



ACADEMIA DE CIENCIAS
FÍSICAS, MATEMÁTICAS
Y NATURALES

**Estado actual de la epidemia de la
COVID-19 en Venezuela
y
sus posibles trayectorias bajo
varios escenarios
INFORME 2**

Documentos de la Academia

**Estado actual de la epidemia de la COVID-19
en Venezuela y sus posibles trayectorias**

Informe 2

Estado actual de la epidemia de la COVID-19 en Venezuela y sus posibles trayectorias

Informe 2

Academia de Ciencias
Físicas, Matemáticas y Naturales



Publicado por la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales
Palacio de las Academias, av. Universidad, apartado postal 1421, Caracas 1010-A, Venezuela

© Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales, 2020

Todos los derechos reservados. Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida, almacenada en un sistema de recuperación, o transmitida, en cualquier forma o por cualquier medio, sin la previa autorización escrita del autor y de la Academia.

Hecho el depósito de ley
Depósito legal: xxxx
ISBN: yyyy

Taquiografiado en L^AT_EX 2 ϵ

Índice general

Prefacio	v
1. Sobre el diagnóstico	1
1.1. Capacidad diagnóstica saturada	1
1.2. Subregistro, incidencia y tasas de contagio	2
1.3. Demora del diagnóstico	4
2. Situación de la epidemia en Venezuela	6
2.1. Tamaño actual de la epidemia	6
2.2. Escenarios posibles para los próximos meses	8
3. Conclusiones finales	11
Referencias	13

Prefacio

En mayo de 2020 presentamos al Ministerio del Poder Popular para la Salud, al Ministerio del Poder Popular para Ciencia y Tecnología, a la Comisión Presidencial para la Prevención, Atención y Control del Coronavirus, a diferentes comisiones con competencia de la Asamblea Nacional y al país en general un informe técnico sobre el estado de la epidemia de la COVID-19 en Venezuela y sus posibles trayectorias¹. En el presente documento ofrecemos una actualización de ese informe con el objeto de ilustrar cómo ha evolucionado la epidemia en el país durante los últimos tres meses y qué esperamos en los próximos meses en términos de su trayectoria. Por ello, se abordan las mismas preguntas indicadas en el primer informe, a la luz de nueva información epidemiológica disponible:

1. ¿Qué información tenemos acerca del desarrollo de la epidemia en Venezuela y cuán precisa es esa información?
2. Sobre la base de la información disponible ¿Podemos aproximar el número real de personas contagiadas hasta el momento?
3. ¿Cuántas personas podrían infectarse con el virus en los próximos meses?

Al igual que el anterior, este informe fue elaborado con la asesoría de un grupo de expertos, a fin de orientar a los ciudadanos y a los organismos con competencia en el diseño de políticas públicas sobre el posible impacto de las medidas implementadas para el control de la pandemia en la sociedad venezolana. Ante la ausencia de una vacuna para la COVID-19, los modelos matemáticos son herramientas efectivas no solo para proyectar el tamaño de la epidemia y las correspondientes demandas hospitalarias, sino para

¹Acfiman, *Estado actual de la epidemia de la Covid-19 en Venezuela y sus posibles trayectorias bajo varios escenarios*, 2020.

el diseño de estrategias de flexibilización de las medidas de control en el mediano y largo plazo. Es con ese propósito orientador y espíritu de aporte que la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales espera que este segundo reporte sea visualizado y considerado.

Caracas,
septiembre 2020

Acfiman

Capítulo 1

Sobre el diagnóstico

El subregistro de casos ha sido un factor común en el desarrollo de las epidemias de la COVID-19 en todos los países. No obstante, un subregistro muy alto puede limitar sustancialmente la capacidad para controlar la pandemia y minizar su impacto. Actualmente se reconoce que cerca de 45 % de la población contagiada no presenta síntomas y aproximadamente 30 % puede cursar síntomas leves o tardíos [1]. El control efectivo de la epidemia depende fundamentalmente de la identificación y el aislamiento oportuno de todos los casos, incluidos los asintomáticos. Por ello, los países invierten grandes esfuerzos en minimizar el subregistro, a través de los diagnósticos masivos. Aquí revisamos la situación y avance de la capacidad diagnóstica del virus SARS-CoV-2 en Venezuela durante la evolución de la pandemia.

1.1 Capacidad diagnóstica saturada

De acuerdo con los reportes de la Oficina de las Naciones Unidas para la Coordinación de Asuntos Humanitarios (OCHA, por sus siglas en inglés) [2], entre el 13 de marzo y el 31 de julio en Venezuela se realizaron aproximadamente 90.686 pruebas diagnósticas RT-PCR. Aunque en esos informes se evidencia un aumento en el esfuerzo diagnóstico durante ese período—que pudiéramos resumir como 179 pruebas/día durante marzo-abril, 541 pruebas/día en mayo, 1.017 pruebas/día en junio y 1.309 pruebas/día en julio—, aún las cifras más recientes siguen siendo insuficientes para el rastreo efectivo de la epidemia y la estimación de su tamaño real. La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda dos criterios para una adecuada cobertura diagnóstica [3] : i) un mínimo de 10–30 pruebas de RT-PCR por cada caso de infección confirmado o ii) un porcentaje de positividad (prue-

bas positivas/total de pruebas) menor a 10%. Estos indicadores miden la cobertura con relación al tamaño de la epidemia. Si la cobertura es insuficiente, se genera un *diagnóstico diferencial* sesgado hacia las personas que presentan síntomas. En este caso, el porcentaje de positividad es alto como consecuencia de este sesgo, pero el número de pruebas positivas no refleja el número real de personas infectadas porque los casos asintomáticos tienden a no ser diagnosticados. Solamente cuando la positividad es baja podemos asegurar que el número de casos positivos incluye la mayor parte de los casos; es decir, tanto los sintomáticos como los asintomáticos.

Estimamos que, durante el mes de julio, la relación promedio de pruebas por caso confirmado fue entre 3 y 4 y la positividad promedio fue aproximadamente 35%. Ambos indicadores reflejan una cobertura baja y, por tanto, una subestimación significativa de los casos reales. En algunos estados del país el porcentaje de positividad es aún mayor—por ejemplo, Zulia (43%), Bolívar (56%), Sucre (50%) y Amazonas (54%)—, lo cual sugiere un mayor subregistro del número de personas infectadas en esos estados. Un aumento en la positividad promedio durante los últimos meses indica un aumento sostenido del subregistro.

1.2 Subregistro, incidencia y tasas de contagio

Cuando se tiene un subregistro significativo de casos debido a una capacidad diagnóstica saturada es necesario recurrir a modelos para obtener una estimación más aproximada del tamaño real de la epidemia. Una forma de hacerlo es corregir el número de casos diagnosticados a partir del porcentaje de positividad. Se ha estimado que existe una relación no-lineal entre el porcentaje de positividad y la magnitud del subregistro [4]. De acuerdo con esta relación, el número real de nuevos casos Y puede ser estimado a partir de los casos reportados X por la ecuación

$$Y = aq^b X + c, \quad (1.1)$$

donde a , b y c son constantes y q es el porcentaje de positividad. En este trabajo hemos considerado que $a = c = 1$ y $b = 0,5$ [4].

Con base en la ecuación (1.1) y los valores estimados de positividad se corrigió la incidencia diaria de nuevas infecciones en Venezuela y, a partir de estos valores corregidos, calculamos un número reproductivo instantáneo

o de tiempo real R_t para el SARS-CoV-2 en el país. R_t expresa el número de infecciones secundarias que se generan a partir de cada infección y es un indicador de la velocidad e intensidad de transmisión del virus en una población. R_t varía durante el transcurso de la epidemia principalmente debido a cambios en las tasas de contacto entre las personas susceptibles y las infectadas. Cuando la mayor parte de los infectados no generan casos nuevos (transmisión suprimida), el valor promedio de R_t disminuye por debajo de uno, lo cual es el objetivo central de las medidas sanitarias de control. No obstante, si la capacidad diagnóstica está saturada las variaciones asociadas a la incidencia no necesariamente reflejan los cambios en las tasas de contagio; por lo que R_t puede mostrar valores cercanos o menores a uno como un artificio de esta saturación y no necesariamente como resultado de una transmisión suprimida.

Estimamos R_t utilizando la herramienta **EpiEstim** (programa R) [5], que calcula la relación proporcional entre el número de casos nuevos en el tiempo t , I_t , y la sumatoria de las infecciones producidas en el período de tiempo previo $t - s$ ponderadas por la función de distribución de tiempo serial w_s

$$R_t = \frac{I_t}{\sum_{s=1}^t I_{t-s} w_s} . \quad (1.2)$$

Aquí s es el tiempo transcurrido desde la infección y corresponde a la ventana de los 7 días previos al momento t . El tiempo serial es definido como el tiempo que pasa entre una infección primaria y las secundarias que de ella se generan, por lo que indica la escala de tiempo de transmisión de la enfermedad. Así, w_s representa una distribución de valores de tiempo (y no un valor fijo) que cuantifica la distribución de los tiempos transcurridos entre la aparición de síntomas de cada persona infectada en una cadena de transmisión de la enfermedad. Para la COVID-19, el tiempo serial hasta ahora estimado, a partir de estudios epidemiológicos y usando una función de distribución gamma, es de un valor medio de 5,2 días con un grado de incertidumbre de 4,7 días.

De acuerdo con la ecuación (1.2), los valores de R_t desde el inicio de la epidemia hasta la primera semana de agosto de 2020 variaron sustancialmente con picos que sobrepasan de 4, probablemente como consecuencia de los cambios en la capacidad diagnóstica durante el transcurso de la epidemia (ver Figura 1.1). No obstante, la media de los últimos siete días fue de 1,27, con un valor máximo de 1,29 (95% intervalo superior); un estimado

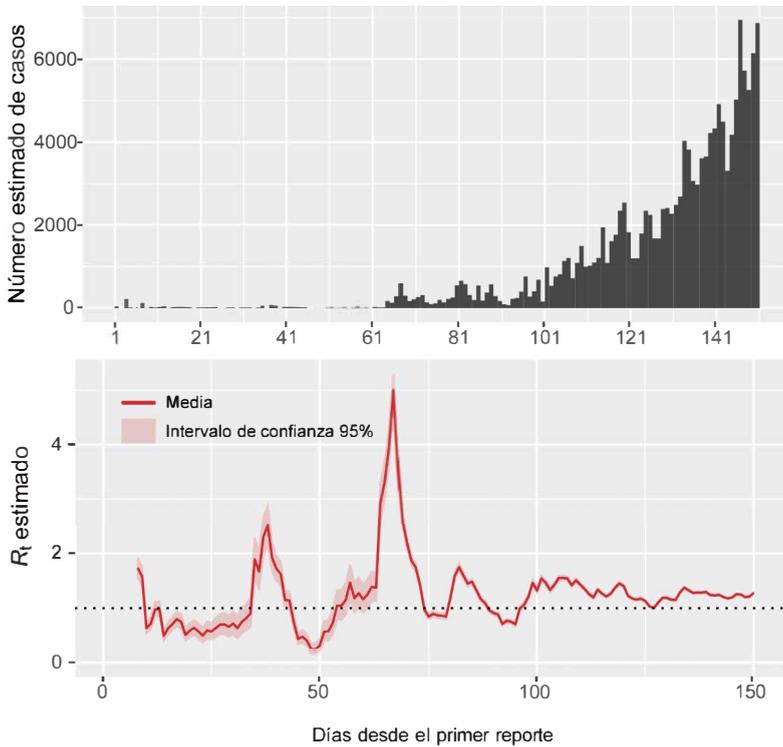


Figura 1.1. Estimación de R_t para los casos diarios ajustados de COVID-19 en Venezuela hasta el 10-08-2020. Casos diarios ajustados (panel superior) y el correspondiente valor estimado de R_t (panel inferior). El tiempo serial utilizado fue de $5, 2 \pm 4, 7$ días. La línea sólida (roja) equivale a la media y la banda sombreada rosa a los intervalos de confianza al 95 %.

característico de una transmisión activa.

1.3 Demora del diagnóstico

La detección oportuna de personas infectadas es clave para minimizar la transmisión y controlar el tamaño de la epidemia. Para la COVID-19 existe un desfase temporal de 5–6 días entre el momento del contagio y la fecha de inicio de los síntomas en pacientes sintomáticos, que es el período de incubación del virus [6]. Si a este desfase natural se le añade una demora adicional entre la toma de la muestra del paciente y la entrega de resultados de las pruebas diagnósticas, el retardo entre el momento de la infección y

su reporte podría llegar a ser de dos a varias semanas, dependiendo de la eficacia de los laboratorios. En consecuencia, los reportes de casos nuevos conllevan un retardo de tiempo significativo con relación al tiempo real de la epidemia.

La demora promedio en la entrega de resultados de la COVID-19 en Venezuela ha sido estimada en 8 ± 5 días. Si le agregamos los 5–6 días del período de incubación, los reportes diarios reflejan el curso de la epidemia en los 8–18 días anteriores. En el Distrito Capital y en el estado Miranda los retardos promedios son de 8 y 10 días, respectivamente. Estos retardos tienden a ser mayores en los estados más distantes—por ejemplo, 17 días (Zulia), 15 días (Mérida) y 14 días (Guárico, Portuguesa, Anzoátegui, Falcón y Carabobo)—, en donde no existen laboratorios para el diagnóstico de la infección por RT-PCR.

Situación de la epidemia en Venezuela

Los modelos permiten estimar el tamaño de una epidemia cuando se sospecha de subregistros en la incidencia de casos, ya que es posible reconstruir su trayectoria a partir de un número inicial de personas infectadas y parámetros epidemiológicos. Entre ellos, la tasa instantánea de reproducción del virus R_t es determinante porque varía sustancialmente con los cambios en las tasas de contacto entre las personas. En Venezuela, el flujo continuo de personas que ingresan al país es un factor adicional que puede contribuir a la epidemia. Revisamos aquí el estado actual de la COVID-19 en el país.

2.1 Tamaño actual de la epidemia

Para estimar el tamaño de la epidemia en Venezuela adaptamos un modelo epidemiológico para una población estructurada en subpoblaciones, que proyecta el curso de la epidemia como resultado de la dinámica de transmisión en cada subpoblación y el continuo movimiento de personas entre las subpoblaciones [7]. Se ha supuesto que la epidemia en Venezuela se desarrolla a partir de una transmisión local y un flujo continuo de personas que ingresan principalmente a través de Colombia y que contribuyen regularmente a la incorporación de nuevos infectados. Estimamos las trayectorias del número de susceptibles (S_i), expuestos (E_i) e infectados (I_i) en cada subpoblación i (p. ej. Venezuela y Colombia) a partir de las ecuaciones

$$\begin{aligned}
\frac{dS_i}{dt} &= -\frac{\beta S_i I_i}{N_i} + \Theta \sum_j \frac{M_{ij} S_i}{N_i - I_j} \\
\frac{dE_i}{dt} &= \frac{\beta S_i I_i}{N_i} - \frac{E_i}{Z} + \Theta \sum_j \frac{M_{ij} E_i}{N_i - I_j} \\
\frac{dI_i}{dt} &= \frac{E_i}{Z} - \frac{I_i}{D} \\
N_i &= N_i + \Theta \sum_j M_{ij}.
\end{aligned} \tag{2.1}$$

Aquí Z es el tiempo promedio de latencia del virus, D es la duración promedio de la infección, $\beta = R_t/D$ es la tasa de transmisión del virus y M representa el número de personas que ingresan al país diariamente desde Colombia. N_i , el tamaño total de la población, cambia como consecuencia del movimiento de las personas.

El estudio supone que las personas infectadas que han desarrollado síntomas no se trasladan, solo las personas sanas o las infectadas que todavía no han desarrollado síntomas (E_i). El número reproductivo del virus R_t en cada momento para Venezuela y Colombia se calculó como se describe en la sección anterior. A partir de los diez primeros decesos reportados por COVID-19 en el país, se estimó que las personas expuestas o infectadas con el virus eran 544 para el momento del reporte oficial del primer caso (ver Informe 1 [8]). Las ecuaciones diferenciales se resolvieron a partir de un algoritmo Runge-Kutta de cuarto orden y se incluyó un retardo promedio de 11 días entre el momento en el cual ocurre la infección de cada persona y el momento en que se reporta oficialmente el caso.

De acuerdo con la trayectoria generada por el modelo, más de 7.000 personas se estarían infectando cada día en el país durante la última semana de agosto (ver Figura 2.1). Esta cifra sextuplica el número de casos nuevos que se reportan en Venezuela cada día. La mayor parte de estos casos son de transmisión local, con una contribución poco significativa de las personas que ingresan desde Colombia continuamente. Si bien el ingreso de infectados desde Colombia y Brasil puede haber determinado el inicio de la epidemia en los estados fronterizos, actualmente la mayor transmisión en el país es local y la variación en el número de personas que retornan tiene un efecto despreciable en el tamaño actual de la epidemia.

Como indicador de riesgo se utilizó el índice del potencial de crecimiento

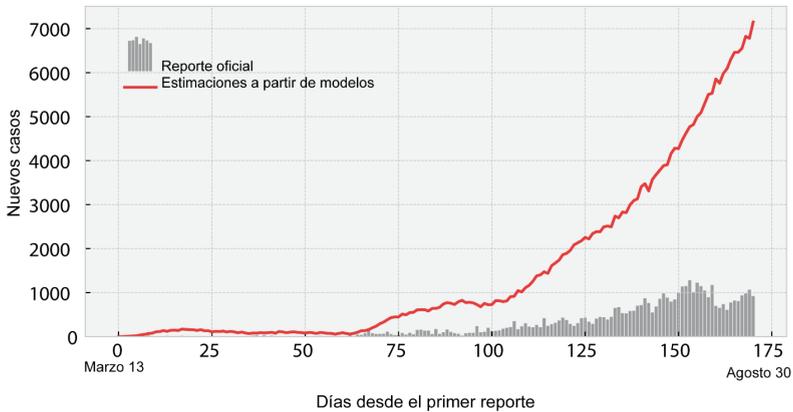


Figura 2.1. Tamaño estimado de la epidemia en Venezuela a partir de las ecuaciones en (2.1). El número inicial de personas infectados $I_0 = 544$, la tasa de duración promedio de la infección $D = 5$ días y el tiempo promedio de latencia del virus $Z = 3,9$ días. Se supuso un flujo diario de personas desde Colombia $M_{ij} = 5.000$ y un retardo entre el momento de infección y su reporte de 11 días.

exponencial EGP (por sus siglas en inglés), que equivale al producto del número de casos activos de infección en un momento dado (casos acumulados en los 14 días anteriores) y el R_t [9]. La trayectoria del R_t con respecto al número de casos activos estimados desde el 22 de junio hasta el 30 de agosto indica un aumento del potencial de crecimiento exponencial de la epidemia (de verde hacia rojo) (Figura 2.2). Esto sugiere que la epidemia seguirá su trayectoria ascendente en las próximas semanas.

2.2 Escenarios posibles para los próximos meses

En el informe anterior (Informe 1 [8]) anticipamos la posibilidad de escenarios con 1.000–4.000 casos diarios entre finales de junio y comienzos de septiembre. No obstante, previmos también la posibilidad de que se alcanzaran los valores máximos del número de nuevos casos diarios entre junio y septiembre, como resultado de una reducción en la tasa de contagio (R_t) promovida por la aplicación de políticas acertadas para el control de la epidemia. Estimamos que hoy hemos sobrepasado los 4.000 nuevos casos diarios, sin evidencia alguna de cambio en la trayectoria ascendente de la epidemia (ver Figura 2.1). En otros países, la implementación de medidas públicas ha traído como consecuencia una reducción importante en el R_t

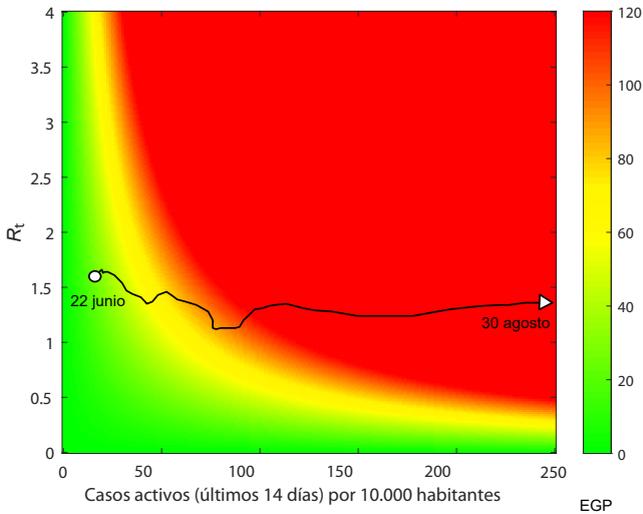


Figura 2.2. Trayectoria de la epidemia en Venezuela y potencial de crecimiento exponencial de la epidemia. Los colores del mapa indican el índice del potencial de crecimiento exponencial de la epidemia (verde, EPG < 30 ; rojo, EPG > 100). La línea negra describe la trayectoria del R_t con relación a los casos activos presentes en la población desde el 22 de junio hasta el 30 de agosto del presente año.

que no hemos visto en Venezuela.

En este nuevo informe hemos proyectado trayectorias para los próximos tres meses bajo dos nuevos escenarios de transmisión: i) una reducción leve del valor actual de R_t de 1,3 a 1,1 y ii) una reducción sustantiva de 1,3 a 1,0. En el escenario de una reducción leve se espera que en el lapso de esos meses el número de casos nuevos diarios incremente de 7.000 estimados actualmente a cerca de 14.000. En el escenario de una reducción sustancial se espera que el número de nuevas infecciones cada día descienda levemente hasta 4.000 (ver Figura 2.3).

De acuerdo con las tasas de fatalidad reportadas en Colombia (3%), Brasil (3%), Panamá (2%) y otros países [10], se espera que con 7.000 nuevas personas infectados por día se produzcan entre 140 y 210 decesos diariamente por causa de la COVID-19. No obstante, las cifras oficiales sólo dan cuenta de menos de 10 muertes por día, por lo que estimamos que existe también un subregistro significativo en el número de decesos atribuidos a la COVID-19.

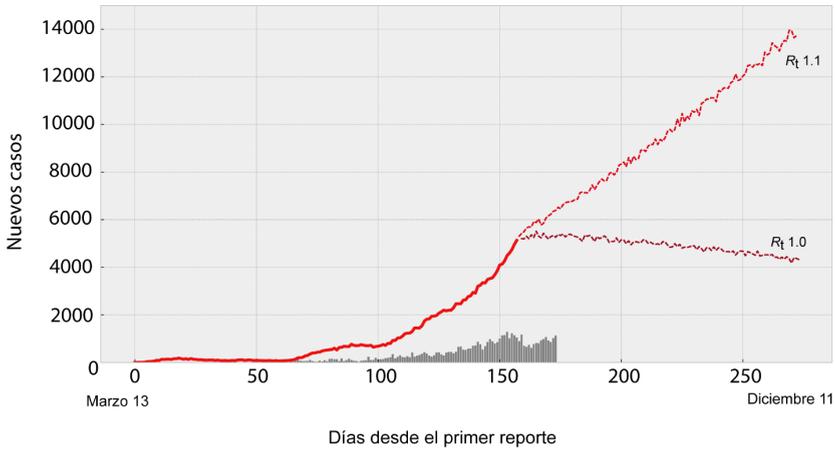


Figura 2.3. Trayectorias proyectadas a partir de las ecuaciones en (2.1) bajo dos escenarios de reducción de la transmisión: i) reducción leve de 1,3 a 1,1 y ii) reducción sustancial de 1,3 a 1,0. El número inicial de personas infectadas $I_0 = 544$, la tasa de duración promedio de la infección $D = 5$ días y el tiempo promedio de latencia del virus $Z = 3,9$ días. Se supuso un flujo diario de personas desde Colombia $M_{i,j} = 5.000$ personas y un retardo entre el momento de infección y su reporte de 11 días.

Conclusiones finales

Del presente estudio y sus resultados, podemos concluir:

1. Las pruebas de RT-PCR que se realizan en Venezuela continúan siendo insuficientes para estimar adecuadamente el tamaño real de la epidemia de la COVID-19 en el país. Los altos porcentajes de positividad sugieren que la capacidad diagnóstica está saturada. Es necesario una ampliación sustancial de esta capacidad para monitorear y controlar efectivamente la dispersión del virus en Venezuela. En una declaración reciente [11], intitulada *Lineamientos Generales para el Manejo de la Pandemia COVID-19 en Venezuela*, subrayamos la necesidad de establecer una capacidad diagnóstica de 8.000–10.000 pruebas RT-PCR diarias, que sea descentralizada y pueda dar respuesta en no más de tres días para la ubicación temprana de los focos de contagios. Sin una cobertura amplia y masiva que incluya no sólo a personas con síntomas de la enfermedad, sino también a infectados asintomáticos, no será posible diseñar estrategias para una flexibilización de las medidas de distanciamiento sin aumentar sustancialmente el impacto de la enfermedad sobre la población.
2. Los casos que reportan diariamente las autoridades continúan sin reflejar el tamaño real de la epidemia en Venezuela. Estimamos que el subregistro indicado en nuestro primer informe, lejos de haberse reducido, se ha incrementado debido a que la propagación del virus es más rápida que la tasa de aumento de la capacidad diagnóstica. Los casos proyectados para la última semana de agosto sextuplican los números reportados oficialmente. Calculamos que el número de nuevas infecciones sintomáticas por día ha sobrepasado los 7.000 casos,

sin evidencia alguna que sugiera un cambio en la trayectoria ascendente de la epidemia. De no reducirse significativamente estas tasas de contagio podríamos alcanzar números cercanos a 14.000 infecciones nuevas por día en los últimos tres meses del año.

3. De acuerdo con las cifras estimadas de nuevas infecciones diarias y los porcentajes de fatalidad reportados en otros países de la región, inferimos un subregistro importante en los reportes oficiales de decesos a causa de la COVID-19. Esto quizás sea debido a la falta de un diagnóstico confirmatorio a tiempo basado en RT-PCR. En la declaración ya referida [11] recomendamos que se reporte el número de decesos de pacientes con cuadros clínicos compatibles con la COVID-19, para una estimación más acertada de la severidad de la enfermedad en el país. Anticipamos un aumento significativo en la demanda de servicios hospitalarios y camas con soporte ventilatorio en los próximos meses.
4. En Venezuela, la epidemia de la COVID-19 aún se encuentra en su fase expansiva con un potencial de crecimiento exponencial alto y no existen las condiciones mínimas sugeridas por la Organización Mundial de la Salud para una flexibilización total. Para la implementación de estrategias de flexibilización parcial se requiere de un sistema de rastreo y vigilancia sustentado en diagnósticos amplios y regulares para evitar un aumento de las tasas de contagio y, con ello, la intensificación de la epidemia. En tal sentido, reiteramos la necesidad de ampliar sustancialmente y descentralizar la capacidad diagnóstica.

Manifestamos finalmente que la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales continuará evaluando el curso de la epidemia de la COVID-19 con la intención de contribuir a minimizar su impacto sobre la población venezolana.

Referencias

- [1] Moghadas, S. M. *et al.* The implications of silent transmission for the control of covid-19 outbreaks. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **117**, 17513–17515 (2020).
- [2] OCHA. Venezuela Junio 2020: Informe de situación (2020). URL <https://reports.unocha.org/es/country/venezuela-bolivarian-republic-of/>. Última actualización: agosto 13, 2020.
- [3] WHO. Public health criteria to adjust public health and social measures in the context of COVID-19 (2020). URL <https://www.who.int/publications/i/item/public-health-criteria-to-adjust-public-health-and-social-measures-in-the-context-of-covid-19>.
- [4] Gu Y. Estimating True Infections: A Simple Heuristic to Measure Implied Infection Fatality Rate (2020). URL <https://covid19-projections.com/estimating-true-infections/>. Última actualización: agosto 10, 2020.
- [5] Cori, A., Ferguson, N. M., Fraser, C. y Cauchemez, S. A new framework and software to estimate time-varying reproduction numbers during epidemics. *Am. J. Epidemiol.* **178**, 1505–1512 (2013).
- [6] Kretzschmar, M. E. *et al.* Impact of delays on effectiveness of contact tracing strategies for COVID-19: a modelling study. *Lancet Pub. Health* **5**, e452 (2020).
- [7] Li, R. *et al.* Substantial undocumented infection facilitates the rapid dissemination of novel coronavirus (SARS-CoV-2). *Science* **368**, 489–493 (2020).
- [8] ACFIMAN. Estado actual de la epidemia de la COVID-19 en Venezuela y sus posibles trayectorias bajo varios escenarios (2020). URL <https://acfiman.org/2020/05/08/estado-actual-de-la-epidemia-de-la-covid-19-en-venezuela-y-sus-posibles-trayectorias-bajo-varios-escenarios>.
- [9] Grupo de Investigación en Biología Computacional y Sistemas Complejos de la Universidad Politécnica de Cataluña-España. Diagrama

- de riesgo: España, comunidades autónomas y provincias (2020). URL <https://biocomsc.upc.edu/en/covid-19/informativedocument>.
- [10] Johns Hopkins University. Coronavirus Resource Center (CRC) (2020). URL <https://coronavirus.jhu.edu/map.html>.
- [11] ACFIMAN. Lineamientos generales para el manejo de la covid-19 (2020). URL <https://acfiman.org/2020/07/31/lineamientos-generales-para-el-manejo-de-pandemia-covid-19-en-venezuela>.