

ARTÍCULO ORIGINAL

CONDICIONES ESTIMADAS PARA CONTROLAR LA PANDEMIA DE COVID-19 EN ESCENARIOS DE PRE Y POSCUARENTENA EN EL PERÚ

Charles Huamaní ^{1,2,a}, Raúl Timaná-Ruiz ^{3,b}, Jairo Pinedo ^{4,5,c}, Jhelly Pérez ^{5,d}, Luis Vásquez ^{5,e}

¹ Hospital Nacional Adolfo Guevara Velasco, Cusco, Perú.

² Universidad Andina del Cusco, Cusco, Perú.

³ Instituto de Evaluación de Tecnologías en Salud e Investigación, EsSalud, Lima, Perú.

⁴ Politécnico de Milán, Italia.

⁵ Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

^a Médico neurólogo, magister en Ciencias en Investigación Epidemiológica; ^b médico especialista en Gestión Pública; ^c ingeniero mecánico de fluidos; ^d licenciado en Computación Científica, magister en Matemática Aplicada con mención en Matemática Computacional; ^e licenciado en Matemática, magister en Matemática Aplicada.

RESUMEN

Objetivos: Determinar la probabilidad de control del brote de la COVID-19 en el Perú, en un escenario pre y poscuarentena en modelos de simulaciones matemáticas. **Materiales y métodos:** Se realizan simulaciones de brotes para la pandemia de COVID-19, usando ecuaciones estocásticas bajo los siguientes supuestos: un R0 poblacional precuarentena de 2,7 o 3,5, y un R0 poscuarentena de 1,5, 2 o 2,7, positivos asintomáticos del 18% o 40%, y una capacidad resolutive máxima de 50 o 150 pacientes en las unidades de cuidados intensivos. Se evalúa el éxito del aislamiento y rastreo de contactos, no se incluyen otras medidas de mitigación. **Resultados:** En la etapa precuarentena, el éxito en el control de más del 80% de las simulaciones se daba solo si el aislamiento de casos positivos se implantaba desde el primer caso, luego se tenía menos de un 40% de probabilidad de éxito. En la poscuarentena, con 60 casos positivos es necesario aislarlos precozmente, rastrear al 100% sus contactos y disminuir el R0 a 1,5 para que el control del brote tenga éxito en más del 80% de los casos. Otros escenarios tienen baja probabilidad de éxito. **Conclusiones:** El control del brote en el Perú en la etapa precuarentena demandaba requisitos de difícil cumplimiento, por ello la cuarentena era necesaria; para suspenderla con éxito se requeriría una importante reducción de la dinámica de propagación de la enfermedad, el aislamiento precoz de los positivos y el seguimiento de todos los contactos.

Palabras clave: Infección por Coronavirus; Brotes; Vigilancia; Modelación de Decisiones (fuente: DeCS BIREME).

ESTIMATED CONDITIONS TO CONTROL THE COVID-19 PANDEMIC IN PRE- AND POST-QUARANTINE SCENARIOS IN PERU

ABSTRACT

Objectives: To determine the probability of controlling the outbreak of COVID-19 in Peru, in a pre- and post-quarantine scenario using mathematical simulation models. **Materials and methods:** Outbreak simulations for the COVID-19 pandemic are performed, using stochastic equations under the following assumptions: a pre-quarantine population R0 of 2.7 or 3.5, a post-quarantine R0 of 1.5, 2 or 2.7, 18% or 40%, of asymptomatic positives and a maximum response capacity of 50 or 150 patients in the intensive care units. The success of isolation and contact tracing is evaluated, no other mitigation measures are included. **Results:** In the pre-quarantine stage, success in controlling more than 80% of the simulations occurred only if the isolation of positive cases was implemented from the first case, after which there was less than 40% probability of success. In post-quarantine, with 60 positive cases it is necessary to isolate them early, track all of their contacts and decrease the R0 to 1.5 for outbreak control to be successful in more than 80% of cases. Other scenarios have a low probability of success. **Conclusions:** The control of the outbreak in Peru during pre-quarantine stage demanded requirements that were difficult to comply with, therefore quarantine was necessary; to successfully suspend it would require a significant reduction in the spread of the disease, early isolation of positives and follow-up of all contacts of positive patients.

Keywords: Coronavirus Infection; Outbreaks; Surveillance; Decision Modelling (source: MeSH NLM).

Citar como: Huamaní C, Timaná-Ruiz R, Pinedo J, Pérez J, Vásquez L. Condiciones estimadas para controlar la pandemia de COVID-19 en escenarios de pre y poscuarentena en Perú. Rev Peru Med Exp Salud Publica. 2020;37(2):195-202. doi: <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2020.372.5405>

Correspondencia: Charles Augusto Huamani Saldaña; Av. Arriba Perú 1154, Lima 42, Perú; huamani.ca@gmail.com

Recibido: 24/03/2020
Aprobado: 22/04/2020
En línea: 28/04/2020

INTRODUCCIÓN

El control de una epidemia depende, entre varios factores, del conocimiento real de la enfermedad y del uso de dichos conocimientos en la toma de decisiones. Entonces, conocer los tiempos de contagio, el número de susceptibles, la velocidad de propagación, entre otros, es un ejercicio necesario para pronosticar la progresión de la enfermedad. El problema con la pandemia debido a la enfermedad por coronavirus (COVID-19) es que dicha información se está generando continuamente y las decisiones se basan en supuestos con mucha incertidumbre ⁽¹⁾.

Conocida la epidemia en China, en el mundo se tomaron medidas preventivas varias semanas después. En el Perú, conforme se detectaron los primeros casos, se implementó el distanciamiento social ⁽²⁾, y luego otras medidas de mitigación que, debido a su baja efectividad, obligaron al Gobierno del Perú a decretar la cuarentena nacional el 16 de marzo de 2020. Posiblemente, estas medidas se fueron implementando por recomendación de grupos que generaban modelamientos matemáticos para simular el impacto de la epidemia, incluyendo estrategias de mitigación y supresión ⁽³⁾. A pesar de ello, al decretar la cuarentena nacional la percepción de algunos grupos locales fue de rechazo.

Las medidas de mitigación y supresión planteadas por el Gobierno del Perú requieren de la participación ciudadana; sin embargo, se han visto dificultades para su acatamiento, ya que estas son de índole social. Otras medidas del sector salud incluyen el incremento del número de camas y del personal sanitario, así como la detección oportuna de las personas infectadas por la COVID-19, esto último tiene como finalidad propiciar el aislamiento para cortar la vía de propagación y realizar el rastreo de los contactos. Nuestro estudio tiene como objetivo determinar la probabilidad de control del brote de la COVID-19 en el Perú, en un escenario pre y poscuarentena en modelos de simulaciones matemáticas, sin el efecto de las medidas de mitigaciones sociales, considerando solo el aislamiento de los casos y el rastreo de sus contactos, en escenarios con mayor o menor oferta de camas en las unidades de cuidados intensivos (UCI).

MENSAJES CLAVE

Motivación para realizar el estudio: Los modelamientos matemáticos al inicio de la pandemia de COVID-19 se realizaron para estimar el número de casos, mas no para estimar las condiciones para empezar o suspender la cuarentena.

Principales hallazgos: La pandemia de COVID-19 solo hubiese sido controlada si se detectaban y aislaban a todos los pacientes desde el inicio. Para tener éxito en el control de la pandemia poscuarentena se debe disminuir significativamente la propagación del virus, continuar con el aislamiento de todos los casos y el rastreo de sus contactos, casi al 100%.

Implicancias: No es posible el control de la pandemia sin disminuir la propagación de la enfermedad. Esta es de índole social. En el sector salud, se requiere identificar a todos los casos, aislarlos y rastrear a sus contactos. Escenarios con participación menos activa tienen altas probabilidades de fracasar.

MATERIALES Y MÉTODOS

El centro de modelamiento matemático de enfermedades infecciosas de la London School of Hygiene & Tropical Medicine ⁽⁴⁾ diseñó un modelo de descarga libre en el programa Rproject, basado en los supuestos de la enfermedad, conocidos hasta el 5 de febrero del 2020 (Tabla 1).

Ecuaciones en diferencias estocásticas

El estudio diseñado por Hellewel *et al.* ⁽⁴⁾, se basó en un modelo matemático que parte de ecuaciones diferenciales estocásticas, que tiene los siguientes conceptos de modelamiento.

Si denotamos por $x(t)$ el número de infectados en el día, la ecuación en diferencia estocástica lineal asociada a $x(t)$ se describe en la figura 1, donde $p+q=1$, y p es la probabilidad de que una persona en contacto con un infectado se contagie, mientras que q es la probabilidad de no contagiarse.

Esta es una forma de explicar la velocidad de propagación del virus que habitualmente se hace empleando el R_0 o

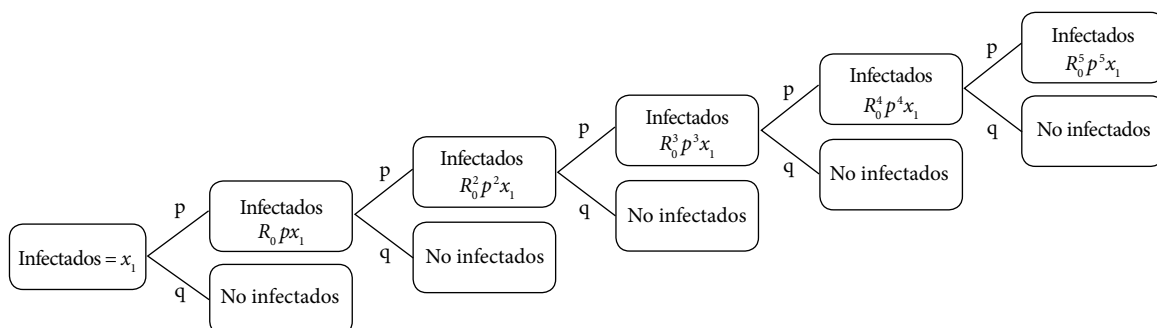


Figura 1. Propagación de la enfermedad según las probabilidades establecidas en el modelo de ecuaciones de diferencias estocásticas

número reproductivo básico. Dicho esto, la secuencia para el número de nuevos infectados por día sería:

$$1; 2 * p; 4 * p^2; 8 * p^3; 16 * p^4; 32 * p^5$$

x_1 = Infectados al inicio

$x_2 = R_0 p x_1$

$x_3 = R_0^2 p^2 x_1$

$x_4 = R_0^3 p^3 x_1$

$x_{(t+1)} = R_0^t p^t x_1$

Infectados al inicio

El valor de R_0 varía según la enfermedad, el mecanismo de contagio, la interacción poblacional, entre otras variables⁽⁵⁾. Son varios los cálculos del R_0 para la epidemia de COVID-19, algunos estudios indican que va de 3,5 en el contacto persona-persona, o de 2,5 en el de persona-reservorio/fómito⁽⁶⁾, y hay tal variabilidad que los valores de R_0 que se ubican entre 1,4 y 6,5^(7,8), con una mediana de $R_0=2,7$. Al momento de la presentación de este artículo no se dispone aún de un R_0 peruano en la etapa precuarentena ni en la cuarentena.

Supuestos para el modelamiento matemático

El estudio de Hellewell *et al.*⁽⁴⁾ empleó los siguientes supuestos para su modelamiento matemático: 1) si se detectaba un caso positivo, este pasaba a un aislamiento precoz de 3,43 días; 2) el periodo de incubación de la enfermedad era de 5,8 días; 3) el R_0 era de 2,5 en la comunidad y de 0 en aislamiento; 4) el porcentaje de infectados subclínicos era del 0%; y 5) sobre todo, definían el éxito en el control de un brote si la propagación no superaba los 5000 casos. Estos supuestos fueron puestos a prueba en escenarios donde se iniciaban las medidas de aislamiento de los casos positivos luego de haber detectado 5, 10 o 20 casos.

Actualizamos los datos del comportamiento de la enfermedad según la nueva información disponible. Mientras que las características de la propagación de la enfermedad y la respuesta del sistema de salud son variables. En el Perú no disponemos de ningún dato al respecto, así que realizamos los modelamientos en función de los siguientes supuestos:

Escenario precuarentena: Donde los R_0 serían de 2,7 y 3,5. El valor de R_0 de 2,7 corresponde a la mediana del R_0 calculado entre 12 estudios⁽⁷⁾. Sin embargo, se planteó un segundo R_0 de 3,5⁽⁶⁾, que sería el escenario desfavorable. En este escenario se asume que las medidas de aislamiento de casos y seguimiento de contactos comienza con 1, 5, o 10 casos. No se asumen valores de R_0 superiores debido a que, en dichos modelos, el control del brote sería insostenible.

Escenario poscuarentena: Donde el R_0 podría ser de 1,5; 2,0 o 2,7. Se inicia con un R_0 de 1,5 pues sería el mejor

escenario luego de la cuarentena (se asume que las conductas aprendidas y reforzadas en la cuarentena disminuirán la interacción posterior con la caída en la dinámica de la propagación). Se realiza otro modelamiento con un R_0 de 2,7, que sería el escenario del cual partimos sin ningún aprendizaje por la cuarentena. En este se asume que el levantamiento de la cuarentena se realiza cuando hay 20, 40 o 60 casos al día.

En ambos escenarios se modificó el porcentaje de pacientes con infección subclínica, siendo el actual de 18%⁽⁹⁾. Esta información procede de lo acontecido en el crucero *Diamond Princess* que se mantuvo en cuarentena y se realizó la prueba a todos los pasajeros. En un escenario real, los casos con infección asintomática o subclínica no serían rastreados y podrían seguir propagando la enfermedad, a diferencia de los casos sintomáticos, quienes contagiarían hasta que sean aislados. Se realiza un segundo análisis con un 40% de casos asintomáticos⁽¹⁰⁾, que corresponde a un escenario de infección asintomática bastante malo.

Se mantuvieron las estimaciones sobre el tiempo de incubación de la enfermedad ($5,8 \pm 2,6$ días)⁽¹¹⁾, que el 15% del contagio se dio antes del inicio de los síntomas, y la presunción que el aislamiento disminuye el R_0 a 0.

El tiempo hasta el aislamiento fue escogido entre lo descrito en las epidemias del síndrome respiratorio agudo grave (SARS-CoV) y la etapa inicial de la epidemia de COVID-19, y que fueron empleados en el estudio original. El tiempo de aislamiento en el brote de SARS-CoV de 2003 fue de 3,43 días (2,02-5,23)⁽¹²⁾ y se le denomina «aislamiento precoz», y en la etapa inicial de la epidemia de COVID-19 fue de 8,09 días (5,52-10,93)⁽⁴⁾, «aislamiento demorado». Dado que el primer caso en el Perú demoró 10 días, se realizan los cálculos

Tabla 1. Supuestos empleados en el modelamiento matemático

Concepto	Valores	Referencia
Pacientes con infección subclínica	18% y 40%	Mizumoto ⁽⁹⁾ , Nishiura ⁽¹⁰⁾
Tiempo de incubación (días)	5,8 \pm 2,6	Li ⁽¹¹⁾
Tiempo de aislamiento (días)		
Precoz	3,43 (2,02-5,23)	Donnelly ⁽¹²⁾
Demorado	8,09 (5,52-10,93)	Hellewell ⁽⁴⁾
R_0		
Precuarentena	2,7 y 3,5	Liu ⁽⁷⁾ , Chen ⁽⁶⁾
Poscuarentena	1,5; 2,0 y 2,7	
Número de camas en UCI	50 o 150	Asumido
Número inicial de casos		
Precuarentena	1, 5 o 10	Asumido
Poscuarentena	20, 40 o 60	

R_0 : número reproductivo básico; UCI: unidades de cuidados intensivos

los basales considerando el «aislamiento demorado», y en el análisis poscuarentena se considera el «aislamiento precoz», pues se asume que las medidas de vigilancia y control epidemiológico mejoraron, y con ello se disminuye el retraso.

Finalmente, la definición sobre el «control de brotes» fue la ausencia de nuevas infecciones entre 12 y 16 semanas después de los casos iniciales. El estudio original supuso que los brotes que alcanzaban más de 5000 casos acumulados eran demasiado grandes para ser controlarlos. Sin embargo, dicho supuesto europeo no refleja la capacidad resolutive del Perú, donde existe un número limitado de camas en las UCI destinadas al manejo de pacientes con la COVID-19.

El estudio original basó el control del brote en el número máximo de casos detectados, nosotros hicimos el modelamiento considerando el número máximo de camas en las UCI requeridas, en escenarios donde se dispone de 50 o 150 camas en la etapa precuarentena, y de 150 camas en la etapa poscuarentena. La modelación con 50 camas se realiza para intentar reflejar lo que podría suceder en provincias o en departamentos distintos de Lima, con menor capacidad resolutive.

RESULTADOS

Escenario precuarentena

Se plantean dos escenarios según la dinámica de propagación, considerando que el número reproductivo básico basal es de un R_0 de 2,7 y el desfavorable es de un R_0 de 3,5 (Figura 2).

En el escenario basal, si se inicia con solo un caso, la probabilidad de éxito en el control del brote es cercana al 80%, inclusive sin necesidad de rastrear los contactos. Si las medidas de aislamiento se instalan cuando ya hay cinco casos, se debería rastrear el 100% de contactos para obtener un 40% de probabilidades de éxito en el control del brote. En el caso de instalarlas cuando hay más de 10 casos, en todos los escenarios, la probabilidad de controlar el brote es menor al 20%. El efecto del porcentaje de asintomáticos cambia poco los escenarios de control de brote si estos se instalan desde el primer caso.

En el peor escenario ($R_0=3,5$), si se inicia con solo un caso, bastaría con solo instalar las medidas de aislamiento para conseguir, al menos, un 60% de brotes controlados en la simulación; el rastreo de los contactos incrementa la probabilidad de controlar los brotes hasta cerca del 80% de éxito. Pero si las medidas de aislamiento se instalan cuando hay cinco o 10 casos, la probabilidad del control de brotes desciende a menos del 40%, aun rastreando el 100% de los contactos.

Escenario poscuarentena

Se asume que al regresar de la cuarentena el R_0 disminuye a 1,5, 2 o 2,7 en el peor de los casos, además, el supuesto del «aislamiento demorado» podría haberse superado y ahora corresponde a un «aislamiento precoz».

De todos los escenarios mostrados en la Figura 3, el que tiene cerca al 80% de probabilidades de control del brote es aquel que integra el aislamiento precoz de pacientes positivos, rastreo del 100% de los contactos, y un R_0 de 1,5, independientemente de si se decide terminar la cuarentena con 20, 40 o 60 casos (Figura 3).

En un escenario más conservador, donde el R_0 disminuya a 2, se podría terminar la cuarentena con 20 casos positivos, pero garantizando el 100% de los contactos rastreados para tener aproximadamente un 60% de éxito en el control del brote.

Si aún no se logra el aislamiento precoz de pacientes positivos, también hay un 60% de probabilidades de éxito en el control del brote si el R_0 disminuye a 1,5 y se vuelve con 20 casos positivos y se rastrea el 100% de los contactos.

DISCUSIÓN

Se recomienda que las decisiones en salud pública se sustenten en evidencias y con respaldo técnico. Al inicio de la pandemia de COVID-19, esta información estaba ausente o se basaba en mucha incertidumbre⁽¹⁾, por ello surgieron varias iniciativas para brindar información epidemiológica y clínica, y ayudar a tomar mejores decisiones. En ese grupo de publicaciones aparecieron los modelamientos matemáticos para simular escenarios que pronostiquen el desarrollo de la pandemia y así adelantarse en la toma de decisiones^(13,14). Nosotros decidimos mostrar parte de un escenario que aún está en desarrollo, pero que valora de manera aislada la eficacia de la vigilancia epidemiológica al identificar los casos, aislarlos y rastrear sus contactos. Todo esto depende de la logística del sistema de salud, por lo que serían escenarios donde la participación social solo se vería reflejada en la variación del R_0 .

En el Perú, si bien se consiguió aislar al primer paciente positivo y rastrear sus contactos, hubo demora en el proceso de identificación y aislamiento del caso. En el escenario ideal, de «aislamiento precoz» desde el primer caso positivo, se hubiese necesitado garantizar un bajo porcentaje de contactos rastreados. Pero ese escenario ideal hubiese implicado que, desde el inicio, se controle seriamente la migración y tener el control correcto de todos los posibles sospechosos y su seguimiento posterior. El solo cambio de escenario a cinco casos para recién decidir el aislamiento o rastreo de casos puede interpretarse como que las medidas de detección fueron superadas y cinco casos pasaron sin ser diagnosticados, en este escenario la probabilidad de control del brote sería de menos del 40%. Quizá por ello, países como Rusia y Corea del Sur, que tomaron decisiones muy rápidas, pero de diferente índole, como el cierre de fronteras o el seguimiento estricto de los casos confirmados y sospechosos^(15,16), han obtenido mejores resultados en el control de la pandemia.

Sobre la dinámica de la propagación representada en el R_0 , los modelos europeos no podrían aplicarse al peruano,

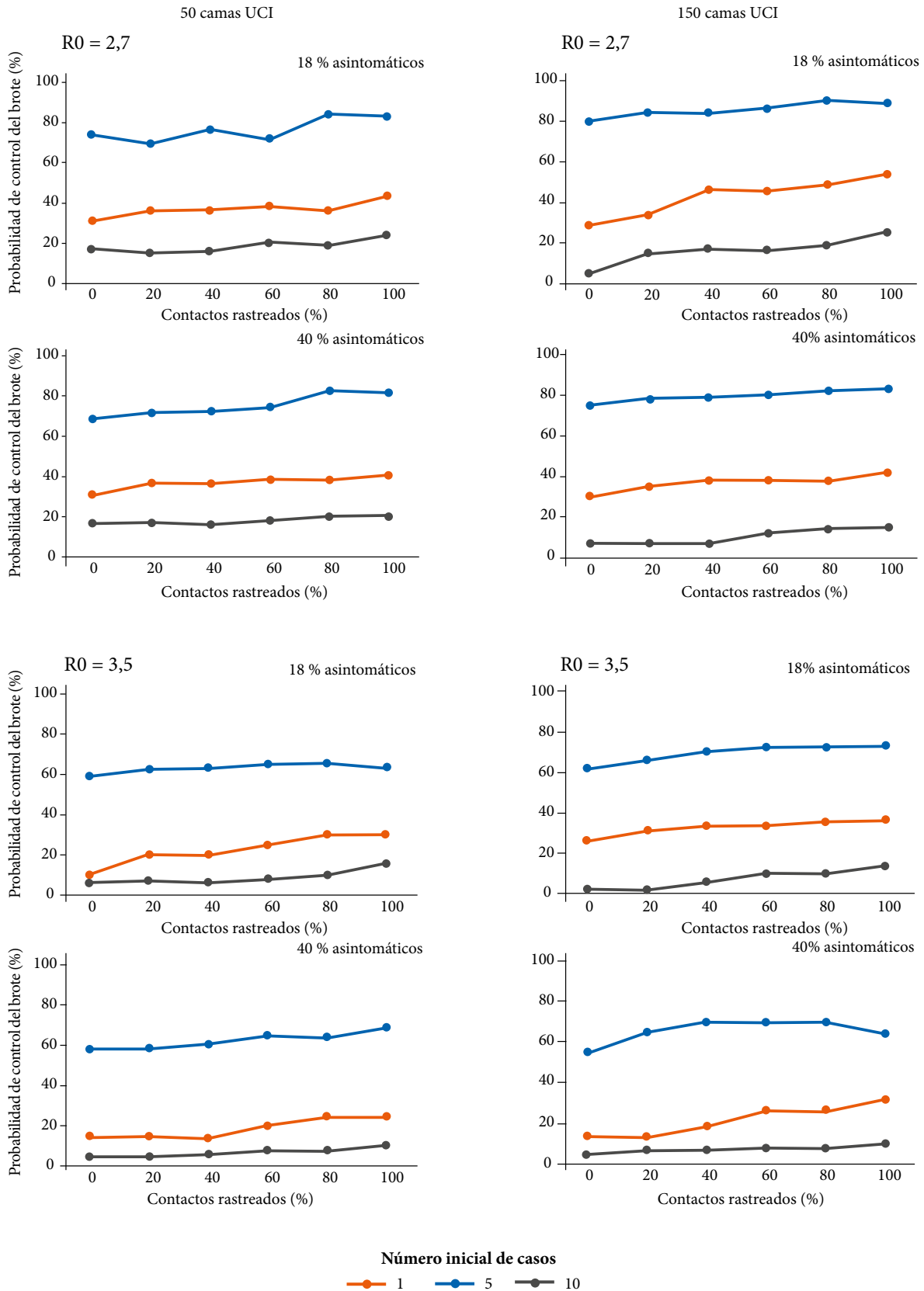


Figura 2. Probabilidad de controlar brotes simulados según diferentes números de casos iniciales, diferentes escenarios de propagación (R0) y con diferentes proporciones de casos asintomáticos. El R0 en un escenario ordinario (R0 = 2,7) o desfavorable (R0 = 3,5) para el Perú. Ambos escenarios se realizan considerando un aislamiento demorado para los casos positivos (promedio 8,1 días), y 15% de transmisión antes del inicio de los síntomas

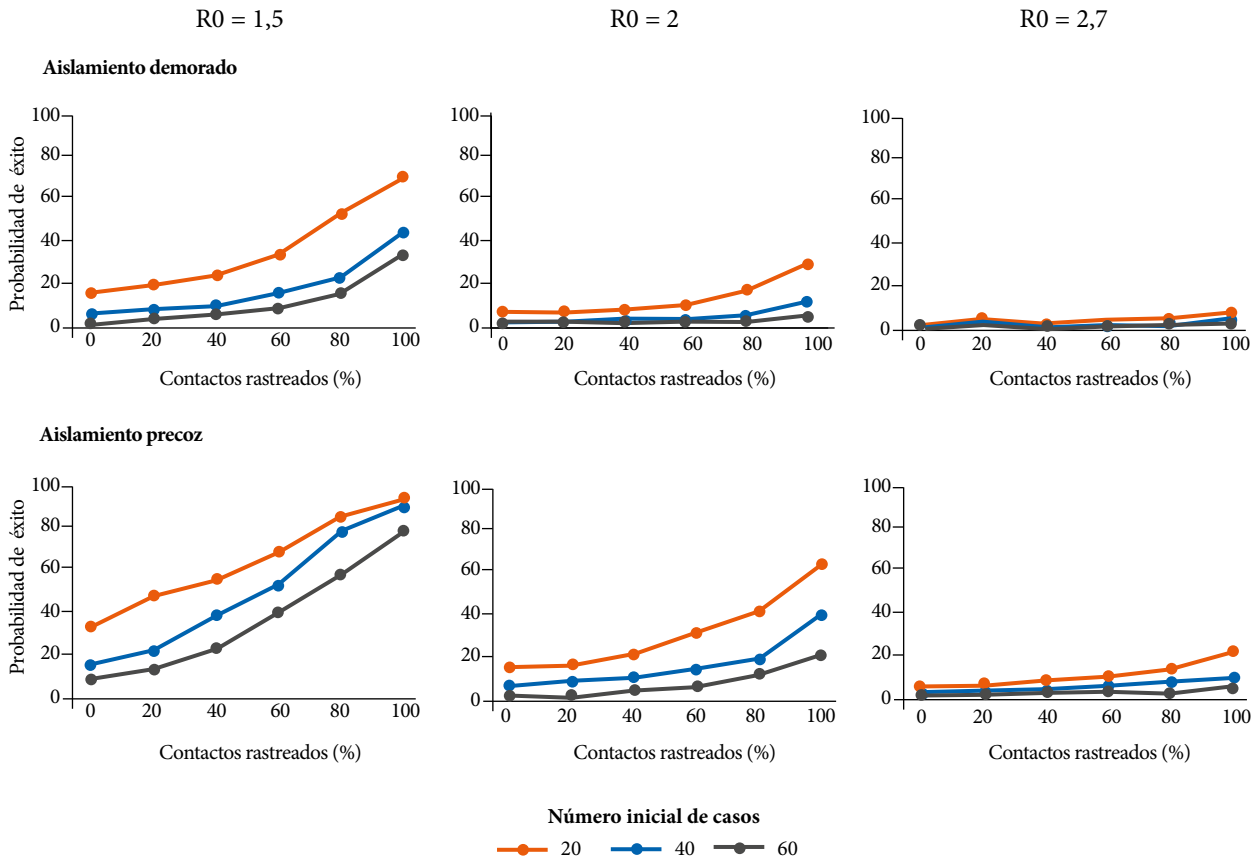


Figura 3. Probabilidad de éxito para controlar el brote en diferentes escenarios, partiendo de 20, 40 o 60 casos. Escenarios diferenciados de propagación (R0), el porcentaje de asintomáticos es del 18%. Se diferencia según el aislamiento precoz (promedio de 3,4 días) o demorado (promedio 8,1 días)

donde la interacción social es mayor y la capacidad resolutive del sistema de salud es definitivamente menor, por lo que se esperaría un mayor número de casos para una menor oferta de camas en las UCI, siendo el objetivo principal la reducción al mínimo de casos que requieran ventilación mecánica (17). Si bien, su importancia es menor cuando se actúa en pocos casos, si se toman decisiones tardíamente, incluso con 20 casos, las probabilidades de éxito en el control del brote son bajas. Es en este contexto que, desde una perspectiva de modelamiento matemático, una medida de aislamiento social obligatorio como la cuarentena era la única opción para el control oportuno de la epidemia (18), medida que finalmente se adoptó en el Perú (19). Dado que este escenario es similar a varios países con alta interacción social y baja capacidad resolutive (20), la cuarentena en países como el nuestro sería la única manera viable para controlar la epidemia.

Sin embargo, ¿cuál es el momento oportuno para levantar la cuarentena? o ¿qué condiciones se deben cumplir para levantar la cuarentena? Es previsible que luego de levantar la cuarentena muchas personas incrementen de forma desmedida su interacción social; de relajar las medidas de control, quizá se obtenga un R0 poblacional poscuarentena superior

al de la precuarentena. En ese caso, el rebrote de la epidemia sería incontrolable, pues ya no se partiría de un caso, sino de muchos más como lo demuestran algunas simulaciones en otros contextos (21). La experiencia de China es muy aleccionadora en este punto, ya que las medidas de mitigación de la epidemia no se han levantado de manera estrepitosa, sino más bien con gradualidad (22,23).

Un escenario muy optimista es aquel donde mantenemos reducida nuestra interacción y con ello nuestra capacidad de contagio con valores de R0 de 1,5 a menos, así habría una gran probabilidad de control de la epidemia poscuarentena. Sin embargo, este escenario tan optimista no sucederá, ya que implica reducir nuestra interacción social y aumentar nuestra capacidad resolutive sanitaria en pocas semanas. En un escenario más conservador, donde el R0 es 2, si interrumpimos la cuarentena con 20 casos positivos, se requeriría rastrear todos los contactos y aislar de manera precoz a las personas que dan positivo en COVID-19.

Entonces, se desprende que las medidas que se tomen poscuarentena se traducirán en el control de la epidemia o en su repunte, y en el fracaso del sistema de salud. Todo dependerá de cuánto disminuya el valor del R0 poscuaren-

tena. En el escenario conservador, medidas agresivas de identificación de casos y sus contactos, cierre de fronteras, aislamiento domiciliario y hospitalario, identificación y cuarentena de poblaciones de riesgo agregado a medidas de evaluación de eventos masivos pudieran no repuntar el R_0 ⁽²⁴⁾.

Este análisis tiene varias limitaciones, por ejemplo, se basa en un modelo matemático que asume una dispersión de la enfermedad en sociedades cerradas, cuando el Perú está dividido en varias regiones que pueden aislarse entre sí y tienen una dinámica de propagación distinta. Sin embargo, cada región tiene sus propios problemas para la adecuada implementación de las medidas y ejecutarlas de forma diferenciada podría generar confusión e inadecuada preparación ante la epidemia. Otra limitación es que se basa en supuestos que, en realidad podrían no ser identificados, como el número de casos: sin una prueba de tamizaje masiva, no se podría saber el número de personas infectadas; sin embargo, dicha aproximación se podrá determinar al evaluar las tendencias de las curvas epidemiológicas. Otra limitación es en cuanto a la recomendación que se brinda, pues para garantizar un adecuado rastreo de contactos se requiere una gran logística asociada, independiente si el contacto es o no sintomático, y ello hace que la propuesta sea limitada. Por último, la dinámica de propagación de la enfermedad en Perú no es conocida, se podría hacer el esfuerzo por hacer los cálculos respectivos, sin embargo, dado el alto nivel de subregistro obtendríamos un resultado subestimado, por ello nos debemos remitir a valores descritos en otras comunicaciones.

Los resultados, si bien pretenden ser aplicables al Perú, son de alcance para cualquier región o país con dicha capacidad resolutoria, pues se parte de considerar el número máximo de casos que se puede soportar y no de la población afectada. Entonces, una región o país con menos de 150 camas en las UCI deberá adoptar medidas más restrictivas si proyecta que tendrá más de 3000 casos. Asimismo, el escenario que modelamos de poscuarentena bien podría ser equivalente a un escenario pre-cuarentena en lugares donde la intervención es tardía.

En conclusión, las medidas de aislamiento social de casos positivos y el seguimiento de los contactos de pacientes con la COVID-19 requerían muchos supuestos que fueron rápidamente superados y, de no tomarse las medidas oportunas, hubiesen derivado en una alta probabilidad de fracaso en el control de la epidemia. Nuestros resultados justifican la decisión de la cuarentena. La preocupación radica en los escenarios para levantar la cuarentena, siendo imperativo que se promueva mantener una baja interacción social de manera sostenida para evitar un nuevo brote poscuarentena, así como continuar con las medidas de aislamiento social y seguimiento de los contactos de los pacientes con la COVID-19, y solo así se podría tener una alta probabilidad de control de la epidemia. En los escenarios donde se relajan las medidas de mitigación y la propagación de la enfermedad vuelve a la «normalidad» la probabilidad de fracasar en el control de la pandemia es muy alta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Lazzerini M, Putoto G. COVID-19 in Italy: momentous decisions and many uncertainties. *Lancet Glob Health*. 2020. pii: S2214-109X(20)30110-8. doi: 10.1016/S2214-109X(20)30110-8.
- Fong MW, Gao H, Wong JY, Xiao J, Shiu EYC, Ryu S, et al. Nonpharmaceutical Measures for Pandemic Influenza in Nonhealthcare Settings-Social Distancing Measures. *Emerg Infect Dis*. 2020;26(5):976-984. doi: 10.3201/eid2605.190995.
- Walker P, Whittaker C, Watson O, Baguelin M, Ainslie K, Bhatia S, et al. Report 12: The Global Impact of COVID-19 and Strategies for Mitigation and Suppression [Internet]. London: WHO Collaborating Centre for Infectious Disease Modelling. Imperial College London; 2020. doi: 10.25561/77735.
- Hellewell J, Abbott S, Gimma A, Bosse NI, Jarvis CI, Russell TW, et al. Feasibility of controlling COVID-19 outbreaks by isolation of cases and contacts. *Lancet Glob Health* 2020;8(4):e488-e96. doi: 10.1016/S2214-109X(20)30074-7.
- McBryde E. The value of early transmission dynamic studies in emerging infectious diseases. *Lancet Infect Dis*. 2020. pii: S1473-3099(20)30161-4. doi: 10.1016/S1473-3099(20)30161-4.
- Chen TM, Rui J, Wang QP, Zhao ZY, Cui JA, Yin L. A mathematical model for simulating the phase-based transmissibility of a novel coronavirus. *Infect Dis Poverty* 2020;9(1):24. doi: 10.1186/s40249-020-00640-3.
- Liu Y, Gayle AA, Wilder-Smith A, Rocklöv J. The reproductive number of COVID-19 is higher compared to SARS coronavirus. *J Travel Med*. 2020;27(2). pii: taaa021. doi: 10.1093/jtm/taaa021.
- Park M, Cook AR, Lim JT, Sun Y, Dickens BL. A Systematic Review of COVID-19 Epidemiology Based on Current Evidence. *J Clin Med*. 2020;9(4). pii: E967. doi: 10.3390/jcm9040967.
- 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;25(10). doi: 10.2807/1560-7917.ES.2020.25.10.2000180.
- Nishiura H, Kobayashi T, Miyama T, Suzuki A, Jung S, Hayashi K, et al. Estimation of the asymptomatic ratio of novel coronavirus infections (COVID-19). *Int J Infect Dis*. 2020. pii: S1201-9712(20)30139-9. doi: 10.1016/j.ijid.2020.03.020.
- Li Q, Guan X, Wu P, Wang X, Zhou L, Tong Y, et al. Early Transmission Dynamics in Wuhan, China, of Novel Coronavirus-Infected Pneumonia. *N Engl J Med*. 2020;382(13):1199-1207. doi: 10.1056/NEJMoa2001316.
- Donnelly CA, Ghani AC, Leung GM, Hedley AJ, Fraser C, Riley S, et al. Epidemiological determinants of spread of causal agent of severe acute respiratory syndrome in Hong Kong. *Lancet* 2003;361(9371):1761-6. doi: 10.1016/S0140-6736(03)13410-1.
- Dong E, Du H, Gardner L. An interactive web-based dashboard to track COVID-19 in real time. *Lancet Infect Dis*. 2020. pii: S1473-3099(20)30120-1. doi: 10.1016/S1473-3099(20)30120-1.
- Xu B, Kraemer MUG, Xu B, Gutierrez B, Mekar S, Sewalk K, et al. Open access epidemiological data from the COVID-19 outbreak. *Lancet Infect Dis*. 2020. pii: S1473-3099(20)30119-5. doi: 10.1016/S1473-3099(20)30119-5.
- Fisher D, Wilder-Smith A. The global community needs to swiftly ramp up the response to contain COVID-19. *Lancet*. 2020;395(10230):1109-1110. doi: 10.1016/S0140-6736(20)30679-6.
- COVID-19 National Emergency Response Center, Epidemiology & Case Management Team, Korea Centers for Disease Control & Prevention. Contact Transmission of COVID-19 in South Korea: Novel Investigation Techniques for Tracing Contacts. *Osong Public Health Res Perspect*. 2020;11(1):60-63. doi: 10.24171/j.phrp.2020.11.1.09.

17. Legido-Quigley H, Asgari N, Teo YY, Leung GM, Oshitani H, Fukuda K, *et al.* Are high-performing health systems resilient against the COVID-19 epidemic? *Lancet.* 2020;395(10227):848-850. doi: 10.1016/S0140-6736(20)30551-1.
18. Wilder-Smith A, Freedman DO. Isolation, quarantine, social distancing and community containment: pivotal role for old-style public health measures in the novel coronavirus (2019-nCoV) outbreak. *J Travel Med.* 2020;27(2). pii: taaa020. doi: 10.1093/jtm/taaa020.
19. Decreto Supremo que declara Estado de Emergencia Nacional por las graves circunstancias que afectan la vida de la Nación a consecuencia del brote del COVID-19. Decreto supremo N° 044-2020-PCM de 15 de marzo de 2020. *El Peruano* (15-03-2020). Disponible en: <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/decreto-supremo-que-declara-estado-de-emergencia-nacional-po-decreto-supremo-n-044-2020-pcm-1864948-2/>.
20. Kandel N, Chungong S, Omaar A, Xing J. Health security capacities in the context of COVID-19 outbreak: an analysis of International Health Regulations annual report data from 182 countries. *Lancet.* 2020;395(10229):1047-1053. doi: 10.1016/S0140-6736(20)30553-5.
21. Ferguson NM, Laydon D, Nedjati-Gilani G, Imai N, Ainslie K, Baguelin M, *et al.* Report 9: Impact of non-pharmaceutical interventions (NPIs) to reduce COVID-19 mortality and healthcare demand [Internet]. London: Imperial College; 2020. doi: 10.25561/77482.
22. World Health Organization. Report of the who-china joint mission on coronavirus disease 2019 (covid-19) [Internet]. Geneva: OMS; 2020. Disponible en: <https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/who-china-joint-mission-on-covid-19-final-report.pdf>.
23. Chen S, Yang J, Yang W, Wang C, Barnighausen T. COVID-19 control in China during mass population movements at New Year. *Lancet.* 2020;395(10226):764-766. doi: 10.1016/S0140-6736(20)30421-9.
24. McCloskey B, Zumla A, Ippolito G, Blumberg L, Arbon P, Cicero A, *et al.* Mass gathering events and reducing further global spread of COVID-19: a political and public health dilemma. *Lancet.* 2020;395(10230):1096-1099. doi: 10.1016/S0140-6736(20)30681-4.