieron modelos con el 50 y 80% de asintomáticos, a partir de evidencia reciente. El modelo considera que el potencial infeccioso de los casos asintomáticos era igual que los sintomáticos, por lo que estas nuevas modelaciones no cambiaban los totales infectados estimados, ni el comportamiento general del sistema bajo cada alternativa, las modificaciones se reflejan en un menor valor de casos sintomáticos y muertos. En la Tabla 9 se presenta los resultados generales y la desagregados por severidad al día 100 de estos nuevos escenarios en comparación con el caso base.

Tabla 9. Distribución probable de casos infectados por Covid-19 según severidad en Colombia utilizando R0 de 2,28 y dos escenarios con 50 y 80% de infecciones asintomáticas al día 100.

Distribución	**11,1% asintomáticos**	**50% asintomáticos**	**80% asintomáticos**
Casos totales	31.598.000 (IC 95% 21.237.000- 34.606.000)		
Asintomáticos	3.507.000 (IC 95% 2.357.000– 3.841.000)	15.799.000 (IC 95% 10.618.000– 17.303.000)	25.779.000 (IC 95% 16.989.000 – 27.685.000)
Leves	22.870.000 (IC 95% 15.371.000 – 25.047.000)	12.863.000 (IC 95% 8.645.000 – 14.087.000)	5.145.000 (IC 95% 3.458.000 – 5.635.000)
Severos (Hospitalización)	3.901.000 (IC 95% 2.622.000 – 4.272.000)	2.194.000 (IC 95% 1.475.000 – 2.403.000)	878.000 (IC 95% 590.000 – 961.000)
Críticos (UCI)	1.320.000 (IC 95% 887.000 – 1.446.000)	742.000 (IC 95% 499.000 – 813.000)	297.000 (IC 95% 200.000 – 325.000)
Muertes	317.000 (IC 95% 194.000 - 380.000)	178.000 (IC 95% 109.000 - 214.000)	71.000 (IC 95% 44.000 – 86.000)

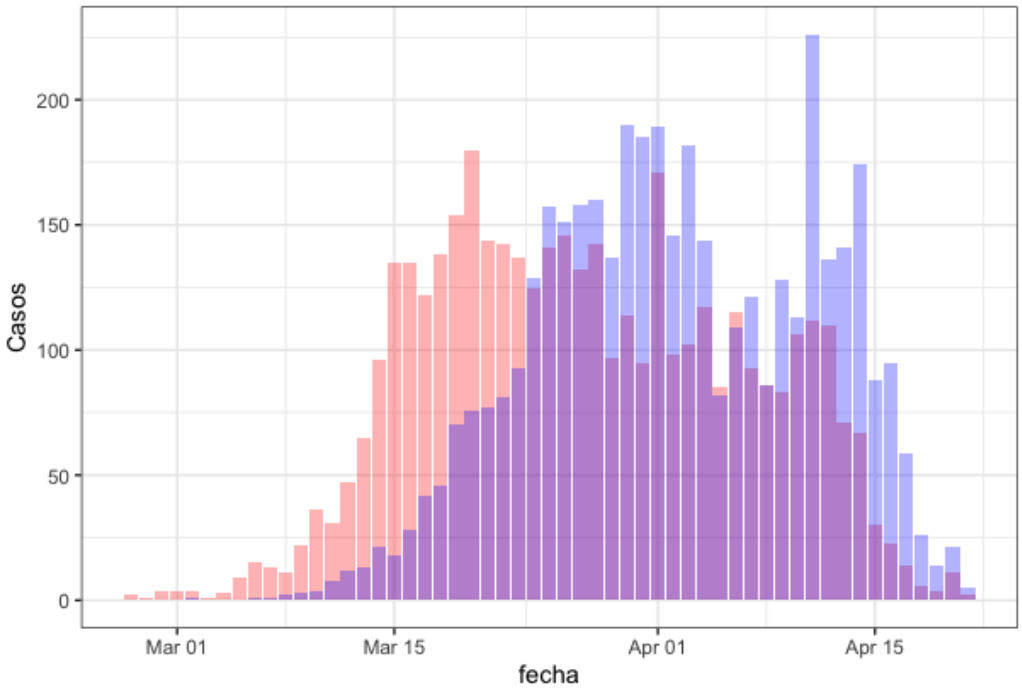
Los resultados son muy sensibles al porcentaje de asintomáticos modelado, parámetro de gran incertidumbre en este momento. Con 50% de las infecciones asintomáticas las necesidades de UCI disminuyen a 742 mil pacientes, hasta el día 100, y las muertes a 178 mil, mientras que, si el porcentaje de asintomáticos es del 80%, los pacientes que requerirían UCI en los primeros 100 días disminuyen a 297 mil y las muertes a 71 mil. Todos estos escenarios sin ninguna intervención. El comportamiento con intervenciones (disminución) se mantiene para los diferentes valores de infectados asintomáticos, aunque los picos de uso de servicios son mas bajos, dependiendo del escenario modelado, la intervención aplicada y la duración de esta.

3.6. Estimaciones del R efectivo antes y durante la cuarentena del 25 marzo a 26 de abril

A partir de la información reportada al INS con la fecha de inicio de síntomas (Figura 12) se estimó el R efectivo de transmisión es Colombia, en relación con las medidas de intervención no farmacológica tomadas. Para dicho cálculo se consideró únicamente los casos de transmisión local, y se realizó un ajuste en la notificación y diagnóstico por el método Chain Ladder (44)[1] que tiene en cuenta el histórico del periodo de tiempo entre el inicio de síntomas, notificación y diagnóstico de cada paciente, y permite calcular, con base en esos históricos, los casos esperados aun por falta de notificación. De esta manera la estimación del Rt no se ve afectada por potenciales casos que ya han iniciado síntomas, pero que aun no has sido notificados ni diagnosticados (según los tiempos promedio de los casos ya diagnosticados).

Figura 12. Comparación entre reporte de casos por fecha de inicio de síntomas y fecha de diagnóstico. Colombia, corte a 21 de abril

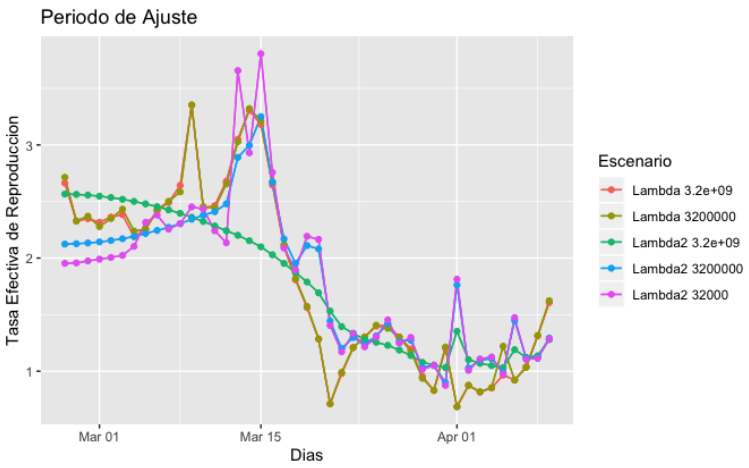
[1] La implementación de esta metodología, así como la estimación del R efectivo, realizadas a partir de la información de vigilancia en salud pública, fue implementado gracias al apoyo de Nicolas Páez-Salamanca del Myanmar Development Institute



Con base en los casos ajustados (no presentados en este informe) y la implementación de algoritmos de optimización sobre un modelo SIR ampliado, que usa inicialmente los mismos parámetros del SIR presentado en la metodología, se estimó el R efectivo en cada momento de la epidemia en Colombia con metodologías de minimización de cuadrados en modelos de series temporales con variaciones en el parámetro Lambda (Figura 13), así como estimación bayesianas y dependiente de tiempo de los números reproductivos básicos. Se implementaron metodologías de estimación de bayesiana y dependiente de tiempo con paquetes de análisis disponibles en R (45). Con mayor variabilidad al inicio del periodo (datos no mostrados) pero con valores que convergen a las estimaciones por minimización de diferencia cuadrados.

La estimación del R efectivo al inicio de la transmisión ese encontró alrededor de 2,5 (superior al 2,28 incluido en el modelo, aunque el rango de variación del parámetro incluía dicho valor). Entre el 11 y 25 de marzo el R efectivo cayó entre 2,5 y un poco menos de 1,5. Entre el 26 de marzo y los primeros días de abril el R efectivo está convergiendo a un valor ente 1,0 y 1,2 (Figura 13).

Figura 13. R efectivo estimado, a partir de la información de reporte de casos de transmisión local. Colombia a corte 14 de abril de 2020



Con esta información se recalcularon las efectividades de las medidas de distanciamiento social implementadas antes de la cuarentena y la propia cuarentena entre decretada entre el 25 de marzo y 26 de abril de 2020.

Tabla 10. Estimaciones de efectividad y R efectivo en los diferentes escenarios de intervención

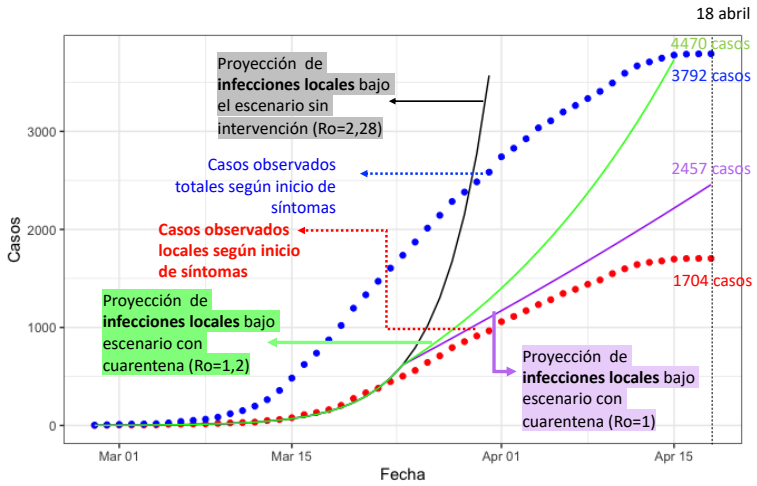
Medida	**Efectividad asumida del Imperial College [1]**	**R bajo la intervención asumido en *a priori* de la intervención [2] = (1-[1]) x 2,28**	**R efectivo del periodo a partir de la medición en casos locales [3]**	**Efectividad real estima de la medida (estimado contra un R0 de 2,5) [4] = 1-([3]/2,5)**
Cierre de colegíos y universidades + aislamiento de casos y aislamiento social de mayores de 70 años	33%	1,53 *	1,5	40%
Cuarentena: Aislamiento preventivo obligatorio	69%	0,71	1,0 a 1,2	52 a 60%

* No incluido en el modelo de estimación inicial

3.7. Estimaciones para escenarios futuros con los parámetros ajustados

Con estos nuevos parámetros se ajustaron las predicciones de casos, inicialmente a corte de 26 de abril, día en que termina la cuarentena (Figura 14). Se presentan los escenarios con un R efectivo de 1,0 y 1,2. La Tabla 11 muestra los principales resultados acumulados al día 100 en nueve escenarios, varando la proporción de asintomáticos y diferentes niveles del R efectivo.

Figura 14. Ajustes de curvas de predicción ajustadas con la curva de casos de transmisión local reportados. Colombia, a corte de 14 de abril



* Cualquier subregistro, ocasiona que las curvas de predicción se desplacen unos días atrás, y que el número de casos esperados sea mayo

Tabla 11. Estimaciones de casos esperados al final de la cuarentena (26 de abril), bajo diferentes escenarios

Resultado	R 2,28 (No hacer nada)	R efectivo de 1,2	R efectivo de 1,0
11,1% asintomáticos			
Casos sintomáticos acumulados (solo transmisión local)	1.594.312 (IC 95% 30.340 – 10.680.455)	5589 (IC 95% 801 – 23.931)	2515 (IC 95% 462 – 9567)
Acumulados UCI	74.915 (IC 95% 1426 – 501.860)	263 (IC 95% 38 – 1125)	118 (IC 95% 22 – 450)
Camas de UCI	29.700 (IC 95% 602 – 206.289)	88 (IC 95% 10 – 402)	29 (IC 95% 4 – 120)
Muertes	18.186 (IC 95% 346 – 124.788)	64 (IC 95% 9 – 282)	28 (IC 95% 5 – 112)
50% asintomáticos			
Casos sintomáticos acumulados (solo transmisión local)	2.684.702 (IC 95% 52.104 – 12.755.133)	17.670 (IC 95% 1250 – 96.132)	7.811 (IC 95% 782 – 37.946)
Acumulados UCI	71.378 (IC 95% 1.294 – 431.482)	662 (IC 95% 52 – 3.493	327 (IC 95% 34 – 1.560)
Camas de UCI	31.380 (IC 95% 546 – 215.836)-	246 (IC 95% 15 – 1.375)	91 (IC 95% 7 – 475)
Muertes	23.453 (IC 95% 429 – 128.223)	180 (IC 95% 14 – 989)	84 (IC 95% 9 – 433)
80% asintomáticos			
Casos sintomáticos acumulados (solo transmisión local)	5.369.404 (IC 95% 104.208 - 25.510.265)	35.339 (IC 95% 2.499 - 192.264)	15.622 (IC 95% 1.563 - 75.891)
Acumulados UCI	28.551 (IC 95% 518 – 172.593	265 (IC 95% 21 – 1.397)	131 (95% 14- 624)
Camas de UCI	12.552 (IC 95% 218- 86.334)	99 (IC 95% 6- 550)	37 (IC 95% 1-28)

Muertes	12.252 (IC 95% 234 – 58.638)	81 (IC95% 6 – 449)	36 (4 – 178)

Escenarios adicionales, que modelaban la situación posterior a la cuarentena fueron modelados, simulando la combinación y duración de diferentes medidas y teniendo siempre de referente el impacto que tienen el porcentaje de asintomáticos usado. Se combinan el efecto de cuarentenas intermitentes y medidas de aislamiento social mas laxas generando escenarios de mitigación, mitigación supresión. Todos estos valores se deben comparar con la capacidad instalada, especialmente en términos de camas de UCI (Figura 16 y Figura 17).

Figura 15. Modelos de predicción de camas diarias de UCI bajo dos intervenciones intermitentes, asumiendo un R efectivo en cuarentena de 1,0 y un R efectivo de cierre de colegios y universidades y aislamiento de casos de 1,5 con 11,1% de asintomáticos.

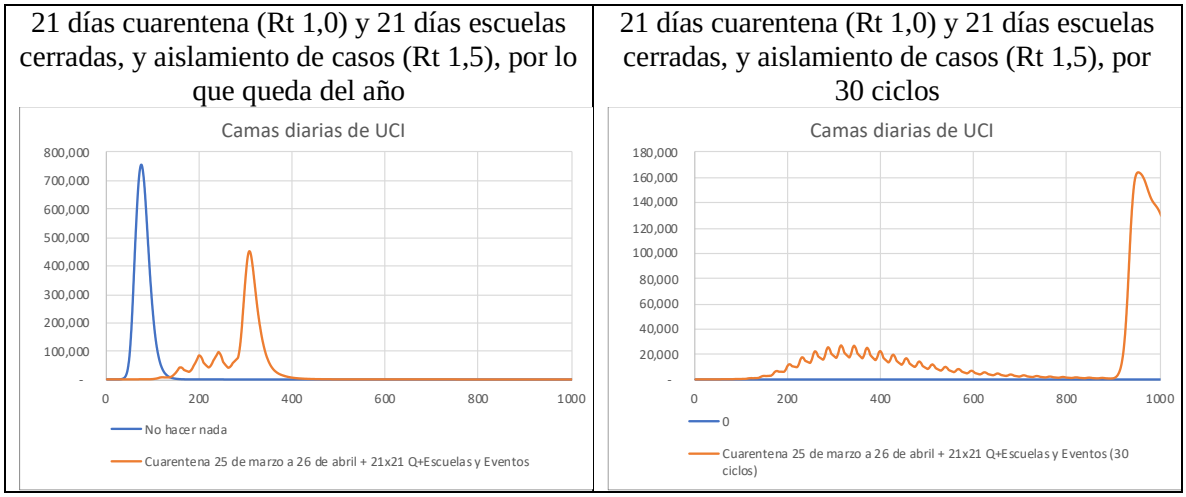
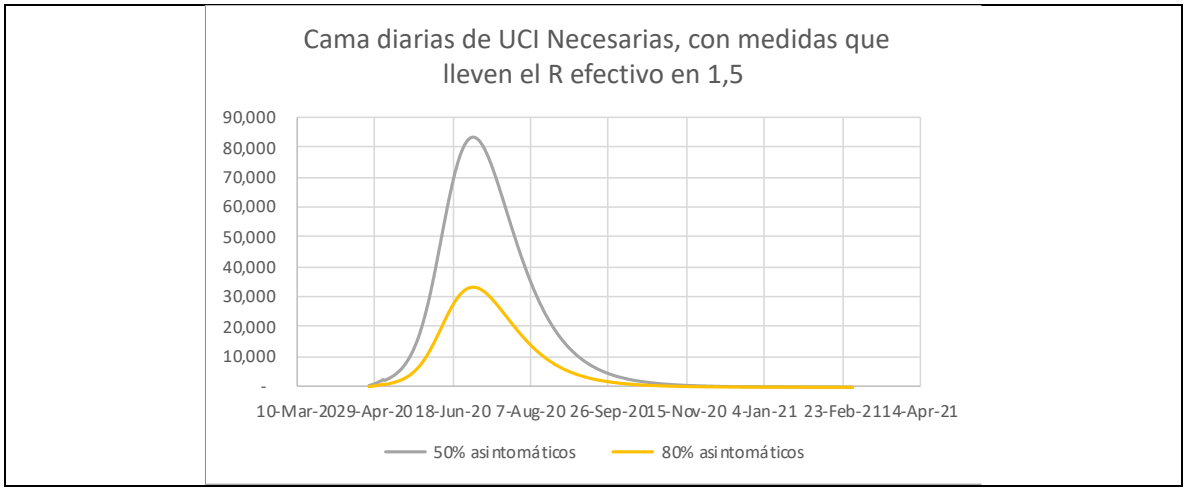


Figura 16. Modelos de predicción de camas diarias de UCI bajo dos intervenciones intermitentes sostenidas por 300 días desde 26 de abril, asumiendo diferentes valores de R efectivo y con porcentaje de casos asintomáticos del 50 y 80%.



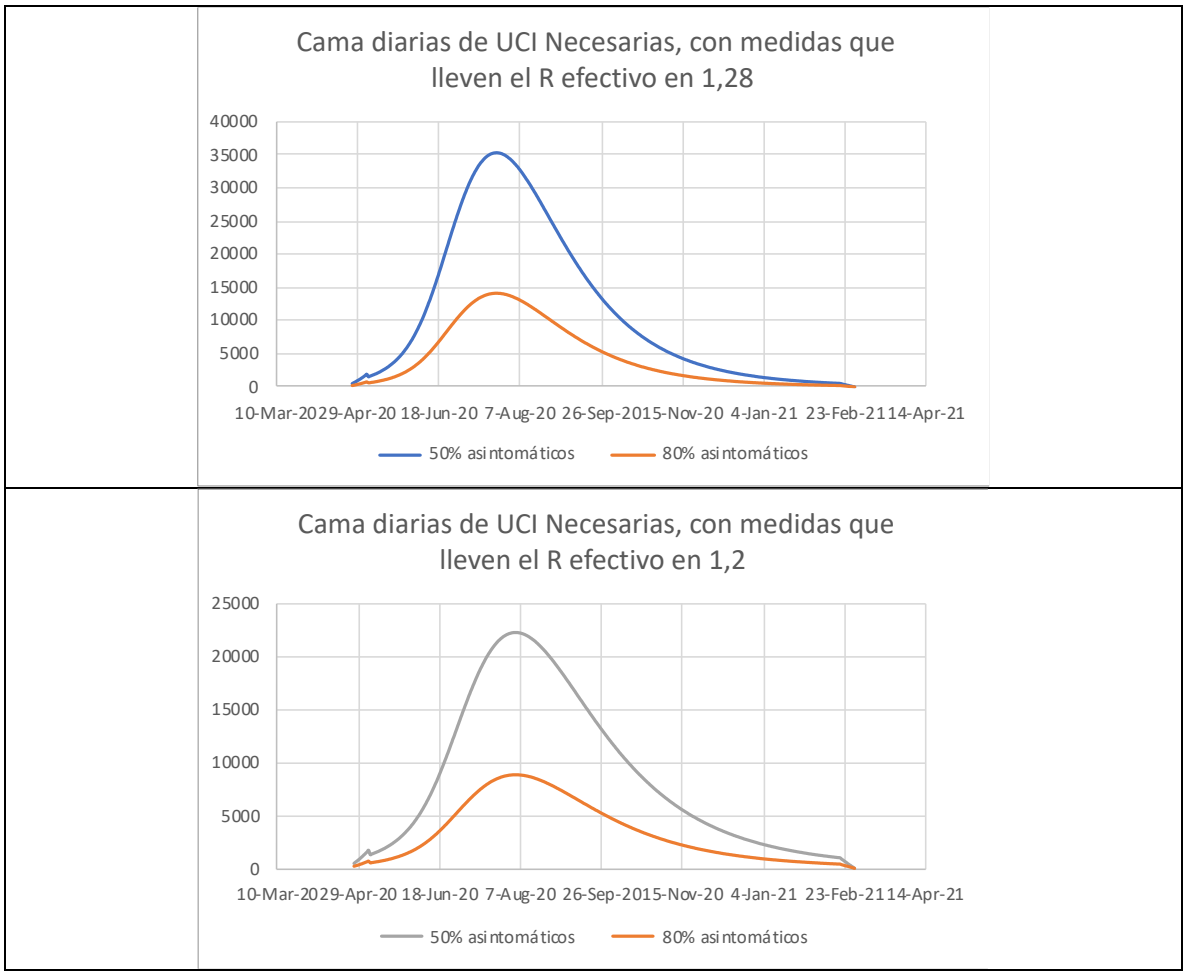
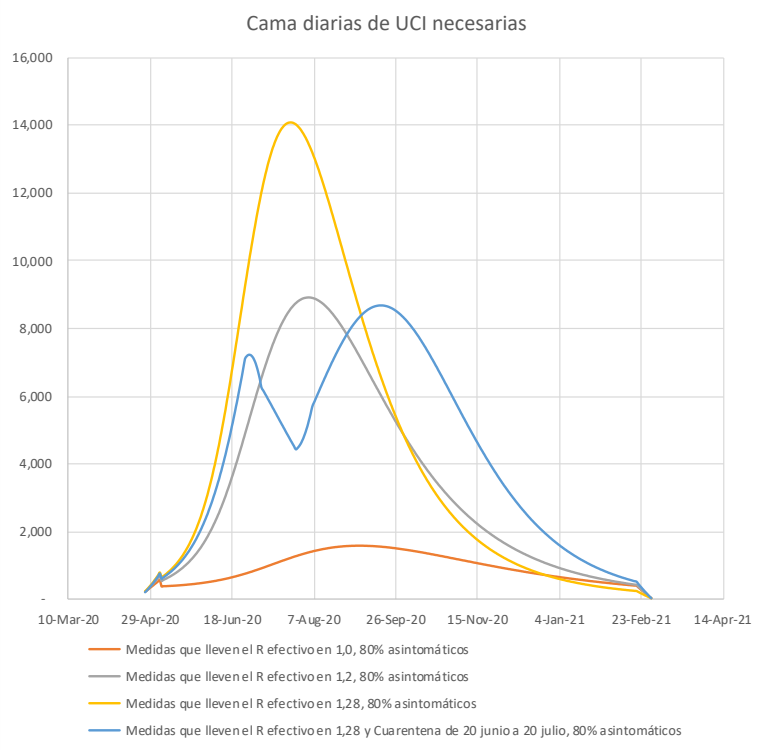


Figura 17. Curvas de predicción de camas diarias de UCI necesarias a diferentes valores de Rt y partiendo de 24 mil casos activos a finalizar la cuarentena el 26 de abril. Colombia 2020.



4. Conclusiones

El modelo SIR aplicado a la provincia de Hubei en China y el crucero "Diamond Princess" genera resultados probabilísticos más cercanos a los presentados en la realidad utilizando el número básico de reproducción (R0) 2,28, por lo que, para Colombia, en el escenario sin intervención se modelaron los desenlaces con ese R0. Posteriormente se realizaron estimaciones con los datos nacionales para validar ese parámetro.

Las estimaciones de infectados y casos sintomáticos varían significativamente con pequeños cambios en el R0. Esto implica que a pesar del número importante de casos que podría haber en Colombia y en las diferentes entidades territoriales, las medidas de control que modifiquen el R0, así sea de forma marginal, puede disminuir la cantidad de casos, casos severos y muertes, cuando se lleven a los escenarios de mitigación.

Persiste la incertidumbre sobre el porcentaje de casos asintomáticos, lo que tiene un impacto directo en el número estimado de casos complicados y muertes. Aun en escenarios más optimistas con 80% de asintomáticos, el no hacer nada o estrategias de supresión, estiman picos muy por encima de la capacidad instalada.

Se estimaron en Colombia 31.598.000 (IC 95% 21.237.000 - 34.606.000) infectados de coronavirus en los primeros 100 días del brote en el escenario de no hacer nada. El 50% de los posibles casos infectados se concentraría en los departamentos de Bogotá, D.C., Antioquia, Valle del Cauca, y Atlántico. Respecto a las tasas de ataque tendrían valores que oscilarían entre 81 y 85%. Se estiman 321.000 (IC 95% 212.000 - 381.000) muertes. La mayoría de los casos serían leves o asintomáticos, pero un total de 5.221.000 (IC 95% 3.509. 000 – 5.718. 000 casos pueden requerir hospitalización, lo que implicaría costos significativos en su atención. Con valores mayores de asintomáticos las cifras de UCI necesaria y muertes son mucho menores, aunque aún están por encima de la capacidad

disponible de UCI en la mayoría de los escenarios. Lo valores de severidad y muerte dependen del porcentaje de asintomáticos usado en la modelación.

Los departamentos con el menor número de casos severos y muertes serían Vaupés 450 (IC 95% 400 - 500), Guainía 780 (IC 95% 600 - 800) , Vichada 990 (IC 95% 800 - 1.000), Amazonas 1.400 (IC 95% 1.100 - 1.500) y San Andrés 1.600 (IC 95% 1.300 - 1.700), sin embargo, se debe tener en cuenta que estas entidades territoriales no cuentan con más de cinco UCI en el mejor de los escenarios (46).

El número de casos severos y muertes presentados con este modelo SIR, demuestran que, tanto a nivel nacional como local, se necesitan tomar intervenciones efectivas, que mitiguen el impacto social y económico que el avance de la pandemia pueda generar.

De acuerdo con las medidas de efectividad propuestas por del Imperial College adaptadas para Colombia, se evidencia que cualquier medida que se implemente debe ser realizada a largo plazo, ya su aplicación por solo dos a cuatro semanas retasaría el pico de la epidemia, pero no su magnitud. Según los resultados de este modelo, la mejor medida es la combinación entre el cierre de escuelas, aislamiento social de mayores de 70 años, cuarentena y asilamiento social de mayores de 70 años por 14 días. Medidas que lleven a R efectivo de uno o menos (supresión), desplazan la curva, mientras estrategias de mitigación, escenarios con un R efectivo por encima de uno, potencialmente disminuyen el pico, aunque en la mayoría de escenarios se excede la capacidad disponible en camas de UCI.

El presente modelo está implementado con la evidencia científica disponible, que se viene actualizando de forma continua, por lo que los parámetros podrían ajustarse de acuerdo con los nuevos hallazgos con calidad cada vez más notoria y las estimaciones recalculadas. Las efectividades de las intervenciones no farmacológicas fueron inicialmente asumidas de un estudio de modelación de Inglaterra por lo que su aplicación podría tener una efectividad diferente en el escenario colombiano, además la intermitencia puede implicar variaciones en la efectividad, por ejemplo, por el aislamiento en casa de personas que se hayan infectado durante el periodo de no restricción.

Todo lo anterior implica que los modelos deben ser ajustados con los resultados que vayan reportándose a medida que se implementen las medidas. Esta es una práctica usual en la calibración de modelos predictivos, especialmente de eventos sujetos a un portante nivel de incertidumbre, y sobre todo cuando los modelos se usen como insumos a la hora de tomar decisiones.

Referencias

1. Gorbalenya AE, Baker SC, Baric RS, Groot RJ de, Drosten C, Gulyaeva AA, et al. Severe acute respiratory syndrome-related coronavirus – The species and its viruses, a statement of the Coronavirus Study Group. bioRxiv. 2020;2020.02.07.937862.

2. Chan JFW, Kok KH, Zhu Z, Chu H, To KKW, Yuan S, et al. Genomic characterization of the 2019 novel human-pathogenic coronavirus isolated from a patient with atypical pneumonia after visiting Wuhan. Emerg Microbes Infect. 2020;9(1):221–36.

3. Lu R, Zhao X, Li J, Niu P, Yang B, Wu H, et al. Genomic characterisation and epidemiology of 2019 novel coronavirus: implications for virus origins and receptor binding. Lancet. 2020;395(10224):565–74.

4. Zhu N, Zhang D, Wang W, Li X, Yang B, Song J, et al. A Novel Coronavirus from Patients

with Pneumonia in China, 2019. N Engl J Med. 2020;727–33.

5. Lam TT-Y, Shum MH-H, Zhu H-C, Tong Y-G, Ni X-B, Liao Y-S, et al. Identification of 2019-nCoV related coronaviruses in Malayan pangolins in southern China. bioRxiv. 2020;2020.02.13.945485.

6. Zhang L, Shen F, Chen F, Lin Z. Origin and evolution of the 2019 novel coronavirus. Clin Infect Dis. 2020;(Ml):2019–20.

7. Chan JFW, Yuan S, Kok KH, To KKW, Chu H, Yang J, et al. A familial cluster of pneumonia associated with the 2019 novel coronavirus indicating person-to-person transmission: a study of a family cluster. Lancet. 2020;395(10223):514–23.

8. Guan W-J, Ni Z-Y, Hu Y, Liang W-H, Ou C-Q, He J-X, et al. Clinical Characteristics of Coronavirus Disease 2019 in China. N Engl J Med. 2020;1–13.

9. Zhou P, Yang X-L, Wang X-G, Hu B, Zhang L, Zhang W, et al. A pneumonia outbreak associated with a new coronavirus of probable bat origin. Nature. 2020;

10. Wang D, Hu B, Hu C, Zhu F, Liu X, Zhang J, et al. Clinical Characteristics of 138 Hospitalized Patients with 2019 Novel Coronavirus-Infected Pneumonia in Wuhan, China. JAMA - J Am Med Assoc. 2020;1–9.

11. Chen N, Zhou M, Dong X, Qu J, Gong F, Han Y, et al. Epidemiological and clinical characteristics of 99 cases of 2019 novel coronavirus pneumonia in Wuhan, China: a descriptive study. Lancet. 2020;395(10223):507–13.

12. Huang C, Wang Y, Li X, Ren L, Zhao J, Hu Y, et al. Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. Lancet. 2020;395(10223):497–506.

13. Epidemiology Working Group for NCIP Epidemic Response CC for DC and P. [The Epidemiological Characteristics of an Outbreak of 2019 Novel Coronavirus Diseases (COVID-19) in China]. Chinese J Epidemiol. 2020;41(02):145–51.

14. World Health Organization. Coronavirus disease 2019 (COVID-19): situation report—30. 2020.

15. Lipsitch M, Phil D, Swerdlow DL, Finelli L. Defining the Epidemiology of Covid-19 — Studies Needed Marc. N Engl J Med. 2020;1–3.

16. Lipsitch M, Donnelly CA, Fraser C, Blake IM, Cori A, Dorigatti I, et al. Potential biases in estimating absolute and relative case-fatality risks during outbreaks. PLoS Negl Trop Dis. 2015;9(7):1–16.

17. Uribarri S, Rodríguez Meza M, Cervantes Cota J. Las matemáticas de las epidemias: caso México 2009 y otros. Cienc Ergo Sum. 2013;20(3):238–46.

18. Ministerio de sanidad. Actualización nº 33. Enfermedad por el coronavirus (COVID-19) 28.02.2020. 2020.

19. Zhang S, Diao M, Yu W, Pei L, Lin Z, Chen D. Estimation of the reproductive number of Novel Coronavirus (COVID-19) and the probable outbreak size on the Diamond Princess cruise ship: A data-driven analysis. Int J Infect Dis. 2020;1–9.

20. Hopkins JU. Coronavirus COVID-19 Global Cases by Johns Hopkins CSSE.

21. Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE. Proyecciones de Poblaciòn

2018-2023.

22. Wu JT, Leung K, Leung GM. Nowcasting and forecasting the potential domestic and international spread of the 2019-nCoV outbreak originating in Wuhan , China : a modelling study. Lancet. 2020;395(10225):689–97.

23. Linton NM, Kobayashi T, Yang Y, Hayashi K, Nishiura H. Incubation Period and Other Epidemiological Characteristics of 2019 Novel Coronavirus Infections with Right Truncation : A Statistical Analysis of Publicly Available Case Data. Clin Med (Northfield Il). 2019;9:1–9.

24. Chen T, Rui J, Wang Q, Zhao Z, Cui J-A, Yin L. A mathematical model for simulating the transmission of Wuhan novel Coronavirus. Infect Dis Poverty. 2020;9(24):1–8.

25. Verity R, Okell LC, Dorigatti I, Winskill P, Whittaker C, Imai N, et al. Estimates of the severity of COVID-19 disease. medRxiv. 2020;2020.03.09.20033357.

26. Chinese Center for Disease Control and Prevention. The epidemiological characteristics of an outbreak of 2019 novel coronavirus diseases (COVID-19) in China. China J Epidemiol. 2020;41(2):141–51.

27. Ministry of Health Labour and Welfare. About Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) | CDC [Internet]. Ministry of Health Labour and Welfare, Japan. 2020. Available from: https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/newpage_00032.html

28. Yang X, Yu Y, Xu J, Shu H, Xia J, Liu H, et al. Clinical course and outcomes of critically ill patients with SARS-CoV-2 pneumonia in Wuhan, China: a single-centered, retrospective, observational study. Lancet Respir Med. 2020 Feb;

29. Mizumoto K, Chowell G. Transmission potential of the novel coronavirus (COVID-19) onboard the diamond Princess Cruises Ship, 2020. Infect Dis Model. 2020;

30. Mizumoto K, Kagaya K, Zarebski A, Chowell G. Estimating the asymptomatic proportion of coronavirus disease 2019 (COVID-19) cases on board the Diamond Princess cruise ship, Yokohama, Japan, 2020. Euro Surveill. 2020;

31. Ministry of Health Labour and Welfare. About Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). 2020.

32. Arima Y, Shimada T, Suzuki M, Suzuki T, Kobayashi Y, Tsuchihashi Y, et al. Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 Infection among Returnees to Japan from Wuhan, China, 2020. Emerg Infect Dis. 2020 Jul;26(7).

33. Gudbjartsson DF, Helgason A, Jonsson H, Magnusson OT, Melsted P, Norddahl GL, et al. Spread of SARS-CoV-2 in the Icelandic Population. N Engl J Med. 2020 Apr;NEJMoa2006100.

34. Roxby AC, Greninger AL, Hatfield KM, Lynch JB, Dellit TH, James A, et al. Detection of SARS-CoV-2 Among Residents and Staff Members of an Independent and Assisted Living Community for Older Adults — Seattle, Washington, 2020. MMWR Morb Mortal Wkly Rep. 2020 Apr;69(14):416.

35. Lytras T, Dellis G, Flountzi A. High prevalence of SARS-CoV-2 infection in repatriation flights to Greece from three European countries. J Travel Med. 2020;16.

36. Sutton D, Fuchs K, D'Alton M, Goffman D. Universal Screening for SARS-CoV-2 in

Women Admitted for Delivery. N Engl J Med. 2020 Apr;NEJMc2009316.

37. World Health Organization (WHO). Novel Coronavirus (2019-nCoV) Situation Report - 1 21 January 2020. WHO Bulletin. 2020.

38. World Health Organization (WHO). Novel Coronavirus (2019-nCoV) Situation Report - 7 27 January 2020. WHO Bulletin. 2020.

39. Ferguson NM, Laydon D, Nedjati-gilani G, Imai N, Ainslie K, Baguelin M, et al. Impact of non-pharmaceutical interventions (NPIs) to reduce COVID- 19 mortality and healthcare demand. Imp Coll. 2020;(March).

40. Manrique-Abril FG, Agudelo-Calderon CA, González-Chordá VM, Gutiérrez-Lesmes O, Téllez-Piñerez CF, Herrera-Amaya G. Modelo SIR de la epidemia de COVID-19 en Colombia. 2020;22:1–9.

41. Manrique Abril FG. Predicciones Covid19 Colombia. Facebook. 2020.

42. Lobelo F (@felipelobelo). Estimación de la carga de enfermedad y hospitalaria por COVID-19 Colombia. Twitter. 2020.

43. Alayón JL. Modelo Básico de Proyección del Covid 19 para Colombia. Portafolio. 2020.

44. Schmidt KD. Chain Ladder Prediction and Asset Liability ManagementChain-Ladder-Prognosen und Asset-Liability-Management. Blätter der DGVFM. 1999;

45. Boelle P-Y, Obadia T. R0: Estimation of R0 and Real-Time Reproduction Number from Epidemics [Internet]. 2015-05-21. Available from: https://cran.r-project.org/package=R0

46. Ministerio de Salud de Colombia. Registro Especial de Prestadores de Servicios de Salud (REPS). Información de la base de datos de las Entidades Departamentales y Distritales de Salud. Capacidad instalada. 2020.