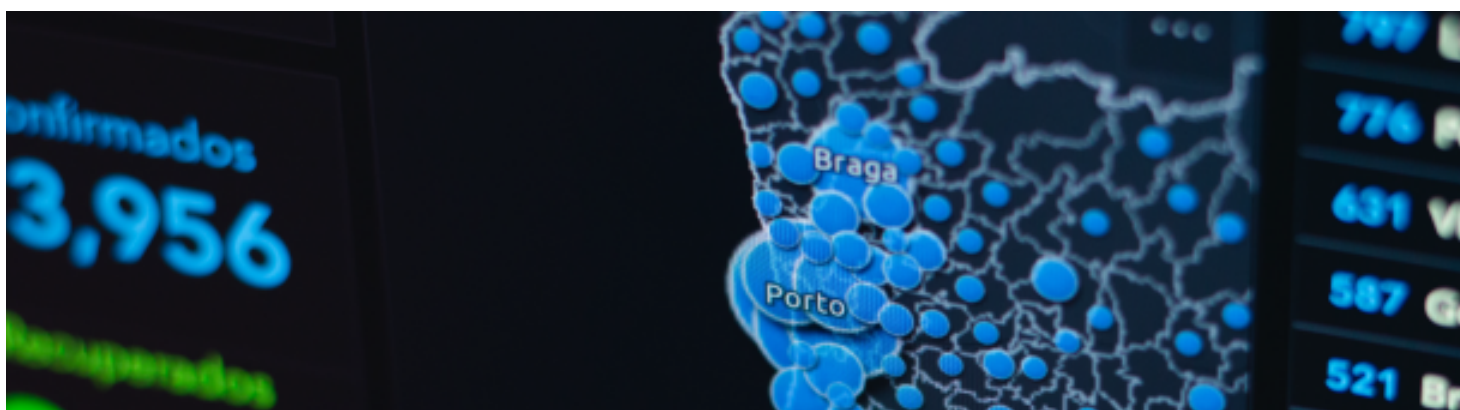


LOS MODELOS MATEMÁTICOS en la estimación del posible contagio de COVID 19 por municipio



Lorena Maldonado, Jean Carlo Pineda, Karol Cotes-Cantillo, Carlos Castañeda-Orjuela, Nelson Alvis, Rosanna Camerano, Pablo Chaparro, Ángela Chocontá, Diana Díaz, Liliana Hilarión, Kristel Hurtado, Sandra Misnaza, Gina Vargas

Introducción

La emergencia sanitaria generada por el COVID-19 ha significado uno de los retos más importantes para la salud pública del país, no sólo por los requerimientos en la capacidad de atención clínica, sino también por la demanda de información vital para apoyar la toma de decisiones de política pública orientadas a mitigar y gestionar esta contingencia respondiendo a las realidades socio-territoriales (1).

Ante la necesidad de generar información tanto para tomadores de decisiones como para ciudadanía en general, el equipo del Observatorio Nacional de Salud del Instituto Nacional de Salud ha desarrollado estrategias sistemáticas de seguimiento a las dinámicas epidemiológicas del COVID-19 a nivel nacional y territorial y así mismo ha participado activamente en la generación de modelos epidemiológicos para proyectar o simular escenarios posibles de la magnitud y el impacto que puede tener la epidemia en distintos niveles territoriales (2,3).

A partir de estimaciones de la velocidad y magnitud del contagio en cada territorio, se han proyectado fechas probables en que se tendrán picos de casos sintomáticos, esta información ha resultado clave en la planificación y preparación territorial para mitigar y atender los requerimientos sociales y sanitarios que potencialmente pueden presentarse. En este boletín, se presentan las proyecciones de los primeros picos epidémicos, realizadas para los territorios que han registrado una mayor afectación por COVID-19.



Metodología

Se identificaron los territorios con mayor afectación reportada por COVID-19 por número de casos o por dinámicas aceleradas de contagio y se realizaron simulaciones del comportamiento de la transmisión proyectando el momento probable de una mayor concentración de casos sintomáticos. Para esto, se realizaron estimaciones sistemáticas del número de reproducción efectiva (R_t), es decir el número de personas susceptibles que pueden ser infectadas por un individuo enfermo (3), de los días de duplicación de casos y muertes y del promedio ponderado de positividad de las pruebas en cada territorio.

Método del cálculo de los días de duplicación de casos y muertes

El cálculo de días de duplicación de casos y muertes muestra la velocidad a la que avanza el contagio. En la medida que aumentan los días para duplicarse esto es un indicador de una disminución en la velocidad y viceversa. Su estimación se realiza tomando la fecha de inicio de síntomas y la fecha de muerte reportada para cada caso. En t_i se identifica el número de casos y se identifica el t_{i+n} en el que los casos son el doble o más de t_i . Con una regla de tres se estiman los días exactos que tardó esa duplicación (aproximadamente n).

Método de estimación del número de reproducción efectiva (R_t)

Las proyecciones que se presentan a continuación están basadas en un modelo matemático SIR (susceptible, infectado, recuperado). Este es un modelo que describe la dinámica de los contagios en una población con un número determinado de individuos que inicialmente son susceptibles (S) al patógeno y que, a partir de un infectado inicial, van contagiándose a una determinada velocidad y pasando a ser infectados (I). Después de un período de enfermedad activa, los que no fallecen pasan al estado de inmunes: se han recuperado (R) y ya no contagiarán más. Por tanto, la población susceptible se va reduciendo hasta que no ocurran nuevos casos (4).

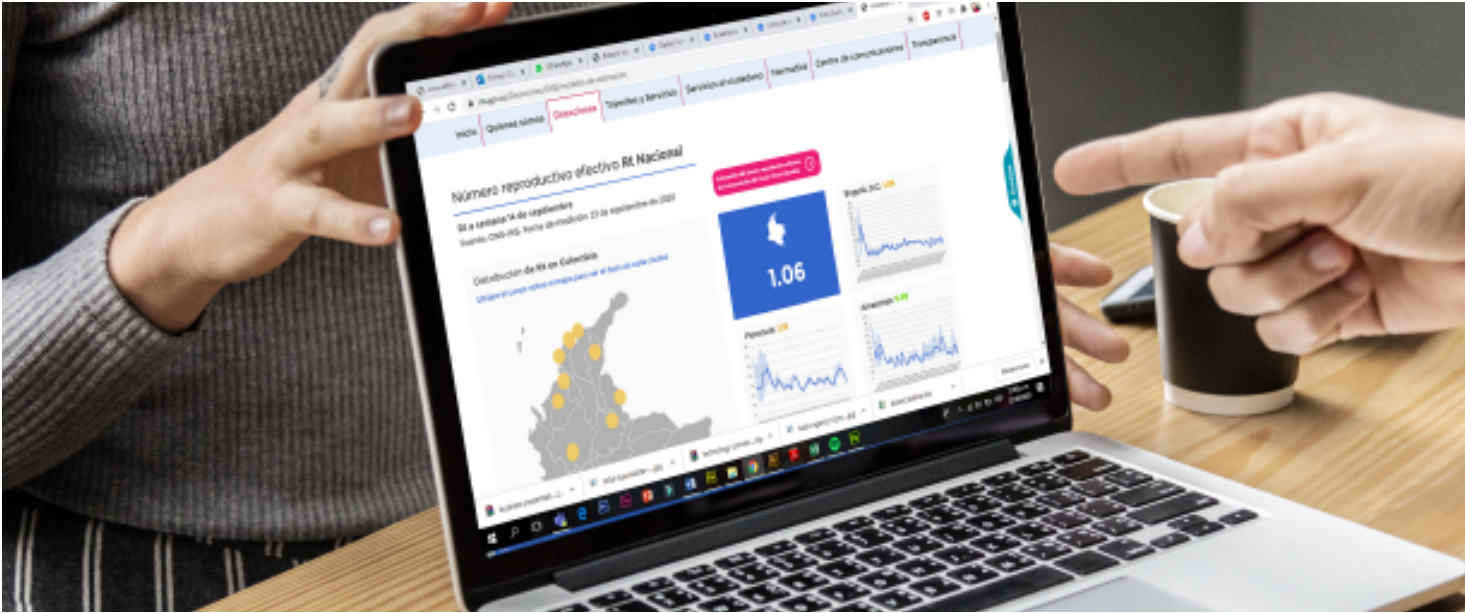
El R_t , en los diferentes momentos del tiempo, se ha estimado a partir de la información de reporte de nuevos casos diarios a nivel nacional y permite proyectar los casos esperados en el futuro si se mantiene esa tasa de crecimiento o si esta varía. Este análisis permite anticipar dichas situaciones para evaluar posibles intervenciones como el endurecimiento de las medidas de distanciamiento social, para la velocidad de contagio.

En cualquier caso, se resalta que las estimaciones están sujetas a incertidumbre y los casos futuros dependen del R_t de cada momento, parámetro que puede variar según las medidas que se implementen o desmonten. Adicionalmente, los modelos se actualizan con la nueva información de la severidad de los casos reportados. Las proyecciones se basan en la selección de R_t sobre el modelo original que se compara de forma cualitativa con la

ocurrencia diaria de casos por fecha de inicio de síntomas. Las ciudades principales tienen estimaciones empíricas R_t (5).

Método de estimación de positividad de pruebas

La positividad de muestras para COVID-19 se estima a partir de un promedio ponderado de las muestras diarias que dieron positivas bajo la técnica de PCR respecto al total de muestras tomadas en cada territorio. El ponderador usado es el dato de positividad nacional (6).



Resultados

A 20 de septiembre de 2020, los municipios identificados con mayor afectación según número de casos totales confirmados y dinámicas aceleradas de contagio fueron (Tabla 1)

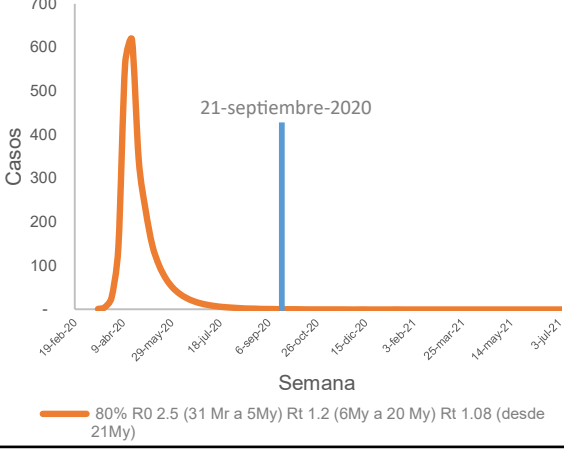
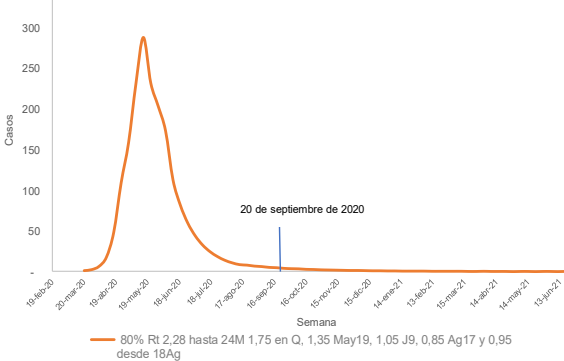
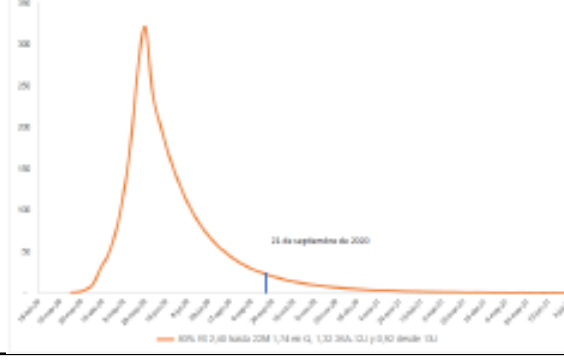
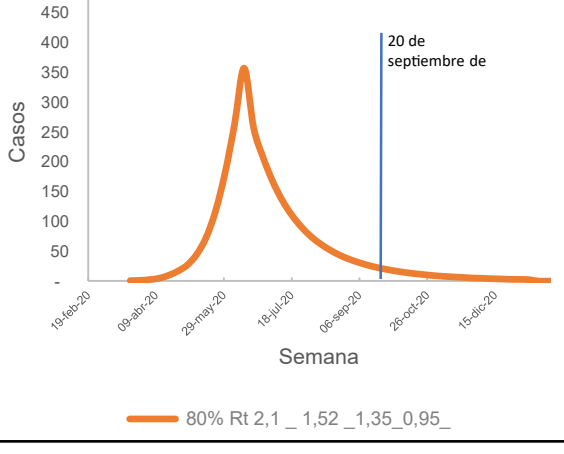
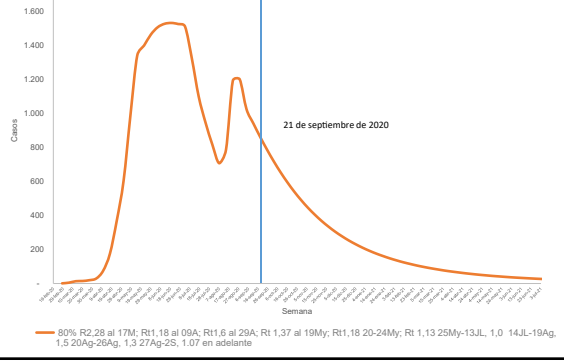
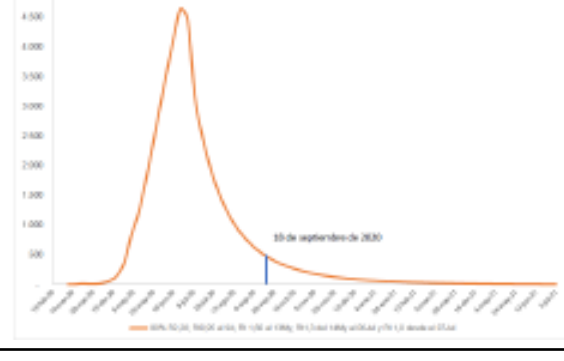
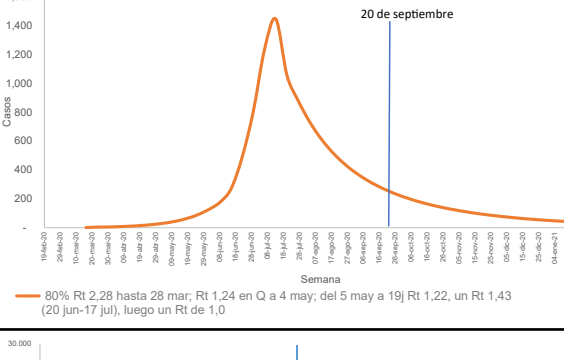
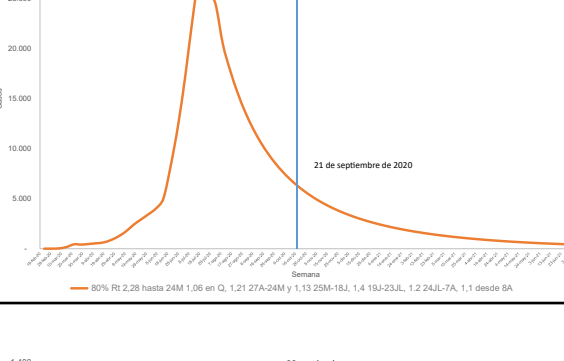
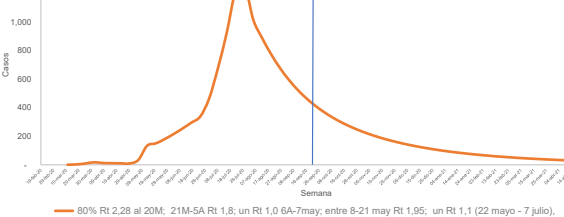
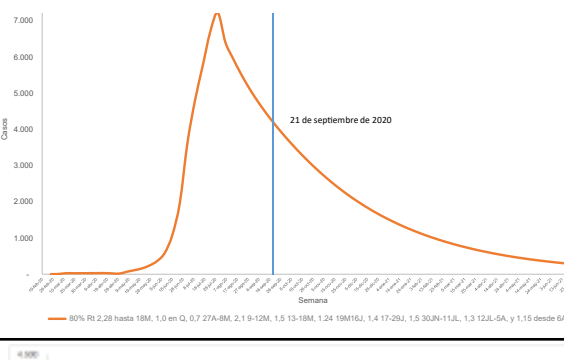
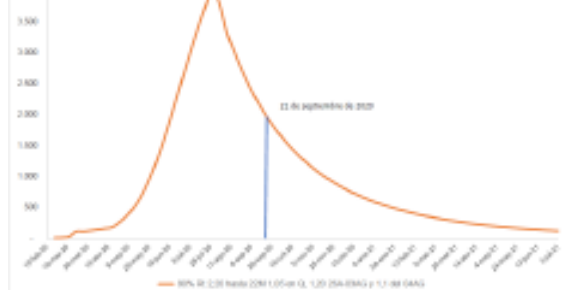
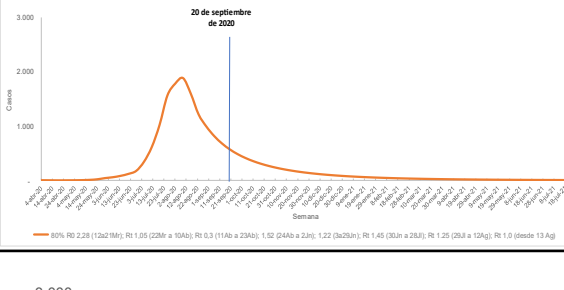
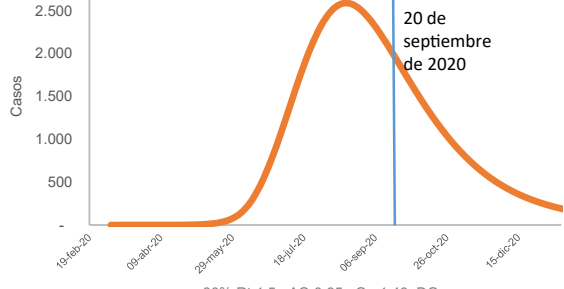
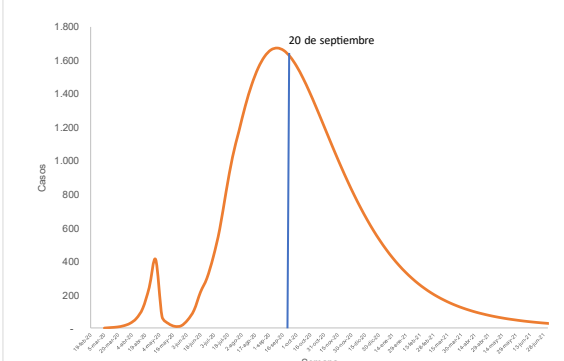
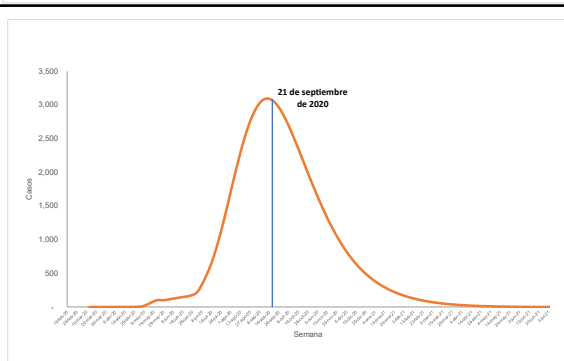
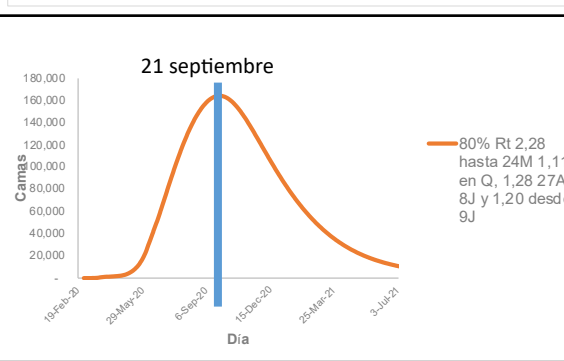
Tabla 1. Territorios con más casos reportados a nivel nacional

Territorio	Casos totales reportados	Muertes totales reportadas
Nacional	758398	24039
Bogotá	250490	6408
Medellín	59627	1199
Cali	44253	1512
Barranquilla	37543	1657
Cartagena	22397	538
Montería	13631	768
Valledupar	12673	325
Bucaramanga	11934	526
Villavicencio	11189	262
Soacha	10195	289
Dinámicas aceleradas de contagio		
Santa Marta	9616	413
Quibdó	2692	91
Buenaventura	2537	164
Leticia	2491	105
Tumaco	1959	75

Fuente: SIVIGILA (7)

El nivel de velocidad de contagio y el momento esperado de mayor concentración de casos sintomáticos fue distinto en los territorios analizados. Los municipios que inicialmente presentaron una dinámica más acelerada de contagio y por tanto tuvieron primero una mayor concentración de casos sintomáticos pertenecen a la región de la amazonia y el pacífico colombiano, seguidos de la costa atlántica y por último los municipios pertenecientes al interior del país. El tiempo de duplicación de casos, contados en días, también presenta diferencias importantes entre los territorios analizados. De acuerdo a la última proyección con datos disponibles a 20 de septiembre de 2020, los territorios con menores tiempos para la duplicación de casos pertenecen a la Amazonía, la costa Pacífica y la costa Atlántica, siendo Leticia, Tumaco, Valledupar, Montería, Quibdó y Barranquilla los municipios más afectados (Tabla 2).

Tabla 2. Proyección de Rt, fechas de pico de casos sintomáticos y tiempo de duplicación de casos

Territorio	Último Rt proyectado	Fecha de última proyección de Rt	Fecha proyectada de pico de casos sintomáticos	Gráfico proyección de primer pico epidémico	Días para duplicación de casos
Leticia	1.08	21/5/2020	18/4/2020		11.2*
Tumaco	0.95	18/8/2020	15/5/2020		15.6*
Buenaventura	0.92	13/7/2020	29/5/2020		35.8
Quibdó	0.95	18/6/2020	13/6/2020		19.8*
Cartagena	1.07	3/9/2020	19/6/2020		61.9
Barranquilla	1	7/7/2020	26/6/2020		19.9*
Santa Marta	1	18/7/2020	13/7/2020		21.7
Bogotá	1.1	8/8/2020	19/7/2020		35.7
Soacha	1	8/8/2020	29/7/2020		21.4
Medellín	1.15	6/8/2020	30/7/2020		36.5
Cali	1.1	4/8/2020	30/7/2020		42.6
Bucaramanga	1	17/8/2020	9/8/2020		33
Montería	1.43	28/4/2020	13/8/2020		16.7*
Villavicencio	1.25	28/7/2020	10/9/2020		20.8
Valledupar	1.4	6/7/2020	11/9/2020		16.5*
Nacional	1.2	9/6/2020	27/9/2020		37.7

Fuente: Observatorio Nacional de Salud
*Municipios con menor tiempo de duplicación de casos

De acuerdo a las estimaciones de positividad de las muestras, los municipios que han presentado una proporción de casos positivos superior al promedio nacional, se ubican principalmente en la zona pacífica, caribe y centro del país, siendo Montería, Valledupar, Buenaventura, Soacha, Bucaramanga, Santa Marta y Bogotá los municipios con mayor proporción de casos positivos, respectivamente (Tabla 3).

Tabla 3. Promedio ponderado de casos positivos para COVID-19 por territorio

Territorio	Proporción de casos positivos
Nacional	0.24
Montería	0.32
Valledupar	0.3
Buenaventura	0.3
Soacha	0.29
Bucaramanga	0.28
Santa Marta	0.26
Bogotá	0.25
Cali	0.25
Barranquilla	0.24
Villavicencio	0.24
Tumaco	0.24
Medellín	0.22
Cartagena	0.2
Leticia	0.18
Quibdó	0.16

Fuente: Observatorio Nacional de Salud (6)

Conclusiones

El seguimiento sistemático a indicadores epidemiológicos claves de la pandemia junto con la modelación de escenarios posibles de afectación para cada territorio, han permitido no sólo identificar las dinámicas diferenciales en la velocidad y la magnitud del contagio, sino también proyectar momentos posibles de alta afectación a nivel local, información que resulta vital en la planificación de medidas de control y mitigación orientadas a garantizar a los ciudadanos derechos fundamentales como la vida y la salud.

De acuerdo a la información presentada, los territorios que resultaron tempranamente más afectados y con una aparente imposibilidad de contener la velocidad del contagio han sido históricamente zonas vulnerables y con una débil presencia estatal, así que la pandemia nuevamente reitera la necesaria reflexión ética y acción política en torno a la capacidad sanitaria y los determinantes sociales que condicionan la vida y la salud de las personas que allí viven.

Referencias

1. Holmdahl I, Buckee C, Phil D. Wrong but Useful – What Covid-19 Epidemiologic Models Can and Cannot Tell Us. *N Engl J Med* [Internet]. 2020;383(4):303–5. Available from: <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMp2016822>
2. Observatorio Nacional de Salud. Modelo de transmisión de coronavirus COVID-19 [Internet]. Vol. 5. Bogotá D. C.; 2020. Available from: https://www.ins.gov.co/Direcciones/ONS/SiteAssets/Modelo COVID-19 Colombia INS_v5.pdf
3. Páez-salamanca GN, Franco-restrepo C, Zea JF, Cruz Rivera É, Quiroz Salazar A, Cerón JF, et al. Estimación del número reproductivo efectivo de la transmisión del COVID-19 en Colombia [Internet]. Bogotá D. C.; 2020. Available from: https://www.ins.gov.co/Direcciones/ONS/Historico_Rt/Estimación del número reproductivo efectivo de la transmisión del Covid-19 en Colombia.pdf
4. Ríos Guitiérrez A. Modelos epidemiológicos estocásticos y su inferencia: Casos SIR y SEIR [Internet]. Universidad Nacional de Colombia; 2018. Available from: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/69114/AndresRiosTesisMaestria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
5. Observatorio Nacional de Salud. Número reproductivo efectivo Rt Nacional [Internet]. 2020 [cited 2020 Sep 21]. Available from: <https://www.ins.gov.co/Noticias/Paginas/Coronavirus-rt.aspx>
6. Observatorio Nacional de Salud. Positividad diaria de muestras para COVID-19 [Internet]. 2020. Available from: <https://www.ins.gov.co/Direcciones/ONS/visor-de-positividad-de-muestras>
7. Instituto Nacional de Salud. Boletines Casos COVID19 Colombia [Internet]. 2020. Available from: <https://www.ins.gov.co/Paginas/Boletines-casos-COVID-19-Colombia.aspx>