



Modelamiento epidemiológico computacional del aumento de contagios al termino de la cuarentena en el Perú julio 2020

Mg. Víctor Vargas Fierro, investigador, Instituto Científico y Tecnológico del Ejército (ICTE)

RESUMEN

La investigación, desarrollada entre el 11 de julio y 3 de agosto, tuvo el propósito de analizar el aumento de los contagios por Covid-19 después del levantamiento de las medidas de bloqueo, su incidencia en la población y los efectos en la evolución de la curva pandémica durante el actual primer ciclo de la enfermedad en el Perú.

Palabras clave.- SARS-CoV-2, covid-19, Perú, modelos epidemiológicos

"Computational epidemiological modeling of the increase in infections at the end of quarantine in Peru July 2020"

The research, carried out between July 11 and August 3, had the purpose of analyzing the increase in infections by Covid-19 after the lifting of the blocking measures, their incidence in the population and the effects on the evolution of the pandemic curve during the current first cycle of the disease in Peru

Keywords.- SARS-CoV-2, covid-19, Peru, epidemiological models

INTRODUCCIÓN

El gobierno peruano determino el 1º de julio del presente año el fin del periodo de cuarentena rígida (1), decretada para detener la propagación del Sars-Cov-2 y proteger a la mayor cantidad de pobladores de los efectos del Covid-19. Esta medida se dio en las circunstancias de haber superado un mes antes los picos de contagios nacionales de la enfermedad, a partir de los cuales los monitoreos registraron un descenso sostenido de los contagios diarios, como estaba previsto en los modelos SIR (2).

Sin embargo, los días 11-12-13-18-26-27 y 28 de julio los mismos monitoreos registraron incrementos significativos en el número de nuevos contagios diarios, estos aumentos elevaron el ratio (nuevos contagiados por porcentaje de pruebas descartadas tomadas) en 14.649, 17.228, 20.582, 21.748, 20.350, 24.589 y 25.884 respectivamente. Teniendo en cuenta que el gobierno peruano procesa la información que llega de sus unidades de salud y entrega los resultados al día siguiente que recién se ven reflejados.

Las elevaciones de contagios empezaron 10 días después del levantamiento de la cuarentena estricta el 1º de julio y considerando el periodo de incubación del SARS-Cov-2 en un rango de 1 a 14 días (3), podemos inferir que una mayor exposición en sitios de aglomeraciones urbanas de personas susceptibles provocaron la elevación del ratio.

En anteriores investigaciones de autoría propia sobre la pandemia del Sars-Cov-2 en el Perú, con modelos ep-

epidemiológicos de simulación computacional SIR(2) se usaron criterios que en general terminaron coincidiendo con el *infection fatality rate* -IFR- del Estudio de Heinsberg de la Universidad de Bonn(4). El modelo computacional encontró que el bloqueo (cuarentena) redujo la tasa de contagios del coronavirus a 0.25, estos resultados se vieron confirmados al encontrarse otros estudios similares como el del Centro de Modelado Matemático de Enfermedades Infecciosas -CMMID- del Reino Unido, en su estudio del "Impacto de las medidas de distancia física en la transmisión en el Reino Unido"(5) encontró que el bloqueo (cuarentena) redujo en 73% el promedio diario de contactos por persona en Reino Unido, lo que permitió reducir la tasa de contagios de 2.6 antes del bloqueo a 0.62 (0.37 - 0.89) durante el bloqueo.

La experiencia reciente denota lo importante de situar los resultados y las tasas dentro de su contexto, se dijo que el factor R_0 menor a uno reduce los contagios creyéndose que podría acabar con el ciclo pandémico, constituyo un error de interpretación. Al parecer estando vigente el bloqueo (cuarentena) y antes de la llegada del punto máximo de contagios en la curva del ciclo, una tasa de contagios menor a uno solo retarda y aplana la curva de contagios, pero no pone fin al ciclo que igual termina desarrollándose.

Otra consideración importante a tener en cuenta proviene también del Estudio de Heinsberg(4) sobre las cifras ocultas de la pandemia, se encontró que los datos reales eran en promedio entre cinco y diez veces por encima de los datos oficiales(6). Criterio que comparte el epidemiólogo alemán Dietrich Rothenbacher(7) y el profesor Francisco González de la Universidad Johns Hopkins(8) quienes explican los motivos por los que en general las cifras oficiales de la pandemia en Latinoamérica no reflejan la realidad.

31 de mayo (1 junio data oficial) día del punto máximo de contagios en Lima y otras regiones, se produce un ratio de 31.279, el 7 de junio (8 de junio data oficial) el punto máximo de contagios nacional se produce un ratio de 26.444; el descenso de nuevos casos diarios prosigue durante las siguientes semanas de junio llegando por debajo del ratio 18 promedio de abril y en algunos momentos situándose por debajo del ratio 16.338 del día 20 abril, previo al inicio del ascenso la curva pandémica.

Durante el periodo de bloqueo (cuarentena) las dos curvas (susceptibles en descenso y recuperados en ascenso) se cruzan y alcanzan un equilibrio (punto de inflexión) entre la noche del 5 al 6 de junio, a

partir de ahí el virus paulatinamente se va quedando con menos espacio de expansión, esto produce como efecto casi inmediato la llegada del punto máximo de los contagios el 7 junio (El 31 mayo para Lima), luego la curva de contagios empieza descender hacia el fin del ciclo pandémico previsto inicialmente hacia el 30 de agosto bajo las condiciones del bloqueo (cuarentena).

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la programación del modelo se usaron los algoritmos y métodos del modelo epidemiológico S.I.R. (Población Susceptible, población Infectada, población Recuperada) (9) basado en ecuaciones diferenciales.

Para adecuar el modelo computacional existente se uso un lenguaje de programación general que permite obtener una mejor adaptabilidad y tiempo de ejecución, el Python 3.6.9 operando bajo entorno Linux Ubuntu versión 18.04 apoyado por el programa de análisis y visualización de datos científicos SciDavis versión 2.1.4.

Una primera simulación, usando los valores determinados para la primera simulación efectuada durante el bloqueo (cuarentena) universo poblacional de 32'131'400 peruanos, la tasa real de contagiados inicial de 0.250 incrementando diariamente la variación de la tasa de contagios desde el 11 de julio de acuerdo a la métrica de ratio porcentual, para estudiar el patrón de comportamiento del virus, tiempo de recuperación promedio por infectado de 14 días, el 15 de marzo del 2020 como fecha de inicio de las simulaciones.

Una segunda simulación con el día 3 de agosto como fecha de inicio de simulación con datos de entrada estandarizados usando parámetros obtenidos del estudio de seroprevalencia del MINSA del 9 de julio, usando un universo poblacional de 32'625,948 peruanos, la tasa real de contagios de 0.488 (medida al 3 agosto), tiempo de recuperación promedio del infectado de 10 días.

RESULTADOS

Se opto por acercarse lo más posible a la realidad usando la variación del ratio porcentual nuevos contagiados diarios para determinar la variación decimal de la tasa de contagios, cuya aproximación resulta de importancia para la simulación.

Cuando la curva epidémica empieza su ascenso, todos los indicadores van en alza, llega el punto máximo de contagios y el ciclo empieza descender. Las cifras acumuladas siguen subiendo, pero lo que determina el descenso del ciclo es el debilitamiento en la capacidad del virus para lograr nuevos contagios con que seguir expandiéndose, por esta razón (divergencia de curvas) el seguimiento de esta evolución a partir de ese momento, se realiza a través de un ratio porcentual de nuevos contagios obtenidos en la cantidad de pruebas para detectar al virus, tomadas por los servicios de salud.

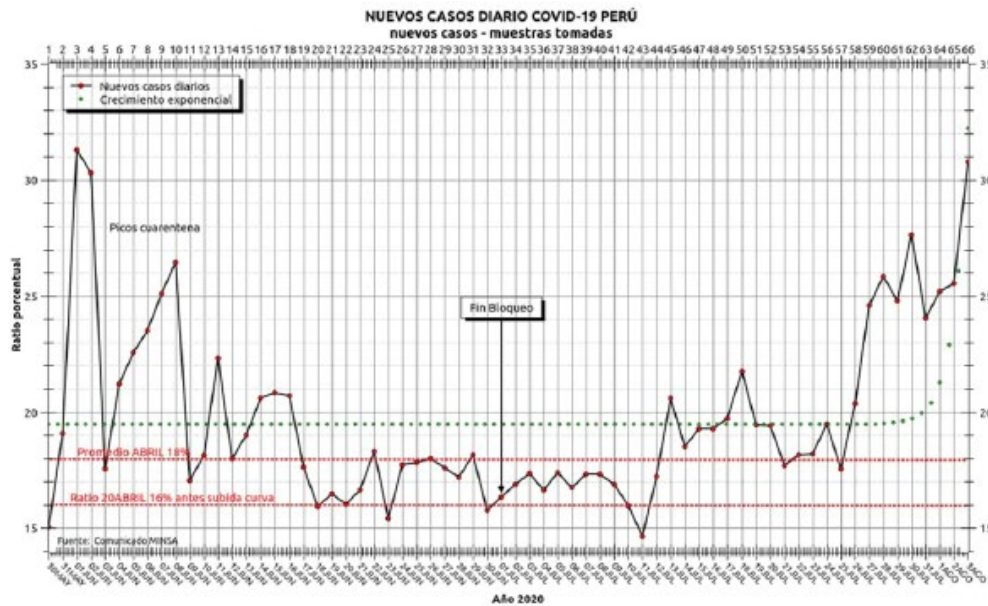


FIGURA 1 Gráfico elaborado con información oficial, muestra el seguimiento en base al ratio(10), desde los puntos máximos de contagio (picos) y el aumento de contagios producido los días 11-12-17-25-26-27 de julio y 2 de agosto, reflejada en los conteos oficiales un día después.

El día del levantamiento del bloqueo (cuarentena) el 1 julio se tuvo un ratio de 16.882, pasan 10 días y se produce una súbita elevación, estando aún dentro del periodo de incubación del coronavirus de 14 días, el 11 julio alcanza 17.228 , 25.844 el 27 de julio y 30.773 el 2 de agosto, reflejándose un día después en los datos oficiales.

El resultado se la primera simulación fue que en promedio, la tasa de contagios se elevó desde 0.250 durante el bloqueo hasta 0.314 el 28 de julio y 0.488 el 3 de agosto.

La simulación es ejecutada insertando diariamente el aumento de tasa de contagios producida por los nuevos casos, los resultados muestran claramente la anomalía producida por el cambio de condiciones del aislamiento social del 1 julio, se observa la repetición de un padrón de comportamiento atípico.

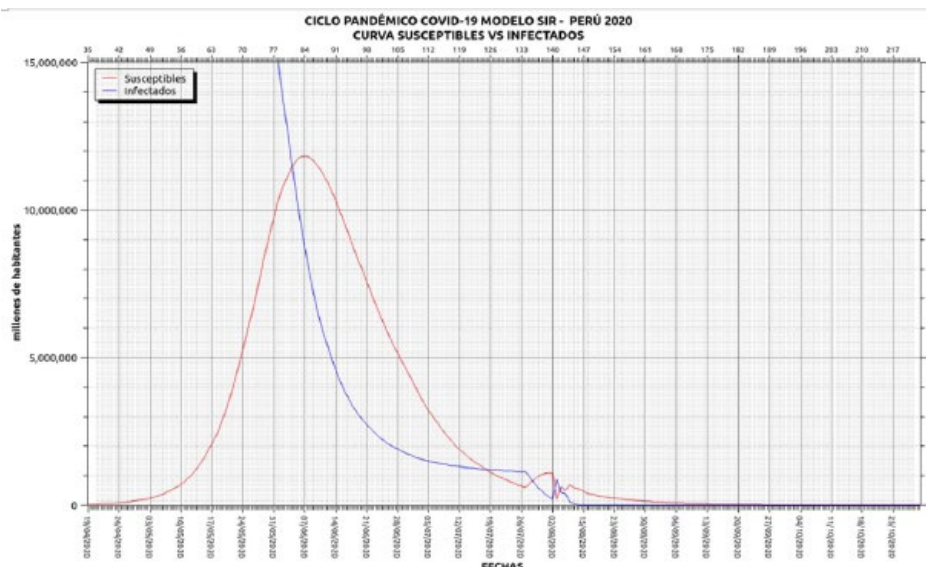


FIGURA 2 La data del modelo muestra la evolución en el tiempo del primer ciclo pandémico en el Perú: la curva de susceptibles (verde), infectados (rojo), recuperados (azul) y fallecidos (magenta).

Producto del fin del bloqueo (cuarentena) el 1° de julio, una mayor movilidad social urbana y regional de susceptibles, empieza hacer evidente un aumento significativo de los contagios diarios.

El gráfico de la Figura N.º 2 muestra que después del 1° de julio la curva de susceptibles va deteniendo su descenso que expone a más habitantes a la acción del virus, pasando en unos días a una horizontalidad después del 8 de julio, hecho que provoca el alza moderada de contagios entre los días 11 al 17 de julio y una tendencia donde la cantidad de susceptibles superarían en unos días el número de contagiados.

Las dos curvas de contagios-susceptibles se juntan y van en paralelo entre los días 20 al 23 de julio, llegando al día 24 de julio donde la cantidad de susceptibles a la infección supera la cantidad de contagios, ante el aumento de la masa crítica del virus se gesta la fuerte subida de la curva de contagios de los días 25-26 y 27 de julio.

Este patrón de comportamiento donde por días los susceptibles superan los contagios se repetirá sucesivamente, provocando que el virus aumente su espacio de expansión (contagios) por algunos días hasta agotar los susceptibles y generando la elevación de picos como el del 2 de agosto.

El aumento abrupto de contagios que provoca el aumento de su curva, logra por primera vez la baja en la cantidad de susceptibles desde el 1° de julio, produciéndose un nuevo punto de inflexión entre la curva de susceptibles en baja (azul) y la de contagiados en ascenso (rojo) la noche del 27 al 28 de julio, como consecuencia este sub-ciclo se repite el 2 agosto, pero no tiene la fuerza para provocar una segunda curva pandémica, comenzaría nuevamente a descender lentamente hacia el fin del ciclo pandémico.

Sin embargo, se pudo comprobar que usando este método el simulador computacional solo podría predecir aumentos de curva en periodos muy cortos de 4 a 5 días de anticipación, insuficiente para los propósitos necesarios y que las condiciones del levantamiento del bloqueo había creado nuevas condiciones a las existentes durante el bloqueo, se evidencio que ante la ausencia de información de entrada confiable (requisito para la capacidad predictiva de los modelos) se requería estandarizar la información para acercarla lo más posible a la realidad y ejecutar el segundo proceso.

Se ajustó la información demográfica a las proyecciones de población 2020(11) para acercarlo a los datos aportados por el estudio de seroprevalencia del Ministerio de Salud -MINSA- del 9 julio(12) que determino que el 25.3% de población de Lima y el Callao ya se encontraba infectada por el coronavirus, consultando la información de casos confirmados del MINSA para el día del fin del estudio del comunicado N.º 164 MINSA(13) se determino que la cifra real de contagios era en promedio 15.63 superior a la cifra de casos confirmados oficial.

Extrapolando los parámetros se procedió actualizar la cifras oficiales del 3 agosto, día del inicio de la nueva simulación, obteniéndose la siguiente proyección:

REGIÓN	TOTAL POBLACIÓN	PROYECCIÓN CASOS	% INFECTADOS
Lima	10,628,470	3,228,517	30.376
Callao	1,129,854	339,296	30.030
La Libertad	2,016,771	248,564	12.325
Arequipa	1,497,438	241,827	16.149
Moquegua	192,740	51,516	26.728
Cusco	1,357,075	79,291	5.843
Iambayaque	1,310,785	276,307	21.080
Piura	2,047,954	337,139	16.462
Amazonas	426,806	96,765	22.672
Ica	975,102	208,645	21.395
Junin	1,361,467	129,432	9.507
Ancash	1,180,638	196,391	16.634
Cajamarca	1,453,711	106,175	7.304
Huánuco	760,267	107,550	14.146
Apurímac	430,736	15,630	3.629
Puno	1,237,997	40,341	3.259
Tacna	370,974	50,125	13.512
Loreto	1,027,559	184,919	17.996
San Martín	899,648	141,686	15.749
Ayacucho	668,213	64,583	9.665
Huancavelica	365,317	29,619	8.108
Pasco	271,904	32,026	11.778
Tumbes	251,521	67,146	26.696
Ucayali	589,110	161,380	27.394
Madre de Dios	173,811	55,408	31.879

Si apreciamos el caso de Lima en la proyección (30.376%) notamos que los resultados de la estandarización guardan lógica, dado que el 9 de julio la seroprevalencia nos daba 25.3% de contagios, casi un mes después la cifra arroja 30.376% lo cual es consistente con el ritmo de aumento de contagios ocurridos en la realidad.

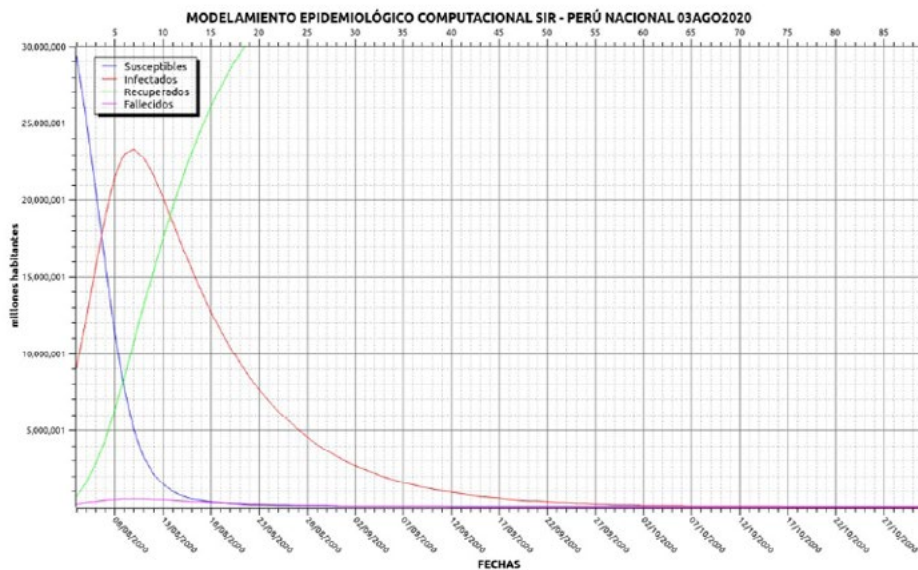


FIGURA 3 los resultados de la segunda simulación desde el 3 de agosto, con la data estandarizada, parámetros obtenidos del estudio de seroprevalencia del 9 de julio.

La segunda simulación muestra que el punto de inflexión entre las curvas susceptibles en baja (azul) y contagios en alza (rojo) se estaría produciendo entre el 6 y 7 de agosto, asimismo es interesante notar un segundo punto de inflexión entre los recuperados en aumento (verde) y los susceptibles en baja (azul) que se produciría el 9 de agosto, con lo que se acabaría la capacidad del coronavirus de seguir creciendo y comenzaría el descenso definitivo hacia el final del primer ciclo pandémico.

Esta situación provocaría que llegue el punto máximo de contagios (pico máxima de contagios del sub-ciclo) entre el 9 y el 11 de agosto, en este escenario con los contagios en descenso se produce otro punto de inflexión con la curva de recuperados en franca subida que afecta definitivamente la masa crítica del virus, condiciones que prevalecerán si es que no se varía nuevamente de manera significativa las condiciones de interacción social hasta el fin del ciclo que terminaría hacia finales de septiembre.

CONCLUSIONES

1. La elevación de nuevos contagios registradas los días 11-12-17-26-27- 28 de julio y 3 de agosto producto del levantamiento de las medidas estrictas de aislamiento social el 1 de julio, expuso a más personas susceptibles a la acción del virus, llegara a su punto máximo de contagios entre el 9 y 11 de agosto empezando un lento descenso hacia su fin a fines septiembre, alargando la curva pandémica cuyo fin estaba previsto inicialmente para el 30 de agosto.
2. La tasa de contagios de 0.250 de la cuarentena, durante el periodo posterior al bloqueo (cuarentena) se elevó en promedio a 0.488, que no alcanzara su tasa natural evidencia el mayor cuidado que tiene ahora la población con el uso de mascarillas.
3. La proyección muestra que con el levantamiento del bloqueo se eleva el porcentaje de infectados al final del ciclo del 36.69% previsto bajo condiciones de cuarentena, hasta un rango de entre el 44.50% - 51.68% del total de la población aproximadamente.
4. En el escenario posterior al bloqueo (cuarentena) todo cambio en las condiciones de interacción social puede provocar la aparición de sub-ciclos no deseados, cuyas consecuencias se traducen directamente en miles de afectados, se deben evitar medidas que produzcan estas alteraciones hasta que llegue a su fin el actual ciclo pandémico hacia finales de septiembre.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Agencia Andina, publicación del Decreto Supremo N.º 116-2020-PCM <https://es.scribd.com/document/467102954/Gobierno-amplia-estado-de-emergencia-hasta-el-31-de-julio-por-coron>
2. Instituto Científico y Tecnológico del Ejército ICTE, investigación “Modelos de simulación computacionales epidemiológicos y la pandemia por covid-19 en el Perú” <https://icte.edu.pe/2020/07/08/revista-cientifica-citek/>
3. Ministerio de Sanidad de España, Centro de Coordinación de Alertas y Emergencias Sanitarias <https://www.mscbs.gob.es/profesionales/saludPublica/ccayes/alertasActual/nCov-China/documentos/ITCoronavirus.pdf>
4. Universidad de Bonn, Heinsberg Study results <https://www.uni-bonn.de/news/111-2020>
5. Centro de Modelado Matemático de Enfermedades Infecciosas -CMMID-, repositorio <https://cmmid.github.io/topics/covid19/comix-impact-of-physical-distance-measures-on-transmission-in-the-UK.html>
6. Deutsche Welle <https://www.dw.com/es/estudio-de-heinsberg-cu%C3%A1-es-la-cifra-real-de-contagios-ocultos-con-coronavirus-en-alemania/a-53331374>
7. Deutsche Welle <https://www.dw.com/es/coronavirus-se-toman-decisiones-en-base-a-datos-con-muchas-incertidumbres/a-53443995>
8. Deutsche Welle <https://www.dw.com/es/coronavirus-epidemi%C3%B3logos-de-johns-hopkins-creen-que-cifras-oficiales-en-am%C3%A9rica-latina-son-err%C3%B3neas/a-53459421>
9. Ángela Hernández López (2016), Estudio numérico de un modelo de propagación de enfermedades, Universidad de Zaragoza España.
10. Ministerio de Salud del Perú, sala situacional covid-19 https://covid19.minsa.gob.pe/sala_situacional.asp
11. https://es.wikipedia.org/wiki/Demograf%C3%ADa_del_Per%C3%BA#cite_note-18
12. <https://gestion.pe/peru/coronavirus-peru-minsa-divulga-ficha-tecnica-del-estudio-que-revela-que-el-253-de-lima-y-callao-adquirio-el-covid-19-cuarentena-estado-de-emergencia-nndc-noticia/>
13. <https://www.gob.pe/institucion/minsa/noticias/201526-minsa-casos-confirmados-por-coronavirus-covid-19-ascienden-a-316-448-en-el-peru-comunicado-n-164>