



### Recuadro 3 ESTIMACIÓN DEL NÚMERO DE REPRODUCCIÓN (R) PARA PERÚ

Una herramienta importante de análisis respecto a la evolución de la pandemia para la toma de decisiones es el estimado del número de reproducción efectivo del COVID-19.

#### El número de reproducción R

El número de reproducción R mide la capacidad de transmisión de una enfermedad; es decir, qué tan infecciosa es una enfermedad. Usualmente, se analizan dos números de reproducción:  $R_0$  o R básico y  $R_t$  o R efectivo. El R básico mide la capacidad de transmisión de una enfermedad al inicio de esta, cuando todos los individuos de la población son susceptibles; es decir, mide el grado de contagio natural de una enfermedad. Por ejemplo, si se asume que el R básico del COVID-19 es 3 significa que en una población donde nadie es inmune y no se toman acciones para controlar el brote de la enfermedad, cada individuo infectado transmite el virus a tres personas en promedio. El  $R_0$  excluye los nuevos casos producidos por los casos secundarios.

El R efectivo permite medir el número promedio de personas que en un momento de tiempo "t" pueden contagiarse de casos secundarios de contagios. Evidentemente, las acciones implementadas para evitar la propagación de una enfermedad disminuyen su capacidad de transmisión y por ende el R efectivo. En el caso del COVID-19, se espera que el distanciamiento social y la utilización de mascarillas disminuyan la transmisibilidad del virus y, por ende, que el R efectivo disminuya.

Los epidemiólogos sostienen que la única forma de combatir el COVID19 es entender y gestionar en función al R efectivo. Los valores de tiene diferentes implicancias: (i) si  $R > 1$ , el número de nuevos casos crece en el tiempo y la enfermedad prolifera; (ii) si  $R = 1$ , el número de casos nuevos se mantiene constante; y (iii) si  $R < 1$ , el número de casos nuevos disminuye en el tiempo. Durante la pandemia del COVID-19, los países empezaron a reducir las restricciones de aislamiento cuando  $R_t$  registró niveles menores a 1. Si se reduce por debajo de 1 y también se reduce el número de contagios en general, el virus se vuelve manejable.

#### Metodología de estimación

Para estimar el número de reproducción  $R_t$ , se utilizó el siguiente modelo de espacio de estados<sup>8</sup>:

$$\text{Ecuación de observación: } I_{t+1} \sim \text{Poisson}(I_t e^{\theta_t})$$

$$\text{Ecuación de estado: } \theta_t \sim N(\theta_{t-1}, \sigma)$$

8 La estimación se basa en Vladeck (2020), <https://tomvladeck.com/2020/04/15/rt-ssm.html>.

donde  $t$  representa días.  $I_t$  es el número total de personas contagiadas en los últimos 20 días<sup>9</sup>; es decir, es un indicador suavizado del ritmo de contagios. La variable  $\theta_t$  es la tasa esperada de crecimiento en el ritmo de los contagios. Esta variable puede ser expresada como  $\theta_t = \gamma(R_t - 1)$ , donde  $\gamma$  es la inversa del número de días que demora la aparición de síntomas en una persona infectada (intervalo serial) y es el número de reproducción efectivo. En este modelo,  $\theta_t$  es la variable de estado no observable pues depende de  $R_t$  que no es observable:

$$R_t = \frac{\theta_t}{\gamma} + 1$$

El modelo espacio de estados se estima utilizando el filtro de Kalman. De esta forma,  $R_t$  se obtiene a partir de la estimación de  $\theta_t = \gamma(R_t - 1)$ .

Se puede apreciar que si el ritmo de contagios crece  $\theta_t > 0$ , entonces  $R_t > 1$ . Cuando el ritmo de contagios deja de crecer se tiene  $\theta_t = 0$  y por tanto  $R_t = 1$ , mientras que si el ritmo de contagio está en franco descenso  $\theta_t < 0$  se obtiene  $R_t < 1$ .

En el caso del COVID-19, se estima que el intervalo serial se encuentra entre 4 y 8 días. Las estimaciones que se presentan asumen que el intervalo serial es 6 días<sup>10</sup>, es decir  $1/\gamma = 6$ .

### Estimados de R

El insumo principal en la estimación de  $R_t$  es el número de nuevos infectados, a partir del cual se calcula  $I_t$ . Sin embargo, esta cifra no solo refleja la transmisibilidad del virus sino también la intensidad en la realización de pruebas aplicadas para detectar infectados. Además, las cifras oficiales de infectados sólo se computan a partir del día de detección y no a partir del inicio de síntomas. Es decir, la variable  $I_t$  observada tiene errores de medición y deben usarse con cautela en la medición de R.

Tomando en cuenta este problema de medición, se estiman diferentes versiones de R que se diferencian en la aproximación de la cifra de nuevos infectados de acuerdo con el siguiente cuadro.

9 Si fuera  $I_t$  el número acumulado de personas contagiadas en "t", entonces R nunca sería menor a 1. Para permitir la posibilidad de que  $R < 1$ , se asume que  $I_t$  representa el número total de personas contagiadas en los últimos N días. En este caso,  $N=20$ .

10 Nishiura, Linton y Akhmetzhanov (2020) estiman que es 4.6 días con un intervalo de confianza al 95% entre 3.5 y 5.9. Ver: [https://www.ijidonline.com/article/51201-9712\(20\)30119-3/pdf](https://www.ijidonline.com/article/51201-9712(20)30119-3/pdf).





### VERSIONES DE NUEVOS INFECTADOS DIARIOS UTILIZADOS PARA LAS ESTIMACIONES DE VERSIONES CORRESPONDIENTES DEL NÚMERO R

Versión	Definición	Fuente
I1	Número oficial de nuevos infectados que fueron identificados con cualquier tipo de prueba	Sala Situacional MINSA
I1*	Número oficial de nuevos infectados que fueron identificados solo con pruebas PCR <sup>11</sup> .	Datos Abiertos MINSA
I2	Número de nuevos infectados estimados a partir de las cifras oficiales de muertes	Sala Situacional MINSA
I3	Número de nuevos infectados estimados a partir de los estimados de excesos de muertes.	SINADEF
I3*	Número de nuevos infectados estimados a partir de los estimados de excesos de muertes ajustados por corrección de sesgo de fin de muestra.	SINADEF

Las versiones I2, I3 e I3\* son aproximaciones de contagios estimados a partir de cifras de muertes. La versión I2 corresponde a la cifra oficial de muertes publicada diariamente en la Sala Situacional COVID-19. En cambio, I3 e I3\* corresponden a las cifras de fallecimientos diarios con certificados de defunción que atribuyen COVID-19, Coronavirus o SARS-CoV-2 como posible causa de muerte. Esta última información se obtiene del Sistema Informático Nacional de Defunciones (SINADEF).

El SINADEF publica estas estadísticas conforme va llegando información al sistema informático y por ello son posibles de corregirse hacia atrás. Las cifras de muertes del día anterior suelen ser relativamente bajas respecto a los demás días porque aún no llega toda la información de fallecidos del día anterior. Con el paso de los días, la información se estabiliza y refleja la verdadera cifra de muertes de ese día. Por ello, las cifras en tiempo real tienen un sesgo hacia abajo por publicación temprana. Para controlar este sesgo, nuestro cálculo I3 corta la serie de fallecidos hasta unos días atrás para obviar las cifras sesgadas mientras que I3\* considera una corrección estadística del sesgo sobre la base de las correcciones históricas que se tienen que hacer con las cifras hasta que se estabilicen.

Para estimar el número de infectados a partir del número de muertes, se asume que: (i) Entre la infección y la muerte de una persona (si sucede) transcurren aproximadamente 7 días y (ii) La tasa de fatalidad de los casos de COVID-19 es 3,4 (según la Organización Mundial de la Salud). Bajo estos supuestos, el estimado del número de infectados el día  $t$ , se obtiene según la siguiente fórmula:

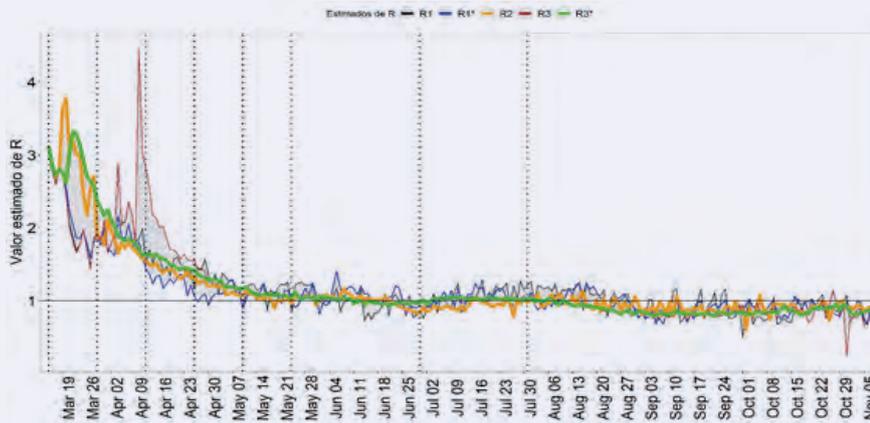
$$I_t = \frac{M_{t+7}}{\phi}$$

Dado que la estimación  $I_t$  está en función del adelanto de las muertes, la estimación de los 7 días más recientes de  $I_t$  requiere predecir el número de muertes.

En total, se estiman cinco R's alternativos: R1 basado en I1, R1\* basado en I1\*, R2 basado en I2, R3 basado en I3 y R3\* basado en I3\*. El siguiente gráfico muestra la evolución de los diferentes estimados de R efectivo; las líneas verticales punteadas indican las fechas en las que se extendió el periodo de aislamiento social obligatorio.

11 PCR hace referencia a las siglas en inglés de "Reacción en Cadena de la Polimerasa". La prueba PCR es una prueba de diagnóstico que permite detectar un fragmento del material genético de un patógeno o microorganismo.

### ESTIMADOS DEL NÚMERO DE REPRODUCCIÓN R

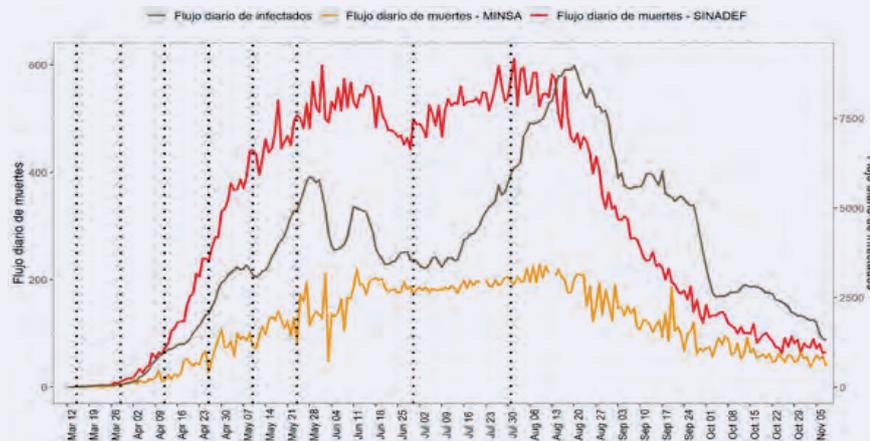


Fuente: MINSA y SINAEF.

Se observa que desde fines de agosto los diferentes estimados del número de reproducción se sitúan por debajo de 1, lo cual implica que el contagio se encuentra en una fase decreciente.

Este resultado es consistente con la evolución reciente del número de infectados y fallecidos. El ritmo de contagios detectados se ha desacelerado desde fines de agosto. Como se observa en el siguiente gráfico, el flujo diario de infectados (promedio móvil de los últimos 7 días) se redujo de casi 9 000 a finales de agosto a menos de 2 000 a inicios de noviembre. Durante el mismo periodo, el flujo de muertes se redujo aproximadamente de 600 a 60 casos según SINAEF y de 300 a 40 casos según MINSA.

### EVOLUCIÓN DEL FLUJO DIARIO DE INFECTADOS Y MUERTES POR COVID-19



Nota: El flujo de infectados es un promedio móvil de los nuevos casos detectados en los últimos 7 días.  
Fuente: MINSA y SINAEF.

