







Posibles Escenarios de Propagación de COVID-19 en Ecuador

Hernán Aguirre,

Fronteras en Optimización Masiva e Inteligencia Computacional
Laboratorio Internacional Asociado LIA-MOD̄O
Universidad de Shinshu, Japón

19 de Marzo, 2020

Puntos claves

-  Sin un control adecuado, el COVID-19 podría tener un pico de 10 millones de ecuatorianos infectados simultáneamente en poco más de dos meses.
-  Asumiendo que hay contagiados únicamente en las provincias de Guayas, Los Rios, Pichincha y Sucumbíos, la restricción total de movilidad interprovincial ayudaría a reducir el número de contagiados en aproximadamente un 50%. El 57% de la población en dichas provincias llegaría a estar infectada simultáneamente.
-  Si se lograra detectar y aislar al 75% de los infectados sin imponer restricción en la movilidad, el pico de infección se retrasaría más de un año, lo que daría más tiempo para prepararse. Sin embargo aún así, durante el pico habrían más de 2 millones de infectados.
-  La restricción de movilidad intra-provincial a un 25% combinada con la detección y aislamiento del 75% de infectados podría reducir el pico de infección a 700 mil y retrasarlo 2 años.
-  La restricción de movilidad intra-provincial a un 50% y la inter-provincial a un 25%, combinada con la detección y aislamiento del 75% de infectados evitaría el crecimiento descontrolado del virus. Sin embargo estas medidas deberían ser permanentes.
-  El modelo está implementado a una escala provincial. Es recomendable cambiar la escala a cantonal o parroquial para lo que se requieren datos desagregados a ese nivel. Esto ayudaría a focalizar geográficamente las medidas de restricción de movilidad e incrementaría la efectividad del control de la epidemia.



Tomando en cuenta el período de incubación del COVID-19, los efectos de cualquier medida tardarían dos semanas en observarse. Será necesario ir ajustando cuidadosamente las medidas en el tiempo con el fin de balancear la actividad económica y social del país con el control de la epidemia para evitar el colapso del sistema de salud.



Los modelos utilizan valores interpolados que pueden ser mejorados con nuevos datos. Un análisis de sensibilidad permitirá establecer los márgenes de confianza de los modelos.



El modelo que se presenta aquí es preliminar y todavía no ha sido revisado por pares.

1 Introducción

Los virus como COVID-19 tienden a propagarse de manera exponencial si no se toman medidas apropiadas en los estados tempranos de una epidemia.

Los modelos compartimentales SIR (Susceptibles, Infectados, Recuperados) son útiles para estudiar y predecir la propagación de enfermedades infecciosas con el afán de evaluar escenarios de mitigación. Un modelo SIR multi-población es una variante que permite simular la propagación simultánea de una infección en varias poblaciones conectadas a través de una red de transporte.

Este artículo reporta simulaciones iniciales con un modelo SIR multi-población para ilustrar posibles escenarios de propagación del COVID-19 en las distintas provincias del Ecuador. El objetivo de este trabajo es proveer información útil que ayude en la toma de decisiones para mitigar la propagación del virus y sus efectos. Es importante mencionar que los resultados reportados en este artículo se refieren a los casos confirmados oficialmente, y no se consideran los posibles efectos de los casos no detectados.

La sección 2 del artículo introduce el modelo, de tal forma que pueda ser validado por expertos y replicado por terceras partes. La sección 3 detalla la forma en que los datos fueron recolectados así como la forma que se estiman los parámetros del modelo. La sección 4 presenta resultados de simulación analizando siete escenarios diferentes de propagación del COVID-19, variando el grado de restricción de movilidad inter-provincial e intra-provincial así como el aislamiento de infectados. Finalmente, la sección 5 discute los resultados reportados e introduce posibles vías de expandir este estudio.

2 Modelo SIR Multi-población

El modelo asume N poblaciones interconectadas.

Nomenclatura:

- P_n : número de individuos en la población n , $n = 1, \dots, N$

- $H_{n,m}$ número promedio de visitantes de la población n a m en el tiempo t
- $S_{t,n}$: número de individuos susceptibles (sanos) al tiempo t en la población n
- $I_{t,n}$: número de individuos infectados al tiempo t en la población n
- $R_{t,n}$: número de individuos recuperados inmunes (y fallecidos) al tiempo t en la población n

Parámetros del modelo:

- α : tasa de infección. Fracción de contagios por individuo infectado en una unidad de tiempo
- β : tasa de recuperación. La fracción de individuos infectados que se recuperan (y fallecen) durante una unidad de tiempo

Número de individuos recién infectados al tiempo t :

En un esquema multi-población, un individuo susceptible en la población n puede contactar con individuos infectados provenientes de tres fuentes:

1. Los infectados en la misma población n . La interacción con infectados de la misma población da como resultado

$$\alpha \frac{S_{t,n}}{P_n} I_{t,n} \quad (1)$$

individuos recién infectados at tiempo t en la población n .

2. Los visitantes infectados de otras poblaciones. La probabilidad de que un individuo en m visite n puede estimarse por $H_{m,n}/P_m$, por lo que los individuos recién infectados en la población n se pueden calcular con la siguiente formula

$$\alpha S_{t,n} \sum_{m=1, m \neq n}^N \frac{H_{m,n}}{P_m} I_{t,m} \quad (2)$$

3. Los individuos infectados de otras poblaciones que son contactados por los visitantes susceptibles de n . La probabilidad de que un individuo en n visite m puede estimarse por $H_{n,m}/P_n$, por lo que los individuos recién infectados resultantes en n son

$$\alpha \sum_{m=1, m \neq n}^N S_{t,n} \frac{H_{n,m}}{P_n} I_{t,m} \quad (3)$$

Por conveniencia se asigna $H_{n,n} = P_n/2$ para agregar (1), (2) y (3), con lo que se obtiene la siguiente fórmula para calcular el número total de individuos recién infectados en el tiempo t en la población n ($\delta_{t,n}$)

$$\delta_{t,n} = \alpha \frac{S_{t,n}}{P_n} \sum_{m=1}^N \left(\frac{H_{m,n}}{P_m} + \frac{H_{n,m}}{P_n} \right) I_{t,m} \quad (4)$$

Relaciones dinámicas en el modelo:

El número de susceptibles $S_{t+1,n}$, infectados $I_{t+1,n}$ y recuperados $R_{t+1,n}$ at tiempo $t + 1$ en cada una de las poblaciones es como sigue

$$S_{t+1,n} = S_{t,n} - \delta_{t,n} \quad (5)$$

$$I_{t+1,n} = I_{t,n} + \delta_{t,n} - \beta I_{t,n} \quad (6)$$

$$R_{t+1,n} = R_{t,n} + \beta I_{t,n} \quad (7)$$

Además, se considera que la población permanece constante,

$$P_{t,n} = S_{t,n} + I_{t,n} + R_{t,n} = P_n \quad (8)$$

3 Preparación de Datos

Poblaciones por provincia:

El modelo SIR Multi-población que se explora considera que cada una de sus poblaciones P_n , $n = 1, \dots, N$ corresponde a la población de una provincia del Ecuador.

Las poblaciones de cada provincia se calculan en base el censo del 2010 y al total de la población actual publicado por el Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos[1] de la siguiente forma

$$P_n = P_{n10} + \frac{P_{n10}}{P_{E10}} \times (P_{E20} - P_{E10}) \quad (9)$$

donde P_n es la población estimada en la provincia n al 2020, P_{n10} es la población en la provincia n de acuerdo al censo del 2010, P_{E10} y P_{E20} son la población total en el Ecuador en el 2010 y 2020, respectivamente.

Patrones de movilidad:

La propagación del virus depende en gran medida del número de personas que interactúan o tienen contacto entre sí. El modelo SIR aplicado sobre una sola población implícitamente asume que una persona puede encontrarse con cualquier otra persona. En el caso de múltiples poblaciones, es necesario proporcionar información de movilidad para determinar el grado de interacción entre individuos de distintas poblaciones.

En nuestro caso, usamos una matriz OD the origen/destino que incluye información sobre la conectividad entre capitales provinciales. Los medios principales para acceder de una provincia a otra en el Ecuador son los buses de transporte público, vehículos privados, y en ciertos casos aviones y barcos. Al momento la matriz OD que usamos sólo incluye las frecuencias diarias de buses entre capitales de provincia[2], es decir $OD_{n,m}$ contiene el número de buses que salen de la capital de provincia n hacia la capital de provincia m . Para estimar el número de personas que se movilizan se asume que en promedio 20 personas viajan en cada bus. Es decir, la matriz H , cuyo componente $H_{n,m}$ indica el número promedio de personas de la provincia n que visitan la provincia m , está dado por

$$H = 20 \times OD$$

En [2] se reporta un número total de 9,190 viajes inter-provinciales. Es decir, nuestra simulación asume que $20 \times 9,190 = 183,800$ personas viajan cada día entre provincias en el Ecuador.

Datos de transporte privado, así como de frecuencias de avión, ayudarían a tener un mejor estimado de la movilidad entre provincias.

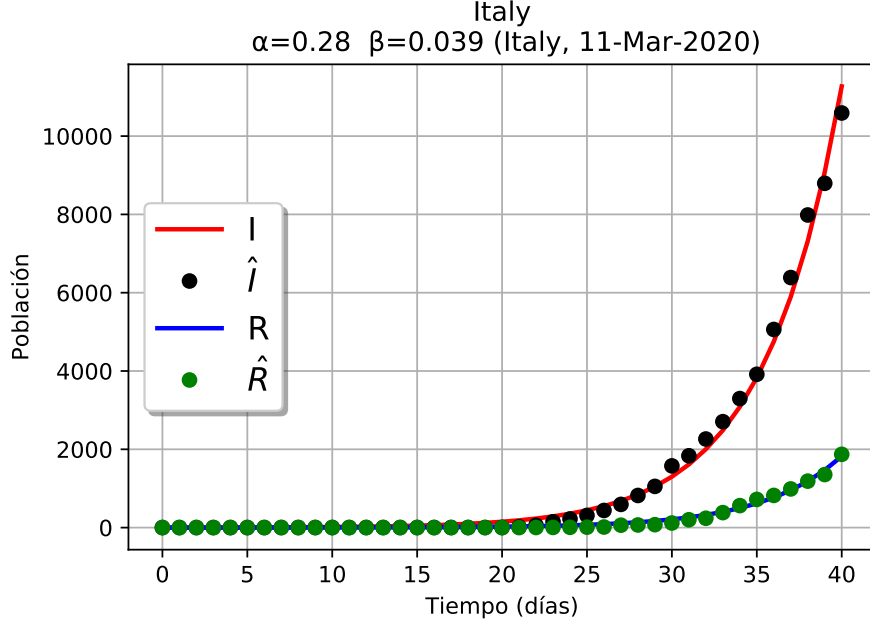


Figura 1: Número de casos de COVID-19 reportados en Italia (\hat{I} , \hat{R}) y número de casos estimados por el modelo SIR (I , R) usando los parámetros óptimos de tasa de infección α y tasa de recuperación β obtenidos por regresión.

Estimación de los parámetros α y β del modelo:

La tasa de infección α y la tasa de recuperación β son dos parámetros fundamentales del modelo. Para estimar estos valores, se simula la propagación del COVID-19 en *Italia* usando el modelo SIR con una sola población y se efectúa una regresión entre los valores de infectados I_t y recuperados R_t estimados por el modelo con los valores \hat{I}_t y \hat{R}_t de casos de COVID-19 reportados por dicho país. La regresión usa un algoritmo evolutivo para encontrar valores óptimos de α y β que minimizen el error entre los valores reportados y los estimados

$$e = \frac{1}{T} \left(\sum_{t=1}^T (\hat{I}_t - I_t)^2 + \sum_{t=1}^T (\hat{R}_t - R_t)^2 \right)$$

Para efectuar la regresión se usan los datos de casos reportados de COVID-19 en Italia hasta el día 11 de Marzo del 2020, compilados por el Centro de Sistemas, Ciencia, e Ingeniería de la Universidad Johns Hopkins[3]. En [3] se reportan tres series de datos, infectados, recuperados y muertos. Para efectuar la regresión, la suma de recuperados y muertos se consideran como \hat{R}_t . El tamaño de la población de Italia se obtiene de [4], donde se reporta 60,461,826 habitantes para el año 2020.

La Figure 1 muestra el número de casos de COVID-19 reportados en Italia (\hat{I} , \hat{R}) y número de casos estimados por el modelo SIR (I , R) usando los parámetros óptimos de tasa de infección

α y tasa de recuperación β obtenidos por regresión. De esta figura note que el modelo replica con alta fidelidad tanto el número de infecciones como el número de recuperados reportados en Italia.

En la simulación de la propagación de COVID-19 en Ecuador se usan estos valores de los parámetros α y β .

Estado inicial del modelo:

El estado inicial del modelo corresponde a los valores at tiempo $t = 0$ de susceptibles $S_{0,n}$, infectados $I_{0,n}$ y recuperados $R_{0,n}$ en cada una de las provincias, $n = 1, \dots, N$. Para determinar estos valores se toma el número de casos reportados en Ecuador al 13 de Marzo del 2020, como se indica en la Tabla 1. Es decir,

- el número de infectados en Guayas, Los Rios, Pichincha, y Sucumbios es inicializado a 8, 10, 5 y 1, respectivamente, mientras el número de infectados en el resto de provincias es inicializado a 0
- el número de susceptibles es inicializado al tamaño de la población de la provincia menos el número de infectados en dicha provincia
- el número de recuperados es inicializado a 0 en todas la provincias

La Tabla 1 también incluye la población estimada en las provincias donde se han detectado casos así como la población estimada en el Ecuador.

Tabla 1: Provincias con casos de COVID-19 (13 de Marzo 2020)

Provincia	Casos	Población
Guayas	8	4,400,000
Los Rios	10	940,000
Pichincha	5	3,100,000
Sucumbios	1	210,00
Ecuador	24	17,450,000

4 Resultados de Simulaciones

Esta sección presenta resultados de simular siete escenarios diferentes de propagación del COVID-19 variando el grado de restricción de movilidad inter-provincial, intra-provincial, y el aislamiento de infectados. Por simplicidad llamamos a estos escenarios con un número romano entre I y VII. La Tabla 2 resume los escenarios e indica el grado de restricción aplicado así como la figura donde se reportan los resultados correspondientes de la simulación.

4.1 Escenario I : Propagación sin control

El escenario I ilustra la propagación del virus cuando no se toma ninguna medida para contrarrestar su propagación.

Tabla 2: Escenarios analizados de propagación del COVID-19 variando el grado de Restricción de Movilidad (RM) Inter- e Intra-provincial y el Aislamiento de Infectados (AI).

Escenario	RM		AI (%)	Comentario
	Inter (%)	Intra (%)		
I	-	-	-	Propagación sin control (Fig. 2)
II	100	-	-	RM Inter (Fig. 3)
III	75	-	-	RM Inter (Fig. 4)
IV	-	-	75	AI (Fig. 5)
V	-	25	75	RM Intra y AI (Fig. 6)
VI	25	25	75	RM Inter, RM Intra y AI (Fig. 7)
VII	25	50	75	RM Inter, RM Intra y AI (Fig. 8)

La Figura 2 muestra el número de casos estimados de COVID-19 en el Ecuador para los siguientes 10, 20, 30 y 200 días cuando no hay restricción de movilidad ni tampoco aislamiento de infectados. El número de infectados I se muestra en rojo, los recuperados R en azul, y los susceptibles de contagio S en negro. Note que el número de casos estimados crecen rápidamente, de forma exponencial. Se espera tener más de 200 infectados en 10 días, 2,000 en 20 días y 20,000 en 30 días. El pico de la infección se espera en unos 70 días con aproximadamente unos 10,000,000 de infectados simultáneamente, equivalente al 57% de la población del Ecuador.

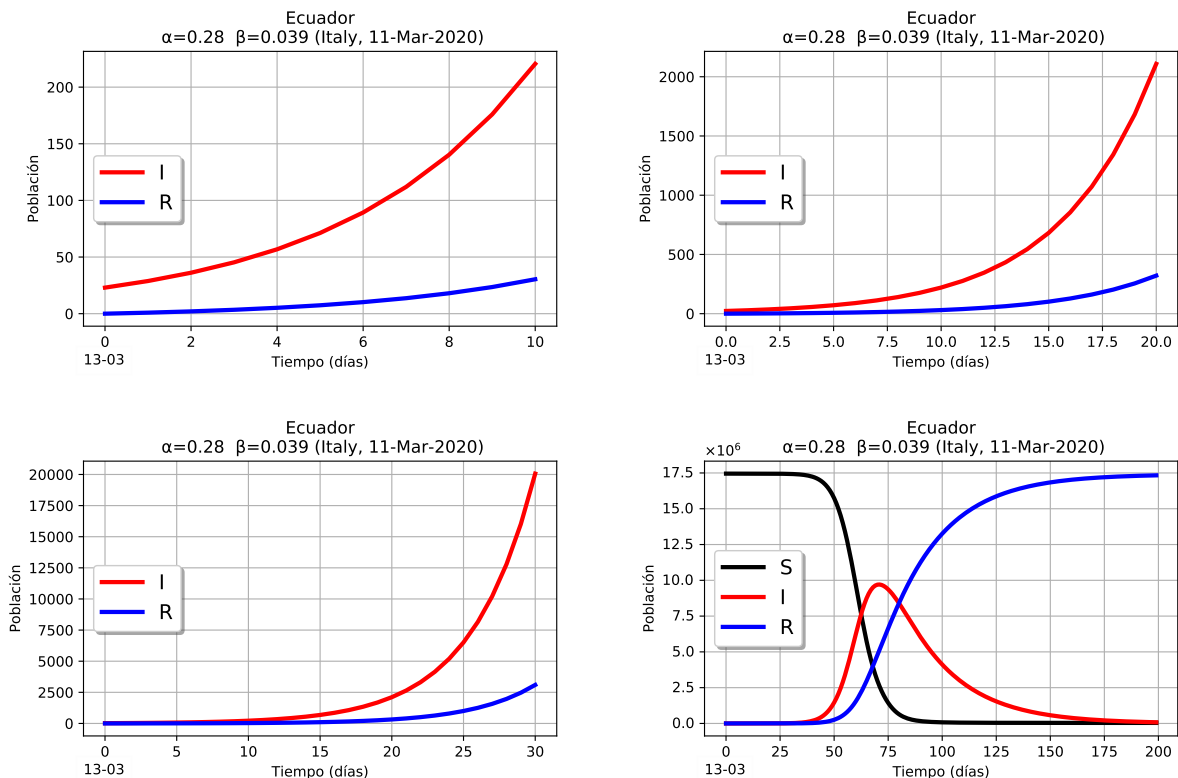


Figura 2: Escenario I. Número de casos estimados en Ecuador (10, 20, 30, 200 días), propagación sin control del virus.

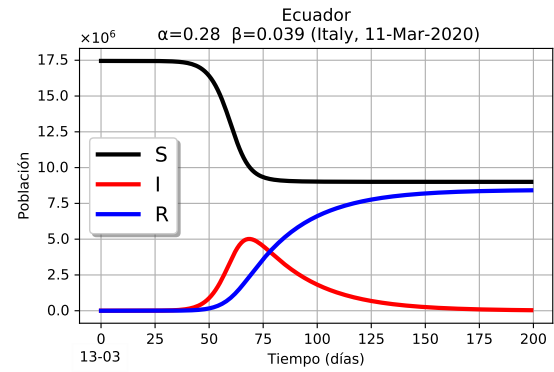
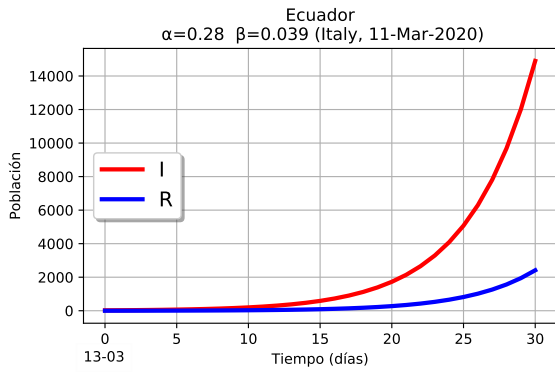
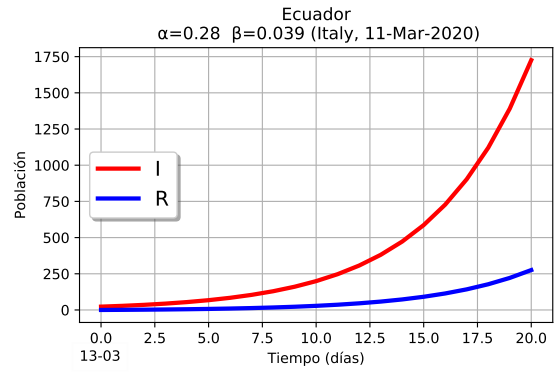
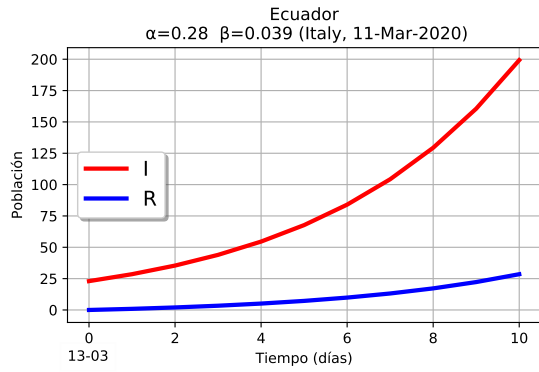


Figura 3: Escenario II. Número de casos estimados en Ecuador (10, 20, 30, 200 días). El 100% de los viajes inter-provinciales se restringen.

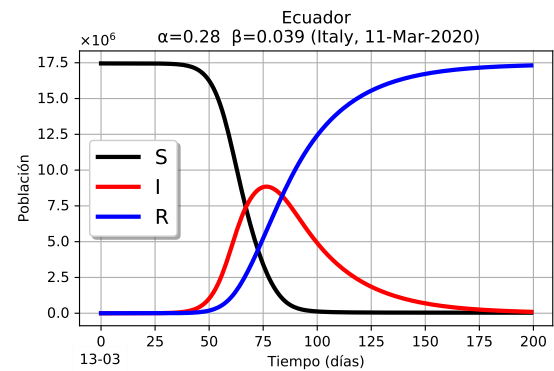
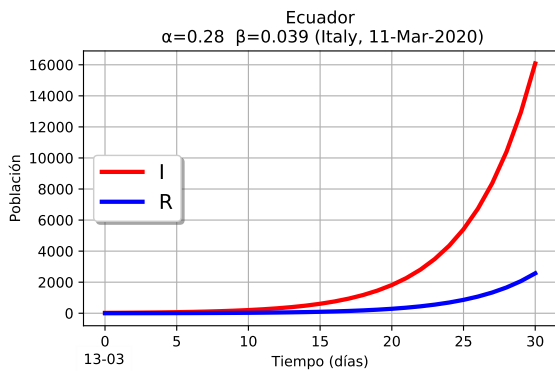
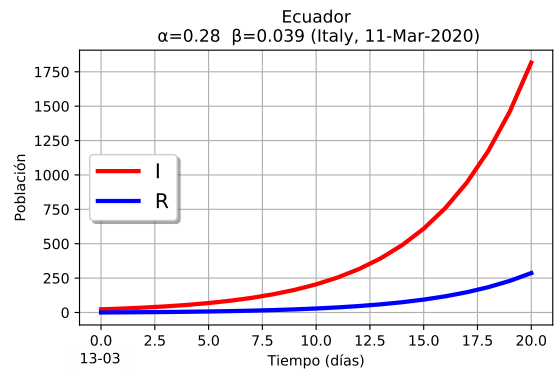
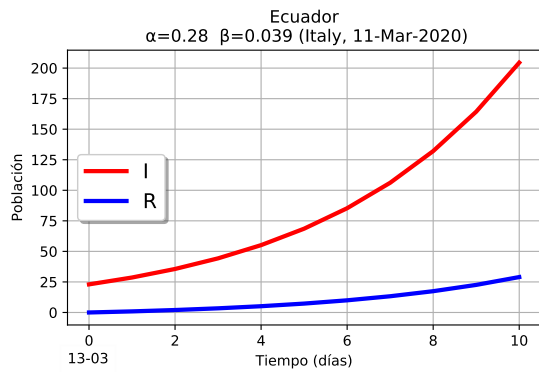


Figura 4: Escenario III. Número de casos estimados en Ecuador (10, 20, 30, 200 días). El 75% de los viajes inter-provinciales se restringen.

4.2 Escenarios II y III : Restricción de movilidad inter-provincial

El escenario II restringe por completo la movilidad inter-provincial, i.e. el número de visitantes de la provincia n a la población m es $H_{n,m} = 0, n \neq m$. El escenario II, sin embargo, no afecta la movilidad intra-provincial ni tampoco aísla infectados. En este caso el virus se propagará únicamente en las cuatro provincias donde inicialmente se han registrado casos. Los resultados de la simulación se muestran en la Figura 3. Es importante observar que las tendencias en los 10 primeros días es muy similar al escenario I, y reduce ligeramente en los siguientes 20 y 30 días. Durante el pico de la infección se espera tener unos 5,000,000, la mitad comparado con el escenario I donde no se restringe la movilidad inter-provincial mostrado en la Figura 2. La población combinada de estas cuatro provincias constituye aproximadamente la mitad de la población del Ecuador, 8,650,000 de habitantes. El pico es equivalente al 57% de la población en estas provincias.

El escenario III es similar al II, pero con una restricción en movilidad inter-provincial menos estricta. La Figura 4 muestra resultados cuando la movilidad inter-provincial se restringe un 75%, i.e. $H_{n,m}$ se modifica a $0.25 \times H_{n,m}, n \neq m$. Note que aunque la restricción es mayoritaria, durante el pico de la infección se esperan tener unos 3,500,000 de infectados adicionales en el Ecuador comparado con la restricción total de movilidad inter-provincial del escenario II que se muestra en la Figura 3.

Resumiendo estos tres primeros escenarios, los resultados de la simulación con el escenario I muestran que cuando el virus se propaga sin control prácticamente toda la población se infectará en los siguientes 2 y 3 meses y que durante el pico de la infección alrededor del 57% de la población del Ecuador estará infectada. Los escenarios II y III ilustran que medidas tendientes a aislar zonas con casos reportados pueden reducir significativamente el número de infectados. Sin embargo, es claro que únicamente la restricción de movilidad inter-provincial no es suficiente para evitar un crecimiento exponencial del número de infectados que desborde la capacidad de los sistemas de salud en el Ecuador.

A continuación se analizan escenarios que también contemplan restricciones en la movilidad intra-provincial (o contacto social dentro de la provincia) y aislamiento de infectados.

4.3 Escenario IV : Aislamiento de infectados sin restringir movilidad

La Figura 5 muestra resultados para los siguientes 50, 100, 150, 1000 días asumiendo que se logra aislar de manera estricta al 75% de infectados, pero sin restringir movilidad. Note que el aislamiento de infectados reduce drásticamente los números de casos esperados en los próximos días y pospone el pico de la infección hasta el día 400. Sin embargo, incluso aislando 75 de cada 100 infectados, el número de infectados en el pico pasa las 2,000,000 de personas.

4.4 Escenario V : Aislamiento de infectados y restricción de movilidad intra-provincial

El escenario V incluye aislamiento de infectados y restricción de movilidad intra-provincial. La Figura 6 muestra resultados para los siguientes 300, 600, 900 y 1000 días, asumiendo que se logra aislar al 75% de infectados, no se restringe movilidad inter-provincial, pero se restringe el 25% de la movilidad (o contacto) a nivel intra-provincial, i.e. $H_{n,n}$ se modifica a $0.75 \times H_{n,n}$. Bajo este escenario, se esperan unos 280,000 infectados en 600 días y el pico en 775 días con unos 700,000 infectados simultáneamente. Note que complementando aislamiento de infectados con una restricción moderada en la movilidad intra-provincial puede reducir significativamente el número de infectados. Sin embargo, estos números son todavía demasiado altos.

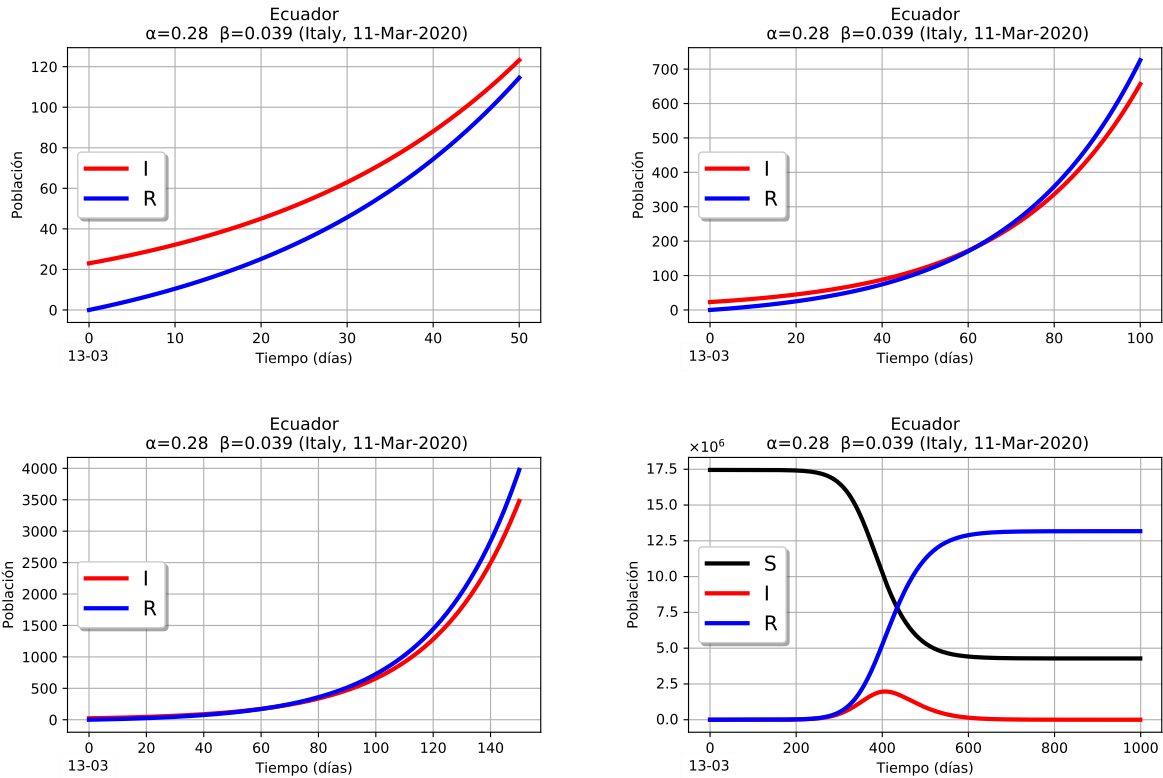


Figura 5: Escenario IV. Número de casos estimados en Ecuador (50, 100, 150, 1000 días). Viajes inter-provinciales no se restringen pero se logra aislar al 75% de los infectados.

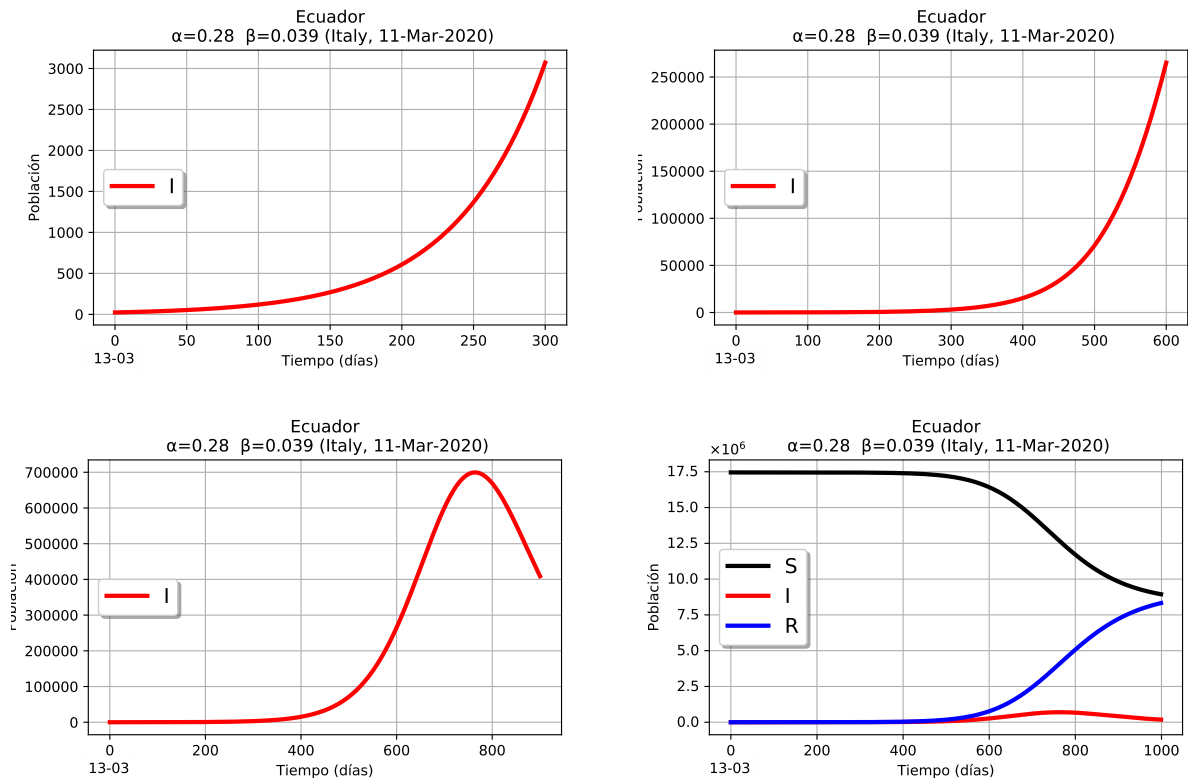


Figura 6: Escenario V. Número de casos estimados en Ecuador (300, 600, 900, 1000 días). No restricción de viajes inter-provinciales, restricción del 25% de los viajes dentro de la provincia y aislamiento estricto al 75% de los infectados.

4.5 Escenarios VI y VII : Restricción de movilidad inter- e intra-provincial con aislamiento de infectados

Los escenarios VI y VII combinan restricción de movilidad inter-provincial e intra-provincial con el aislamiento de infectados.

El escenario VI añade una restricción a la movilidad inter-provincial en un 25%, manteniendo la restricción a la movilidad intra-provincial al 25% y el aislamiento estricto al 75% de infectados del escenario V. Note que bajo este escenario la reducción del número de casos no es substancial y el pico de infectados reduce únicamente en unos 30,000 casos comparado con el escenario V, como se muestra en la Figura 7.

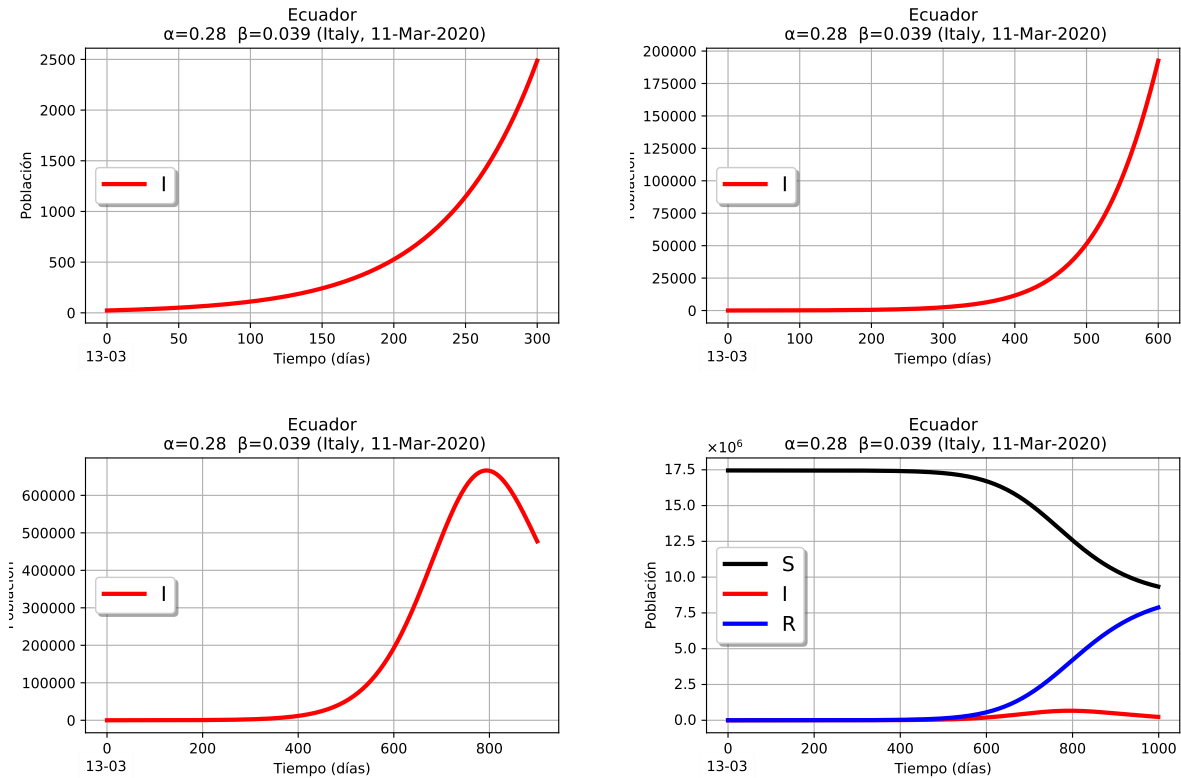


Figura 7: Escenario VI. Número de casos estimados en Ecuador (30, 600, 900, 1000 días). Se restringe el 25% de viajes tanto inter- como intra-provinciales con aislamiento estricto del 75% de los infectados.

El escenario VII es similar al VI pero incluye una restricción más estricta a la movilidad intra-provincial. La Figura 8 muestra resultados para los siguientes 100, 200, 300, y 1000 días de un escenario en el que se incremente la restricción de movilidad intra-provincial a un 50% ($0.5 \times H_{n,n}$), manteniendo la restricción de movilidad inter-provincial a un 25% ($0.75 \times H_{n,m}$, $n \neq m$) y aislamiento estricta de infectados al 75%. Note que en este caso el pico de número de infectados es el estado inicial. A partir del primer día el número de infectados reduce lenta pero continuamente. Esto implica que bajo este escenario el número de recuperados diarios es ligeramente mayor al número de infectados nuevos.

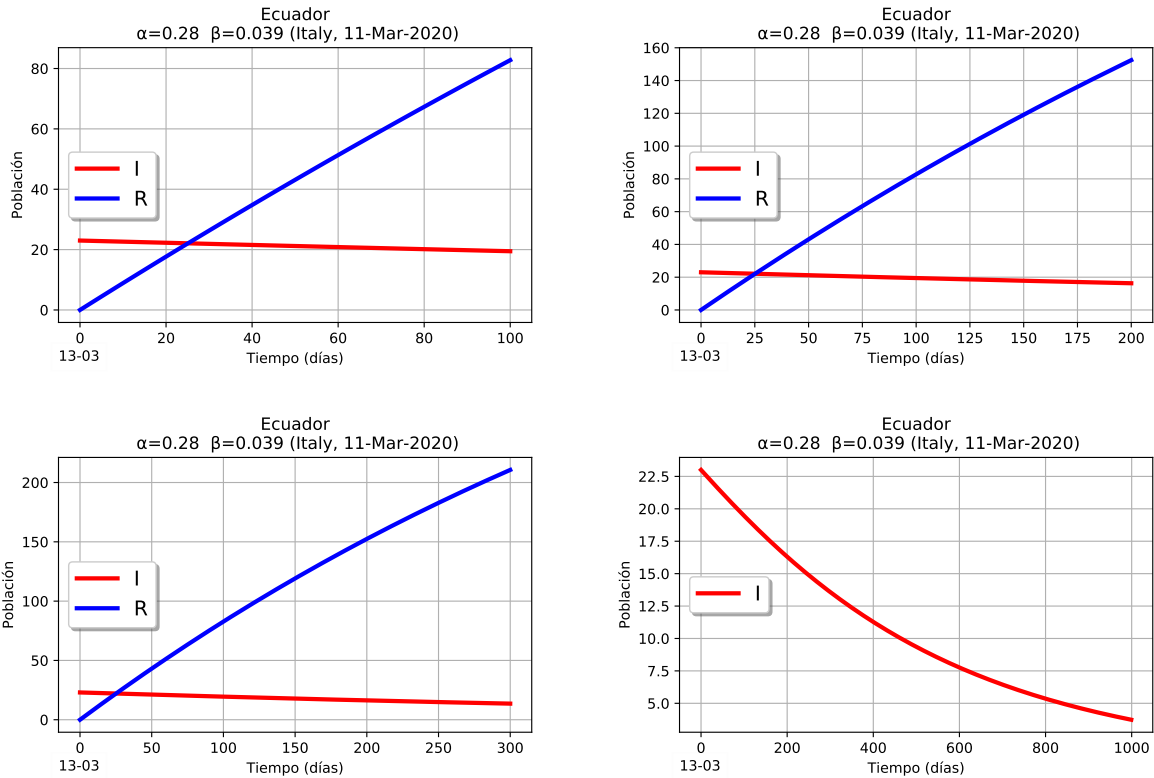


Figura 8: Escenario VII. Número de casos estimados en Ecuador (100, 200, 300, 1000 días). Se restringe el 25% de viajes inter-provinciales, 50% de los intra-provinciales y aislamiento estricto del 75% de los infectados.

5 Discusión

La Tabla 3 resume los valores estimados aproximados del tamaño del pico y día de su ocurrencia contado a partir del 13 de Marzo del 2020 para cada uno de los escenarios analizados. El modelo claramente sugiere que sin un control adecuado, el COVID-19 podría tener un pico de 10 millones de ecuatorianos infectados simultáneamente en poco más de dos meses. También muestra que la detección y aislamiento de infectados es un factor fundamental para reducir drásticamente la propagación del virus, pero no es el único. Se debe combinar con una política apropiada de restricción de movilidad (o contacto social) para que sea posible reducir el pico a tamaños manejables. El escenario VII es un ejemplo alentador de que la propagación del virus puede ser contenida si se toman medidas adecuadas. Sin embargo, el escenario VII requiere un monitoreo constante de infectados y que las medidas de restricción de movilidad se apliquen por un largo período de tiempo. Un escenario como el VII permitirá ganar tiempo mientras se controla la propagación del virus, pero la restricción de movilidad aplicada a la mayoría de la población no es sostenible en el tiempo. Es importante identificar escenarios que permitan enfocar las restricciones de movilidad.

El modelo está implementado a una escala provincial y se agrega a nivel país. Esto da una visión macro, muy importante para evaluar el impacto global en todo el país. Es recomendable cambiar la escala a cantonal o parroquial para lo que se requieren datos desagregados a ese nivel. Esto permitirá enfocar geográficamente las medidas de restricción de movilidad.

Tomando en cuenta el período de incubación del COVID-19, los efectos de cualquier medida

Tabla 3: Tamaño del pico y día aproximado de su ocurrencia contado a partir del 13 de Marzo del 2020 para cada uno de los escenarios analizados.

Escenario	Pico		Comentario
	Tamaño	Día	
I	10,000,000	70	Propagación sin control
II	5,000,000	70	Restricción de movilidad inter-provincial (total)
III	8,500,000	75	Restricción de movilidad inter-provincial (75%)
IV	2,000,000	400	Aislamiento infectados (75%) y Movilidad libre
V	700,000	775	Aislamiento del 75% infectados y restricción de movilidad intra-provincial (25%)
VI	670,000	790	Aislamiento del 75% infectados, restricción de movilidad intra-provincial (25%) y restricción de movilidad inter-provincial (25%)
VII	25	0	Aislamiento del 75% infectados, restricción de movilidad intra-provincial (50%) y restricción de movilidad inter-provincial (25%)

tardarían dos semanas en observarse. Será necesario ir ajustando cuidadosamente las medidas en el tiempo con el fin de balancear la actividad económica y social del país con el control de la epidemia para evitar el colapso del sistema de salud.

Como se menciona en la introducción, los resultados reportados en este artículo se refieren a los casos confirmados oficialmente, y no se consideran los posibles efectos de los casos no detectados. También, la matriz de origen/destino para calcular el grado de conexión entre provincias incluye únicamente las frecuencias de unidades de transporte público terrestre. Sin duda hay una mayor conectividad entre provincias. Esto implica que las tendencia que se observará en el corto plazo podría ser aún más pronunciada que la que se observa en el modelo.

La tasa de infección α y la tasa de recuperación β son dos parámetros fundamentales del modelo. Al momento se usan valores interpolados que replican con gran precisión la tendencia exponencial del número de casos reportados en Italia durante los primeros 40 días de crisis en dicho país. La curva de casos reportados en las etapas tempranas de la crisis captura en gran medida la libre propagación del virus. En Ecuador se puede asumir con alta probabilidad que el virus estuvo circulando libremente por algunos días antes de la detección del primer caso. Por ello, es de esperar una tendencia exponencial de crecimiento del número de caos durante los primeros días en Ecuador y la aproximación con los valores extrapolados de Italia será útil. Sin embargo, es importante hacer un análisis de sensibilidad de dichos parámetros. Esto, combinado con simulaciones con parámetros interpolados de las tendencias observadas en otros países, permitirá calcular intervalos de confianza de posibles tendencias a observar en Ecuador.

La Figura 9 ilustra el número de casos reportados en el Ecuador y las predicciones del modelo a partir del 13 de Marzo del 2020, el mismo día a partir del cual se crean los escenarios que se discuten en la sección anterior. El tamaño del conjunto de datos es todavía muy pequeño para valorar si Ecuador seguirá la tendencia observada en Italia en las semanas subsiguientes. Sin embargo, es claro que tanto el modelo como los datos reportados siguen una trayectoria que incrementa rápidamente.

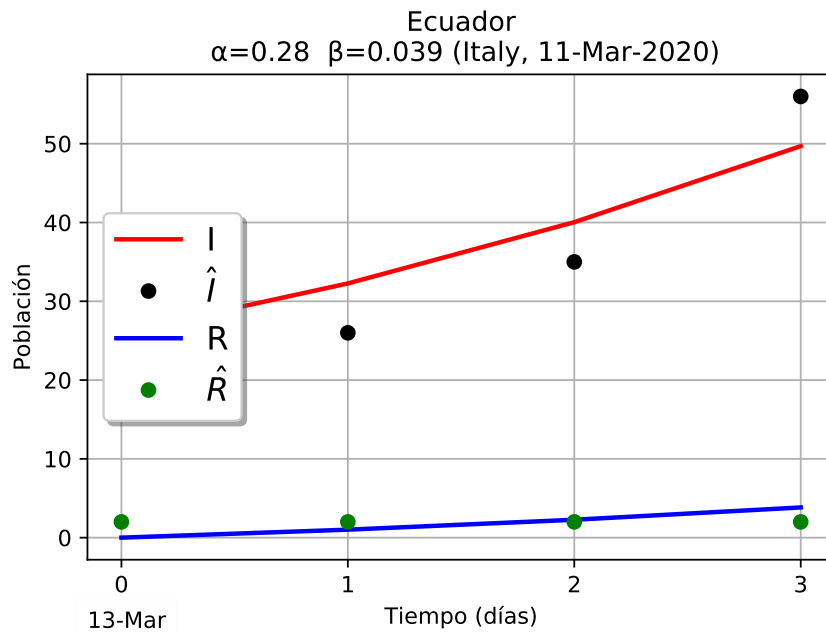


Figura 9: Número de casos de COVID-19 reportados en Ecuador (\hat{I} , \hat{R}) desde el 13 al 16 de Marzo y número de casos estimados por el modelo SIR (I , R) usando los parámetros de tasa de infección α y tasa de recuperación β obtenidos por regresión a partir de los casos reportados por Italia hasta el 11 de Marzo.

Conforme pasen los días y la medidas que se adoptan en el Ecuador empiecen a surtir efecto se espera un cambio en la tendencia inicial. Es imprescindible monitorear y evaluar si la nueva tendencia logra evitar el crecimiento exponencial del número de casos. Para ello será útil estimar parámetros α y β apropiados para las distintas etapas de la crisis, antes y después de la aplicación de políticas de prevención.

References

- [1] Ecuador en Cifras, Instituto Nacional de Estadística y Censos, <https://www.ecuadoren-cifras.gob.ec>
- [2] Manuel Benabent Fernández de Córdoba, “El transporte público terrestre y la accesibilidad, instrumentos para el análisis funcional del sistema de asentamientos: el caso de Ecuador”, Estoa, Revista de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca, no. 11, vol. 6, 2017
- [3] 2019 Novel Coronavirus COVID-19 (2019-nCoV) Data Repository by Johns Hopkins University Center for Systems Science and Engineering (JHU CSSE), <https://github.com/CSSEGISandData/COVID-19>
- [4] WorldOmeter, <https://www.worldometers.info>