

Relación entre movilidad y tasa de reproducción

Marcelo Fiori¹, Nicolás Wschebor¹, Ernesto Mordecki², Federico Lecumberry^{1*}

¹Facultad de Ingeniería, UdelaR.

²Facultad de Ciencias, UdelaR.

Mayo 2021

En este documento se analiza la correlación entre índices de movilidad con datos de Google y el número de reproducción R , calculado a partir de datos públicos de fecha de test.

Como el fenómeno biológico tiene ciertos tiempos intrínsecos, una variación significativa en el comportamiento de la población podría generar cambios en la tasa de reproducción cierta cantidad de días después. Para analizar este corrimiento temporal se busca la cantidad de días que hay que desplazar las series temporales de movilidad y R para maximizar la correlación. Finalmente, teniendo en cuenta estos desplazamientos, se compara la movilidad trasladada en el tiempo con el número de reproducción, para visualizar la relación entre las tendencias de ambos.

1. Introducción

Desde comienzos de la pandemia de COVID-19 se especuló sobre la posible relación entre la movilidad y la tasa de reproducción. Las medidas de reducción de la movilidad de diversa índole han estado sustentadas en la idea de que el menor contacto entre las personas presumiblemente tendría un efecto significativo en la tasa de reproducción efectiva. Algunas empresas que disponían información sobre la localización de las personas como Google o Apple liberaron datos agregados para muchos países o regiones con el fin de facilitar el estudio del impacto de estas medidas en la transmisión de la epidemia. Sin embargo, los primeros estudios a nivel mundial que intentaron establecer un vínculo entre la movilidad y la tasa de reproducción dieron resultados contradictorios o señalaron niveles relativamente bajos de correlación entre ambos indicadores [1, 4]. Por otra parte, en la epidemia de COVID-19 juegan un papel esencial los individuos infectados no documentados [3] lo que determina que el número de contagios con igual nivel de movilidad puede diferir de manera notable, dependiendo de la proporción de los casos que se logran detectar y aislar. Está claro que la reducción de movilidad focalizada en los individuos infectados documentados y sus contactos tiene un impacto insignificante en los indicadores de movilidad como los suministrados por Google pero tiene un impacto altísimo en reducir la tasa de reproducción. En línea con estos resultados, el primer intento para estudiar dicho fenómeno en Uruguay detectó solamente una correlación leve [5].

Este fenómeno, en principio sorprendente, puede explicarse por varios motivos. El primero es que la movilidad tiene un impacto sólo en ciertas formas de contagio. Los contagios intrafamiliares o producto de contactos cercanos pueden efectuarse con niveles muy bajos de movilidad. El segundo es que las políticas llevadas adelante por los diversos países en el combate a la pandemia han consistido en combinaciones de medidas de muy diversa índole que hacen difícil aislar los efectos específicos de las medidas de movilidad [1, 4]. Por ejemplo, la introducción del uso de tapabocas en las primeras etapas de la pandemia, se produjo a ritmos diferentes en diferentes países. En el Uruguay, luego de un período inicial en que la movilidad se redujo de manera muy significativa, la epidemia logró controlarse por un estricto seguimiento de los contactos basado en un número importante de tests por persona. Esta combinación de niveles muy bajos de incidencia, niveles de testeo muy altos (con niveles de positividad muy bajos) acompañamiento masivo de algunas medidas como

*Agradecemos también el intercambio continuo y muy valioso con Gonzalo Bello, Martín Reiris y María Inés Fariello.

el uso de tapabocas y niveles de movilidad que se mantuvieron muy bajos durante los primeros meses de la pandemia permitieron un control de la misma. En ese contexto, la estabilización en un estado metaestable [2] durante meses con un muy bajo nivel de transmisión comunitaria, llevó a que la correlación de la movilidad con en el número de casos se mantuviera baja (en un contexto de muy baja incidencia).

La situación cambió radicalmente a fines del año pasado, en que el número de casos y el nivel de positividad en el testeo crecieron de manera notable provocando una pérdida de control por el mecanismo de testeo y aislamiento de casos positivos (y de sus contactos). En este contexto, varias de las complejidades señaladas anteriormente tienden a diluirse debido al establecimiento de una “epidemia plenamente desarrollada” que, en primera aproximación puede describirse mediante un modelo SIR en que la tasa de contagio es proporcional al número reproductivo R , los efectos de inercia asociados a los individuos no documentados juegan un rol comparativamente menor y la incidencia del testeo y aislamiento de casos y contactos se vuelve ineficaz (y por tanto, sus efectos menos relevantes).

En el presente trabajo se intentan abordar dos hipótesis. La primera es que en el contexto epidémico actual, es posible establecer una correlación significativa entre diversos indicadores de movilidad disponibles para Uruguay (y algunos otros países) con la tasa de contagio, caracterizada mediante el número reproductivo R . La segunda, planteada previamente en [5] es que esta correlación puede ser aprovechada con el fin de realizar pronósticos a dos o tres semanas de la evolución de la epidemia, aprovechando que la movilidad de un día dado repercute en el número de casos unas dos semanas más tarde. De esta manera, de confirmarse esta hipótesis, el emplear un indicador de movilidad para un día, adecuadamente validado, puede permitir pronosticar la evolución del número de casos unas semanas más tarde.

Los datos de movilidad son tomados de los informes publicados por Google¹, y el número de reproducción R se calcula a partir de los datos publicados por GUIAD².

Una variación significativa en la movilidad podría generar cambios en la tasa de contagios cierta cantidad de días después. Para analizar este corrimiento temporal se busca la cantidad de días que hay que desplazar la serie temporal de movilidad y R para maximizar la correlación.

Finalmente, teniendo en cuenta estos desplazamientos, se compara la movilidad trasladada en el tiempo con el número de reproducción, para visualizar la relación entre las tendencias de ambos.

Una versión previa de este trabajo fue comunicada a los coordinadores del GACH. La misma contenía, además de los indicadores de acceso libre utilizados en el presente informe, otros indicadores de carácter reservado (como los suministrados por Antel al GACH con cláusulas de confidencialidad). En el presente informe, con miras a una difusión amplia como la buscada por el GUIAD, nos hemos limitado a indicadores de acceso libre.

2. Análisis de desplazamiento temporal entre movilidad y R

La empresa Google publica datos de variación de movilidad con respecto a cierta referencia³ para seis categorías: supermercados y farmacias (comercios esenciales), parques, estaciones de transporte, tiendas y espacios de ocio, lugares de trabajo y zonas residenciales. En esta sección se utiliza un indicador que combina los últimos tres indicadores, de la misma forma que en [6]. A saber, movilidad en tiendas y espacios de ocio, más movilidad en lugares de trabajo, menos movilidad en zona residencial (ver Apéndice 3 por una discusión sobre este índice). Cabe señalar que la referencia [6], se analizó la correlación entre la movilidad y un indicador de incidencia promediado semanalmente. A diferencia con ese trabajo, la correlación del indicador de movilidad es aquí analizada con el número reproductivo R , lo que estaría vinculado con una asociación entre movilidad y tasa de contagios y no con número de casos activos documentados.

En la Figura 1 se muestra el valor de este indicador desde comienzos de 2020. Se observa cómo durante marzo y abril de 2020 hubo una caída muy importante de la movilidad, que se fue recuperando paulatinamente. A partir de finales de 2020, coincidiendo con una serie de medidas anunciadas por el Poder Ejecutivo

¹<https://www.google.com/covid19/mobility/>

²<https://guiad-covid.github.io/>

³Promedios tomados en enero y febrero de 2020.

en conferencia de prensa, así como el fin del año lectivo y comienzo de licencias de verano, se observa una nueva caída de la movilidad, que se comienza a recuperar a principios de febrero.

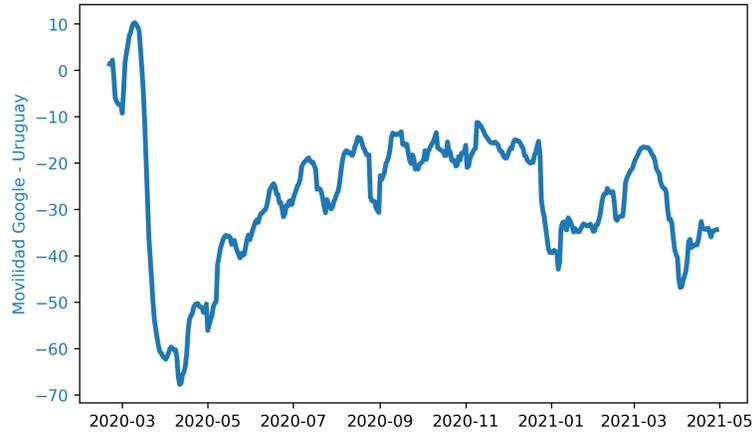


Figura 1: Indicador de movilidad, calculado combinando las categorías *trabajo*, *tiendas y espacios de ocio*, y *residencial*, publicadas por Google.

Para analizar los desplazamientos temporales entre este índice de movilidad y el número de reproducción R se utiliza el siguiente procedimiento: se toma la serie temporal de R desde el 1 de febrero de 2021 hasta el 11 de abril de 2021. Luego se calcula la correlación entre esa serie y la serie temporal del índice de movilidad del mismo largo pero d días hacia atrás. El parámetro d se varía entre 4 y 25 días. La Figura 2 muestra estos valores de correlación. Se observa un fenómeno de corrimiento temporal consistente con el fenómeno biológico y proceso de testeo y resultados, donde la correlación se maximiza tomando entre 17 y 18 días de corrimiento respecto a la movilidad.

Se debe tener en cuenta además que el R utilizado ($R7P7$) corresponde a tomar como curva de incidencia el promedio de casos nuevos en los últimos siete días, y adicionalmente utilizar un promediado de siete días sobre el número de reproducción. Por lo tanto este indicador tiene cierta inercia y cierto retraso respecto al fenómeno epidemiológico.

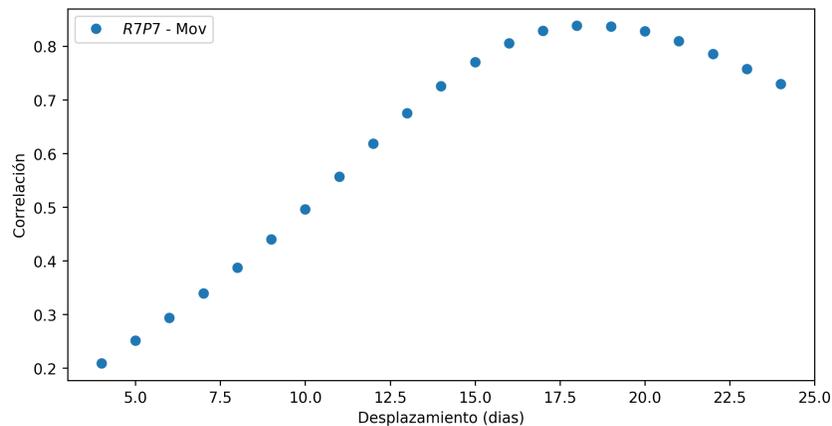


Figura 2: Correlación de movilidad (Google) y R , en función del desplazamiento en días.

Vale aclarar que si se toma el período de tiempo donde la dinámica estaba controlada por el rastreo de contactos, estos valores de correlación son significativamente menores, como había sido observado en [5]. En este sentido, este análisis se complementa en el Apéndice 2, comparando estos valores de correlación a lo largo del tiempo.

3. Relación de tendencias entre movilidad y R

Utilizando el desplazamiento que maximiza la correlación, encontrado en la sección anterior, en esta sección se muestran las curvas de movilidad y número de reproducción superpuestas.

Se toma la serie de R y la serie de movilidad, desplazada en el tiempo (según el desplazamiento encontrado), y se realiza una regresión de la serie de R utilizando la de movilidad. Se grafica entonces la serie de R , y la serie de movilidad desplazada en el tiempo, y transformada según la regresión (multiplicada por un coeficiente, y con un cierto *offset*, obtenidos en la regresión lineal).

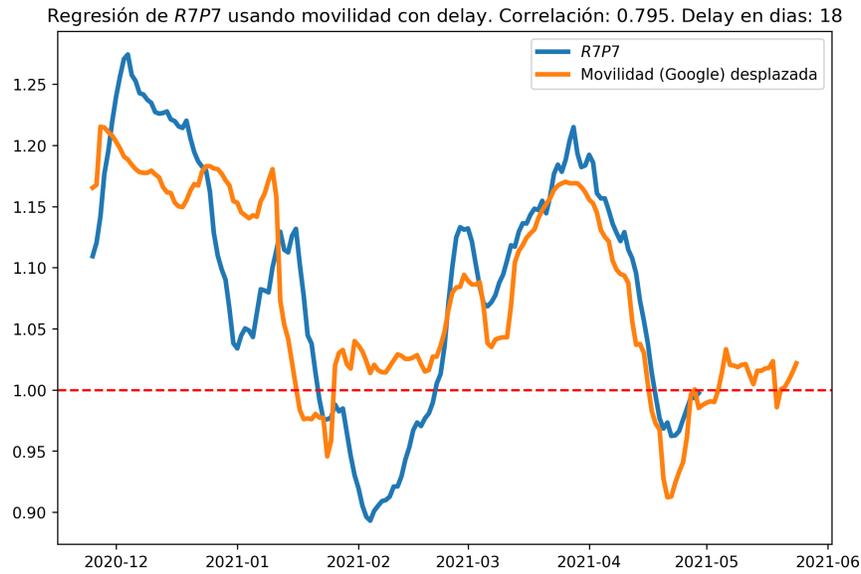


Figura 3: Relación entre tendencias de movilidad y R .

Se observa que el desplazamiento entre las curvas de movilidad y número reproductivo parece ser levemente distinto en diciembre-enero, y a partir de febrero. Se debe tener en cuenta que la dinámica de la población en período de fiestas y vacaciones es distinto al correspondiente en el resto del año laboral y lectivo.

En el Apéndice 1 se presenta un análisis similar para Chile e Israel, que muestra por un lado la consistencia de los resultados, y por otro el efecto de la vacunación.

4. Conclusión

Para concluir vale la pena hacer varias observaciones. La primera es que se observa una correlación importante entre los indicadores de movilidad estudiados y el número reproductivo R . Esto parece confirmar la hipótesis de que en un contexto de epidemia con fuerte componente de transmisión comunitaria, la tasa de contagio está principalmente determinada por los contactos entre personas que aumentan con la movilidad de la población. Asimismo, esto parece indicar que el procedimiento permite (dentro de márgenes de error que no son particularmente pequeños) estimar la evolución epidémica en lo que refiere al número de casos nuevos con, aproximadamente, dos semanas de anticipación. A pesar de este resultado alentador, vale la pena resaltar una vez más (si eso fuera necesario) las limitaciones tantas veces señaladas de los modelos epidemiológicos para estimar con precisión la evolución epidémica. Estas limitaciones hacen importante analizar los efectos no incluidos en el presente modelo, lo que puede también ayudar al lector a calibrar sus limitaciones. Procedemos entonces a enumerar algunos aspectos de la evolución epidémica no incluidos en el presente análisis:

- El presente modelo no desglosa la dinámica diferencial entre individuos infectados documentados y no documentados. Diferenciar en la modelización estos dos grupos de individuos infectados puede ser importante para algunos propósitos [3] pero en el contexto actual el rol principal de la división en dos grupos de individuos infectados es introducir algunos efectos de inercia en escalas de tiempo del orden de 5 días o menos. Los niveles de incertidumbre del presente análisis, sumados a las diversas dificultades con los datos utilizados hacen cuestionable el intento de modelar la epidemia con una resolución temporal menor a la semana, por lo que guardar registro de dos grupos de individuos infectados con dinámicas diferentes parece innecesario y por ello se ha omitido.
- El presente modelo no incluye los efectos del seguimiento de contactos, testeo y aislamiento de positivos. Como se ha señalado reiteradas veces, dichos aspectos han jugado un papel esencial en la dinámica de la epidemia de Covid-19 hasta setiembre-octubre del 2020. Sin embargo, en una situación de desborde del sistema de trazado, el rol del seguimiento de contactos (que complejiza de manera notable la modelización) parece comparativamente menor y ha sido omitido en el presente estudio.
- Otro aspecto omitido tiene que ver con los aspectos espaciales de la epidemia. Los individuos han sido tratados como parte de compartimientos a nivel nacional omitiendo el hecho de que la naturaleza de la movilidad puede diferir de manera notable de un departamento a otro ⁴.
- Asimismo, aspectos relativos a la variación biológica o climática de la epidemia han sido ignorados. Es probable que los aspectos climáticos puedan ser despreciados en intervalos acotados de tiempo. Sin embargo, en un contexto de expansión de variantes nuevas del SARS-COV-2 (como la variante P.1) es probable que la variabilidad de la tasa de contagios producto de la evolución del virus sea un efecto no despreciable pero que no hemos incluido en la modelización.
- Finalmente, pero no menos importante, el presente modelo no incluye el efecto no-lineal en la evolución epidémica producto de la *inmunización*. En un contexto de vacunación masiva este último aspecto es seguramente la simplificación más grave. Afortunadamente este efecto puede ser incluido mediante un análisis específico, pero hacerlo desborda los propósitos del presente trabajo.

En suma, el presente estudio muestra una correlación clara entre indicadores de movilidad con la tasa de contagio en la epidemia de Covid-19 en Uruguay (y en otros dos países). Dicha correlación puede ser utilizada con el propósito de hacer predicciones de corto plazo (con dos semanas de anticipación). El modelo presenta, sin embargo, limitaciones que no deben ser obviadas al momento de calibrar adecuadamente el alcance de los pronósticos que permite efectuar. En particular, el efecto del proceso de vacunación no ha sido incluido en este estudio, pero el análisis correspondiente deberá ser el objeto de un trabajo ulterior.

⁴Hemos efectuado un análisis centrado únicamente en los datos del departamento de Montevideo que ofrece resultados cualitativamente similares a los aquí presentados.

Apéndice 1: Chile e Israel

Chile e Israel son dos países que comenzaron su campaña de vacunación antes que Uruguay, a un ritmo comparable o superior, y con vacunas que están siendo utilizadas en nuestro país (principalmente Sinovac en Chile, y Pfizer en Israel).

Para estos países, se repitió el procedimiento de regresión entre movilidad y R , éste último calculado a partir de los datos de *Our World in Data*. En estos casos, se utilizó como período de tiempo para establecer la regresión, entre octubre y 14 días después de comenzada la campaña de vacunación correspondiente, en el entendido que hasta esa fecha no se debería observar un efecto visible de la vacunación en la tasa de contagios. La correlación mostrada corresponde a este período donde se realiza la regresión, pero el análisis continúa hasta la actualidad.

Se observa un comportamiento similar, donde la tendencia del número de reproducción acompaña la movilidad. En Israel, sin embargo, luego de que un porcentaje importante de la población se encuentra vacunada⁵, y muchos de ellos con ambas dosis, se observa un desacople de la movilidad y el R . Es decir, la movilidad aumenta, mientras que la tasa de contagio disminuye. Este efecto es atribuible a la vacunación. En ambos casos, se destaca con una línea verde vertical el inicio de la campaña de vacunación.

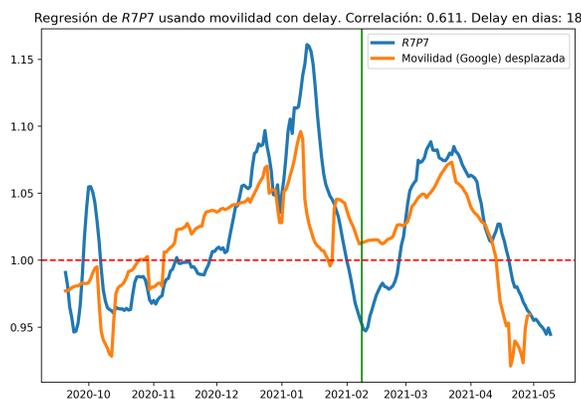


Figura 4: Relación entre tendencias de movilidad (Google) y R en Chile.

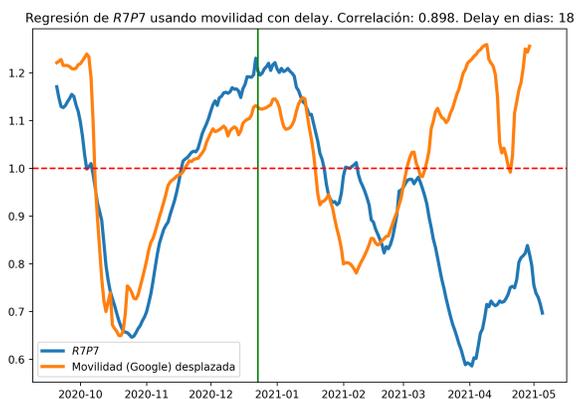


Figura 5: Relación entre tendencias de movilidad (Google) y R en Israel.

⁵Aproximadamente un 50%, con dos dosis de Pfizer.

Apéndice 2: Correlación R -Movilidad a lo largo del tiempo

En el texto principal se menciona que la correlación entre la movilidad y la tasa de contagio no era tan significativa durante la primera parte de 2020, como fue reportado en [5]. A efectos de cuantificar estas diferencias, tomamos ventanas de 60 días, centradas en cada día entre julio de 2020 y marzo de 2021 (de acuerdo a disponibilidad de datos), y en cada ventana se repitió el procedimiento descrito en la Sección 3. En la Figura 6 se muestra la correlación encontrada entre el número de reproducción y la movilidad de Google, en función del centro de la ventana. Se observa que a partir de enero (donde las ventanas comprenden días desde diciembre), la correlación comienza a ser significativa, llegando a ser muy significativa en marzo.

El valle aparente de fines de enero y comienzos de febrero 2021, se explica por un período de movilidad baja pero relativamente constante, correspondiente a buena parte de enero 2021. Esto hace que la regresión tenga como entrada una serie temporal con poca riqueza de expresión.

Para referencia, se grafica también el $P7$ (promedio de casos nuevos en los últimos 7 días). Se observa que la correlación es significativa para valores altos de $P7$,

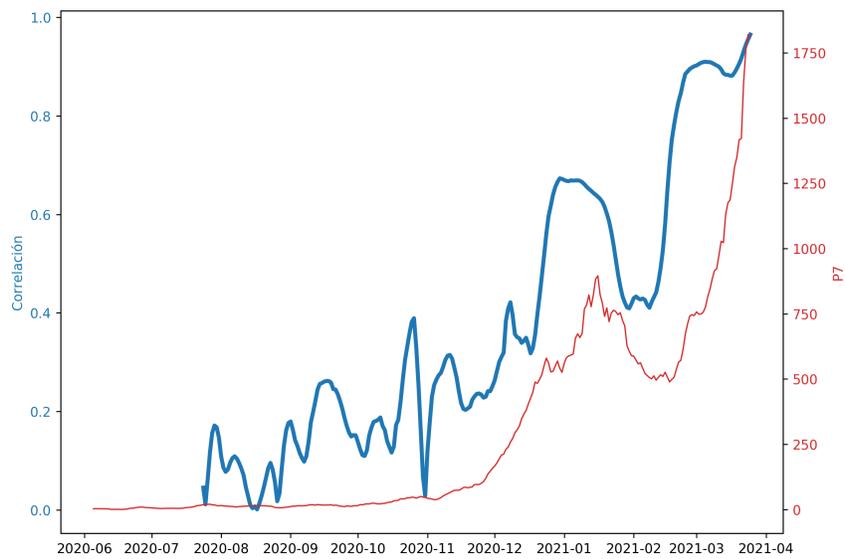


Figura 6: Correlación R -Movilidad a lo largo del tiempo.

Apéndice 3: Combinación de índices de Google

En la Sección 2 se describe un índice de movilidad, calculado a partir de tres categorías publicadas por Google: *trabajo*, *tiendas y espacios de ocio* y, finalmente, *residencial*. Las dos primeras categorías sumadas, y la tercera restando. Esta combinación, sugerida en [6], es arbitraria, y bien se podrían estimar estos coeficientes para obtener una mejor regresión al número de reproducción.

Si hacemos efectivamente eso, el resultado es naturalmente una mejor aproximación: una correlación de 0,95 frente a 0,92. Esta mejora no es sustancial, y a efectos de la presentación simple del índice, no justifica la inclusión en el texto principal.

La Figura 7 muestra estas dos regresiones (la presentada en la Sección 3, y estimando los coeficientes del índice en la regresión), donde se observa que el comportamiento es muy similar, y definitivamente dentro de los márgenes de error de cualquiera de las aproximaciones.

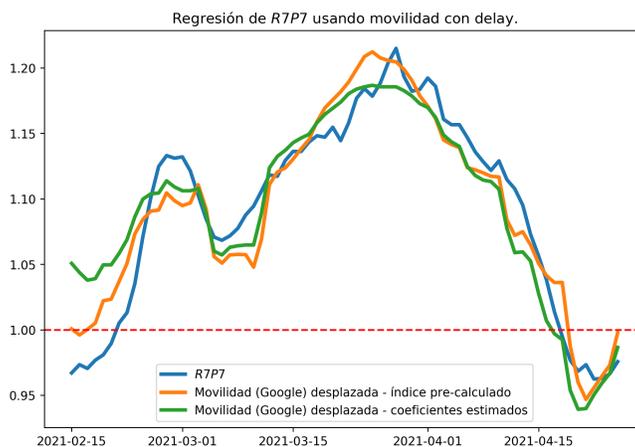


Figura 7: Regresión R -Movilidad calculando los coeficientes del índice.

Referencias

- [1] Nittai K Bergman and Ram Fishman. Mobility levels and Covid-19 transmission rates. *medRxiv*, 2020.
- [2] Paola Bermolen, Daniel Herrera, Álvaro Cabana, María Inés Fariello, Matías Arim, and Héctor Romero. Dinámicas de covid-19 a bajos números: estados alternativos y sus implicancias de manejo. <https://guiad-covid.github.io/publication/nota9/>, 2020.
- [3] Ruiyun Li, Sen Pei, Bin Chen, Yimeng Song, Tao Zhang, Wan Yang, and Jeffrey Shaman. Substantial undocumented infection facilitates the rapid dissemination of novel coronavirus (sars-cov-2). *Science*, 368(6490):489–493, 2020.
- [4] Andrew C Miller, Nicholas J Foti, Joseph A Lewnard, Nicholas P Jewell, Carlos Guestrin, and Emily B Fox. Mobility trends provide a leading indicator of changes in sars-cov-2 transmission. *medRxiv*, 2020.
- [5] Marcela Peláez, Marcelo Fiori, Paola Bermolen, Gonzalo Bello, Matías Arim, María Inés Fariello, José Rafael Leon, and Nicolás Wschebor. El efecto de la movilidad en la propagación de la epidemia de COVID-19 en uruguay. <https://guiad-covid.github.io/publication/nota7/>, 2020.
- [6] Álvaro Cabana, Lorena Etcheverry, Daniel Herrera, María Inés Fariello, Paola Bermolen, and Marcelo Fiori. Efecto de la reducción de movilidad en la segunda ola de COVID-19. <https://guiad-covid.github.io/publication/nota11/>, 2021.

Agradecemos las revisiones y valiosos comentarios de la Dra. Alicia Alemán, el Dr. Álvaro Cabana, así como de los revisores externos Dr. Andrés Ferragut y Dr. Enrique Cabaña.

Comentarios de los revisores externos

Dr. Enrique Cabaña (UdelaR)

El resultado principal del artículo es la descripción de la relación entre medidas de movilidad aportadas por Google y la tasa de reproducción de la Covid-19 en Uruguay en los primeros meses de 2021. Se compara la situación de estos meses con la de buena parte de 2020, cuando el procedimiento de prueba, seguimiento y aislamiento (TETRIS) permitió un control de la pandemia, ya perdido desde los últimos meses de ese año. Se concluye que, a diferencia de lo que ocurría en la etapa de control, en este momento los índices de movilidad permiten prever a corto plazo la evolución futura de la epidemia (un segundo apéndice agrega detalles a esta comparación entre las dos etapas).

Para evaluar la relación entre movilidad y reproducción se adopta un índice de movilidad que combina informes de Google en tres categorías (la descripción precisa es objeto de un tercer apéndice del artículo) y un índice de reproducción basado en la incidencia de nuevos casos documentados de infección (con un intervalo de regularización y otro de incidencia, ambos de siete días).

En la segunda sección del trabajo se identifica un retardo de 17 o 18 días del índice de reproducción respecto del de movilidad, para obtener la máxima correlación entre ambos, y en la tercera se ajusta la tasa de reproducción a partir del índice de movilidad con un retraso de 18 días, mediante una regresión lineal.

De la cuarta y última sección que precede a los apéndices, se puede concluir que, a pesar de importantes limitaciones allí señaladas de las cuales la más importante sea quizá que no se ha tenido en cuenta la variación de la población susceptible producida por la vacunación, la información actual sobre movilidad dada por el índice adoptado conduce a una razonable predicción de los casos documentados con un par de semanas de anticipación.

Un primer apéndice contiene resultados de comparar el procedimiento de regresión utilizado para Uruguay en la sección 3, con sus resultados para Chile e Israel, y se hacen interesantes observaciones acerca del presumible efecto de la vacunación en este último país. Hay otros dos apéndices ya mencionados previamente.

En conclusión: el artículo presenta un interesante procedimiento de predicción a corto plazo de la evolución de la epidemia, y sugiere elementos para la profundización del análisis

Dr. Andrés Ferragut (Universidad ORT)

El presente trabajo busca analizar el impacto de la movilidad en la tasa de reproducción de la epidemia de SARS-CoV-2 que se desarrolla actualmente. Como indicador de movilidad se basa en las mediciones de datos celulares aportadas de manera pública por Google a partir de sus dispositivos y la información geográfica relevada, la cual además permite categorizar el tipo de actividad que desarrolla el individuo que porta el dispositivo. Como medida de la tasa de reproducción de la epidemia, se usa una versión suavizada del estimador de R diseñado por Cori et al., donde el input se sustituye por el promedio semanal de casos para reducir las variabilidades producto de anomalías en el reporte.

El trabajo encuentra una alta correlación entre el índice de movilidad diseñado a partir de los datos de Google disponible con la tasa de reproducción. Dicha correlación aumenta cuando la epidemia se encuentra en fase de transmisión comunitaria elevada, siendo el efecto de la movilidad social el más preponderante en la propagación de la misma. La correlación máxima se da a los 18 días de retraso entre un indicador y otro. Dicho de otro modo, las variaciones del índice de movilidad anticipan a los cambios de la tasa de reproducción en 18 días. La alta correlación no alcanza para realizar estimaciones numéricas precisas del R (las cuales podrían usarse para proyectar incidencia, pero estas proyecciones son precisamente muy sensibles al valor exacto de la tasa) pero sí permiten calibrar al menos cualitativamente (y cuantitativamente con los debidos recaudos) el impacto de la movilidad y proyectar escenarios a futuro.

La metodología seguida es adecuada, y las comparaciones del escenario de Uruguay con escenarios de diferentes países y en distintas etapas de vacunación le dan solidez al método planteado. La discusión y las conclusiones son muy buenas. En general es un excelente trabajo que aporta elementos clave al análisis de la situación.