

Datos territoriales para la gestión de la pandemia: el caso del COVID-19 en Bolivia

Territorial data for pandemics: The case of COVID-19-Bolivia

*José Acuña**
*Lykke E. Andersen***
*Luis Gonzáles****

Resumen

Este estudio presenta un índice de vulnerabilidad con el objetivo de caracterizar a los municipios con respecto a las condiciones estructurales y capacidad de respuesta sanitaria que tienen para afrontar la pandemia. Debido al nivel de desagregación del índice, se convierte en una fuente de información relevante, en el sentido de que permite abordar la problemática considerando el componente geográfico/espacial. Este componente es relevante al momento del diseño de políticas focalizadas, que permitan gestionar la pandemia reduciendo los niveles de contagio/muertes y a su vez, minimizando los costos económicos inducidos por la pandemia. El índice se construye en base a tres dimensiones principales i) Riesgo de Propagación, ii) Situación subyacente de salud y, iii) Capacidad de respuesta. Entre los principales resultados se destaca el hecho de que el 60% de los municipios pertenecientes al decil más alto de vulnerabilidad son los más grandes entre capitales y municipios altamente poblados.

Palabras clave: COVID-19, vulnerabilidad, municipalidades.

* Investigador Económico en el Centro Latinoamericano de Políticas Económicas y Sociales - Pontificia Universidad Católica de Chile - CLAPES-UC.
Contacto: jose.acuna@uc.cl

** Directora Ejecutiva, Sustainable Development Solutions Network (SDSN-Bolivia).
Contacto: Lykke.E.Andersen@sdsnbolivia.org

*** Coordinador Económico en Energía, Medio Ambiente y Cambio Climático en el Centro Latinoamericano de Políticas Económicas y Sociales - Pontificia Universidad Católica de Chile - CLAPES-UC.
Contacto: lwgonzal@uc.cl

Abstract

We estimate a COVID vulnerability index in order to characterize all Bolivian municipalities with regard to their structural conditions and their sanitary capacity facing the pandemic. The municipal disaggregation of the index becomes a relevant source of information when prioritizing the demands of the epidemic. For example, it can help guide the distribution of tests, protective equipment and vaccines so as to reduce the levels of contagion and deaths while also minimizing the economic costs incurred. The index is constructed based on three main dimensions: i) Risk of propagation, ii) Underlying health situation, and iii) Response capacity. Among the main results, stands out the fact that 60% of the municipalities belonging to the highest decile of vulnerability are the most populous municipalities.

Keywords: COVID-19; Vulnerability; Municipalities.

Clasificación/Classification JEL: C21, C43, C80, I18

1. Introducción

Históricamente, se han presentado distintas crisis sanitarias en las cuales la disponibilidad de la información ha jugado un papel importante (Jordá, Singh y Taylor, 2020). Durante la actual pandemia del COVID-19, la mayoría de los países del mundo no ha logrado implementar medidas precisas para realizar pruebas, localizar contactos y mantener en cuarentena a las personas enfermas e infectadas con el virus (Cardona, Cuba-Borda y González-Carrasco, 2020). En cambio, han implementado estrategias drásticas, como por ejemplo cuarentenas generales, que buscan encerrar a las personas durante periodos prolongados de tiempo en sus domicilios, para lograr el distanciamiento social.

El objetivo de este documento es proporcionar evidencia empírica a través de un mapeo de variables agrupadas en tres categorías: i) geográfica, ii) demográfica y iii) de interacción, de manera que sustenten las estrategias sobre qué territorios y sectores de la población podrían salir gradualmente de la cuarentena estricta en Bolivia. Con estas tres categorías, se complementa la definición de vulnerabilidad de Acemoglu *et al.* (2020) que contempla solo los tramos etarios.

Los casos observados en varios países, muestran que las cuarentenas no son estrategias sostenibles en el mediano plazo, y muchos de ellos están comenzando a dejar que las personas salgan de sus hogares, esperando mantener los casos graves en niveles manejables. Sin embargo, estas medidas se realizan aun cuando tengan efectos contrarios, como la propagación del virus, generándose segundas olas de contagio, por lo que la apertura inevitablemente conducirá a mayores tasas de contagios y mayor número de muertes. Estas decisiones sensibles deben ser equilibradas para ser eficientes, por lo cual la información requiere fuentes fiables.

Por otra parte, está abierto el debate sobre qué perfil de personas debería salir primero. Por un lado, se piensa que se debería dejar salir primero a las personas con menores probabilidades de infectarse, de infectar a otros y de morir por COVID-19. Sin embargo, las segundas olas de contagio muestran que no es una decisión trivial. Dados los recursos disponibles, la idea es intentar alcanzar la inmunidad colectiva en el menor tiempo posible con el menor número de muertes por COVID-19 y el menor daño colateral. En otras palabras, lo que se pretende es minimizar el daño total de esta pandemia.

Este estudio contribuye al esfuerzo de recopilar información que, en base a la experiencia de otros países durante esta pandemia, es relevante para la toma de decisiones. Es por esto que es necesario contar con datos que capturen estos aspectos y, además, permitan identificar los patrones de evolución del virus. En este sentido, los datos geo-referenciados se presentan como una herramienta importante para el análisis de distintos escenarios.

El documento tiene la siguiente estructura. En la primera sección se presenta evidencia empírica internacional, la cual sustenta la hipótesis de la reanudación de actividades según criterios geográficos/demográficos. A continuación, se expone el análisis empírico para Bolivia, donde se desarrolla el “Índice de vulnerabilidad” y sus respectivas pruebas de robustez. Posteriormente, se presenta una discusión sobre algunos aspectos demográficos y sectoriales a tomar en cuenta, y finalmente se desarrolla una sección que resume las principales recomendaciones de política.

2. Evidencia empírica internacional

La evidencia internacional sobre la pandemia del COVID-19 está en constante evolución. Sin embargo, la producción de simulaciones y cuantificación de efectos potenciales de la

pandemia ha producido significativos aportes, como se resume en el documento de Cardona, Cuba-Borda y Gonzales-Carrasco (2020). Teniendo en cuenta que una de las principales fuentes de incertidumbre radica en cómo contener de forma óptima la propagación de la pandemia minimizando la pérdida económica, se presenta un resumen de los estudios más influyentes.

Una primera aproximación viene dada por Acemoglu *et al.* (2020), donde se plantea la siguiente pregunta: ¿qué pasaría si las cuarentenas estarían basadas en algún criterio de vulnerabilidad? En este documento se establece como criterio de vulnerabilidad los tramos etarios, teniendo en cuenta que los indicadores de infección, hospitalización y tasas de fatalidad varían entre estos grupos. Los principales resultados muestran que políticas de cuarentena diferenciadas según grupos etarios superan significativamente en términos de resultados a una política de cuarentena estricta y que, estas medidas, junto a medidas de reducción de interacción dentro de estos grupos y con un incremento en la realización de tests, pueden minimizar tanto la pérdida económica como las muertes.

El trabajo de Greenstone y Nigam (2020), utilizando datos de contagios y muertes en los Estados Unidos, plantea la pregunta sobre si la distancia social es realmente efectiva. Comparando un escenario de cuarentena moderada a determinados grupos (contagiados, sospechosos, mayores de edad, personas con otros problemas de salud, entre otros), con respecto a un escenario sin restricciones, se evidencia que, en caso de haber comenzado con medidas de distanciamiento social moderado a finales de marzo, se salvarían aproximadamente 1.7 millones de vidas hasta el primero de octubre. Adicionalmente, los autores aproximan el monto monetario de todas estas vidas salvadas y concluyen que los beneficios del distanciamiento social moderado son aproximadamente 8 trillones de dólares americanos en total, o 60.000 dólares americanos por hogar.

En contraparte, el estudio de Baqaee *et al.* (2020) demuestra que, para Estados Unidos, en caso de existir una cuarentena general, las medidas de “*smart reopening*” que permitan la vuelta a la actividad de sectores que tienen menores probabilidades de contagio, no entregarían beneficios mayores que permitiendo una vuelta a la actividad general. Sin embargo, para que esta aseveración se cumpla y sea factible una vuelta general de la actividad, se deben mantener restricciones fuertes sobre las actividades “*off-work*” (bares, shopping, aglomeraciones de

gente). Esto debido a que en caso de que, por ejemplo, se volviera a permitir la mitad de actividad que en la línea base (periodo pre-Covid-19), se desencadenaría una segunda ola de proliferación del virus que daría lugar a un nuevo periodo de cese de actividades, alargando el tiempo de inactividad.

En la misma línea, De Anda-Jáuregui y Hernández-Lemus (2020) predicen para la ciudad de México, que en el caso de que un 10% o más de la población vuelva al espacio público, la tendencia negativa de la curva epidémica se revertirá. Sin embargo, proponen que si esta vuelta a la actividad se la realiza adicionalmente con criterios alternativos dirigidos a ordenar la actividad económica en el sentido de fomentar el consumo local (para evitar viajes largos), establecer horarios de trabajo diferenciados según la naturaleza de los trabajos, programar horarios y restringir la capacidad de transporte público, pueden permitir una reactivación sin comprometer la disminución de la tendencia de la curva. Para este propósito, los autores sugieren una obligatoriedad alta de estas medidas y que además estén coordinadas con las políticas sanitarias correspondientes.

Otro punto importante para el análisis de la apertura de escenarios y/o focalización de cuarentenas según grupos de vulnerabilidad, es la disponibilidad de información actualizada y en tiempo real. Dada la dinámica del virus, es de gran importancia la consideración del componente geográfico para el análisis. En este sentido, los datos geo-referenciados son una herramienta que permite considerar este aspecto para el diseño de políticas, y según la evidencia internacional, la disponibilidad también juega un papel importante al momento de la contención del virus.

Tomando en cuenta este enfoque, el trabajo de Argente, Hsieh y Munseon (2020) desarrolla un estudio que analiza el efecto de la liberación de información geo-referenciada de los infectados por Covid-19 en Corea del Sur. Los resultados sugieren que, comparando con un escenario donde la información no es liberada, el cambio en los flujos de trayectos debido a la liberación de información reduce el número de casos confirmados en 400.000 y las muertes en 13.000 en dos años. Y si se compara este mismo periodo con un régimen de cuarentena general, en el cual se llega a los mismos índices de contagio y mortalidad, el costo económico se reduce aproximadamente un 50% con la liberación de la información.

Existe también evidencia para Colombia de que, producto de las medidas de cuarentena, las regiones tendrán efectos diferenciales, dependiendo de la estructura económica, del grado de informalidad del mercado laboral y de los vínculos económicos entre sus diferentes sectores (Ricciulli-Marín *et al.*, 2020). Mediante el “Análisis exploratorio de datos espaciales” (AEDE), los autores determinan que los shocks son heterogéneos según sectores económicos, regiones y condición de formalidad laboral; por ejemplo, los sectores con mayores pérdidas son los relacionados a alimentación, servicios administrativos, construcción y comercio. Por otra parte, tres de los 32 departamentos son los que absorberían las mayores pérdidas económicas (Bogotá, Antioquia y Valle). Con estos argumentos, se plantea que es factible pensar en la reactivación económica vía cuarentenas diferenciadas, dado que el impacto económico sectorial y regional es bastante heterogéneo.

Por último, tomando en cuenta los enfoques de minimización de costo económico y el componente geográfico, uno de los trabajos que motiva el análisis para proponer medidas focalizadas con respecto a la contención de la propagación del virus donde se minimice el costo económico es el trabajo de Birge, Candogan y Feng (2020). La pregunta de investigación en la que se centra el documento de trabajo es la siguiente: ¿es posible frenar la propagación de la enfermedad mientras se minimizan las pérdidas económicas inducidas? Muchas ciudades han instituido la suspensión total de actividades en diversos grados, dada la forma de propagación de este virus (de persona a persona) y su naturaleza espacial inherente, por la cual las personas infectadas pueden infectar a otras en distintos lugares. Por esta razón, los autores analizan en qué medida puede ser o no óptima la decisión de implementar una reactivación de la economía en lugares donde en general no existen aglomeraciones de gente, como las hay en los “hubs” de las ciudades.

En base a los resultados encontrados, las principales conclusiones de los autores se pueden sintetizar en los siguientes puntos:

- ♦ La **coordinación entre autoridades** de los estados/condados es necesaria para limitar las pérdidas económicas mientras se intentan alcanzar las metas de política (evitar la propagación).

- ♦ En el caso de Midtown Manhattan, se permite cierto nivel de actividad económica impulsada por el **valor económico de esta zona**. Sin embargo, para lograr el objetivo político se debe restringir la actividad económica en cualquier otro lugar de Manhattan
- ♦ El **efecto espacial de la propagación** del virus entre vecindarios juega un papel muy importante en el momento de la decisión de qué lugares pueden reanudar la actividad económica
- ♦ La **focalización puede lograr objetivos** de política a un costo económico más bajo.

3. Evidencia empírica en Bolivia

En esta sección se presenta un análisis empírico para Bolivia donde se desarrollan tres temas principales: i) Factores asociados al COVID-19, ii) Índice de vulnerabilidad al Covid-19, iii) Alcances y limitaciones.

3.1. Factores asociados al COVID-19

Una vez que el virus llega a una nueva ubicación geográfica puede tener impactos muy diferentes, dependiendo de una variedad de factores. Por ejemplo, si el virus llega a una región escasamente poblada con personas jóvenes, sanas y bien informadas que practican una buena higiene, el virus se propagará lentamente. Sin embargo, si el virus llegase a un área densamente poblada con personas desnutridas y frágiles, que ya padecen de otras enfermedades y que no tienen acceso adecuado a agua potable, y un sistema de saneamiento, los impactos podrían ser devastadores.

Como se evidenció en la sección anterior, es importante identificar las dimensiones que interactúan para poder proponer políticas que puedan conseguir el objetivo reduciendo el costo económico del mismo. En esta sección se presenta un análisis a nivel municipal de las diferencias en el impacto potencial de la llegada del SARS-CoV-2 a diferentes municipios de Bolivia. A diferencia de la clasificación de riesgo municipal que el gobierno de Bolivia publica semanalmente¹, el índice no incluye información sobre casos activos de Covid-19 reportados. Tampoco intenta establecer el riesgo de infección en cada momento, sino trata de prever

¹ <https://www.minsalud.gob.bo/8-institucional/4144-indice-de-riesgo-municipal-covid-19-en-bolivia>

la severidad de los impactos sobre la salud de la población, una vez que la infección llega al municipio. Lo último depende de factores estructurales de cada municipio, y no tanto del momento exacto que el virus llega al municipio.

En base a la revisión de la literatura y a un proceso de consulta en línea a expertos en temas de economía del desarrollo, economía de la salud y economía regional, entre otros,² se consideró un conjunto de indicadores potencialmente relevantes que se organizaron en tres grandes grupos³, los cuales se pueden observar en el Cuadro 1.

Cuadro 1
Indicadores asociados a la contención del COVID-19

Variable	Descripción	Fuente*	Año
Riesgo de propagación rápida			
Carreteras por municipio	Número de carreteras y vías férreas que entran/salen del municipio.	ABC	2020
Centralidad de la migración	Índice que refleja con cuántos otros municipios cada municipio está conectado a través de la migración reciente.	CNPV	2012
Población urbana	Porcentaje de la población que vive en zonas urbanas.	CNPV	2012
Tasa de hacinamiento	Porcentaje de la población que vive en hogares con más de dos personas por habitación en promedio	CNPV	2012
Intensidad del transporte público	Número de asientos disponibles de transporte público con registro de RUAT (por 10.000 habitantes)	INE	2017
Energía limpia	Porcentaje de hogares que tienen energía limpia para cocinar	CNPV	2012
Tasa global de participación	Corresponde a la tasa global de participación de la población	CNPV	2012
Situación subyacente de la salud			
Nivel de obesidad	Porcentaje de mujeres de 15-49 años con sobrepeso (IMC \geq 30).	ENDSA	2016
Nivel de desnutrición crónica	Porcentaje de menores de 5 años con desnutrición crónica.	ENDSA	2016

2 La grabación del seminario web realizado el 6 de mayo de 2020 está disponible en el sitio web: <https://www.sdsnbolivia.org/nuestro-aporte-en-tiempos-de-covid-19/>

3 La información utilizada se encuentra sintetizada en el Atlas Municipal de los ODS en Bolivia. La misma es una iniciativa de Sustainable Development Solutions Network-Bolivia.

Variable	Descripción	Fuente*	Año
Incidencias de Dengue, Chagas, Malaria, Tuberculosis y VIH:	Incidencia de diferentes patologías	SNIS	2016-2018
Población mayor	Porcentaje de población mayor a 60 años.	CNPV	2012
Capacidad de respuesta			
Cobertura de agua y saneamiento	Población sin cobertura de agua potable y saneamiento.	VAPSB	2017
Cobertura de electricidad, telefonía e internet.	Porcentaje de hogares con acceso a los diferentes servicios mencionados.	CNPV	2012
Densidad de radio bases	Número de radio bases por 1.000 habitantes	AGETIC	2018
Población originaria	Porcentaje de la población que no habla español.	CNPV	2012
Desigualdad educativa	Índice Gini educativo a nivel municipal.	CNPV	2012
Ejecución presupuestaria	Porcentaje de presupuesto ejecutado con respecto al presupuesto programado.	MEF	2017
Inversión	Inversión pública <i>per cápita</i> .	MEF	2017
Personal médico	Número de médicos por cada 10.000 habitantes.	MINSAL	2016
Recaudación	Proporción de ingresos municipales que provienen de impuestos locales.	MEF	2017
Infraestructura en salud	Número de hospitales de segundo o tercer nivel por municipio.	MINSAL	2016
Atención médica	Porcentaje de pobreza en el componente "Salud" del "Índice de necesidades básicas insatisfechas"	CNPV	2012

*Nota: Las abreviaciones de las fuentes de información se detallan a continuación: Instituto Nacional de Estadísticas (INE), Censo Nacional de Población y Vivienda (CNPV), Agencia de Gobierno Electrónico y Tecnologías de Información y Comunicación (AGETIC), Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), Encuesta de Demografía y Salud (ENDSA), Sistema Nacional de Información en Salud (SNIS), Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico (VAPSB), Ministerio de Salud (MINSAL), Ministerio de Economía y Finanzas (MEF).

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Índice de vulnerabilidad en Bolivia

En base a la identificación de los factores relacionados con la propagación del Covid-19, se propone un índice de vulnerabilidad, que amplía la definición de Acemoglu *et al.* (2020) descrita en la sección II. La misma caracteriza la situación de los municipios de Bolivia con respecto a la capacidad de contención de la pandemia. El índice está en el rango entre 0 y 100, donde 100 representa el puntaje máximo de vulnerabilidad.

Cálculo del índice

El índice de referencia reportado en este documento se calculó en base a 15 indicadores, los cuales fueron seleccionados en base a un criterio de decisión, mediante el cual se consideran aquellos indicadores donde más del 50% de los especialistas consultados acordaron que tienen un efecto fuerte en la probabilidad de morir por COVID-19⁴. Una vez seleccionados los indicadores, se procede a normalizar cada uno en la escala 0 a 100. Finalmente, se agregan estas dimensiones en un solo indicador, llamado “Índice de vulnerabilidad al COVID-19”, el mismo que tiene la siguiente fórmula general:

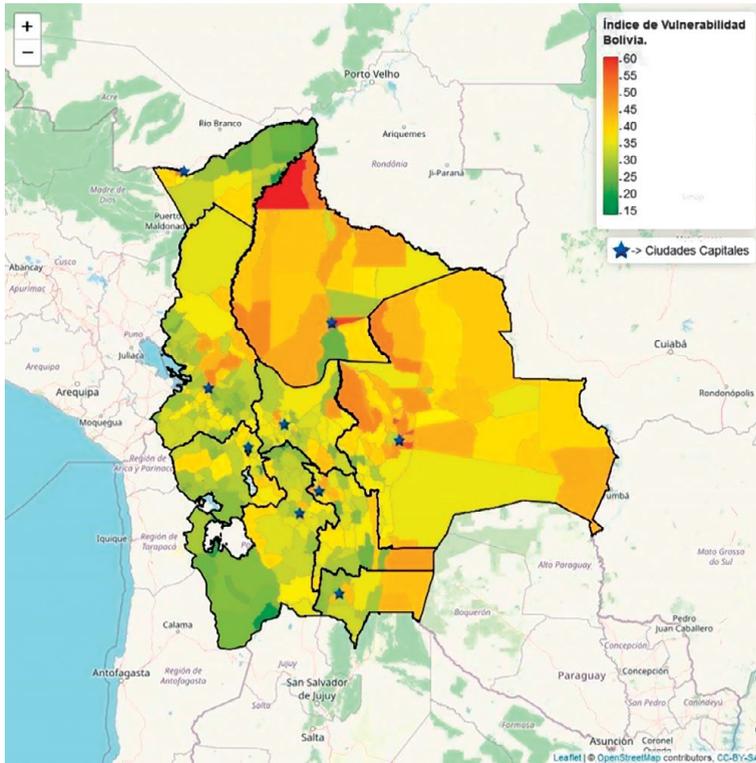
$$IV_{COVID} = \sum_{i=1}^N (w_i * D_i) \quad (1)$$

Donde i , $i = (1, \dots, N)$ corresponde a cada una de las variables seleccionadas para caracterizar la vulnerabilidad en los municipios; W corresponde a la ponderación de cada dimensión y D hace referencia al valor normalizado del indicador. Específicamente para el caso del índice con 15 indicadores, se utiliza una misma ponderación para todos. Dado que las variables están normalizadas en el rango entre 0 a 100, el índice se encuentra en el mismo rango donde 100 corresponde al puntaje máximo de vulnerabilidad.

La figura 2 presenta la distribución espacial de los puntajes del Índice de Vulnerabilidad. El mismo viene representado en la escala Verde a Rojo, donde los municipios más vulnerables serán las que estén más cerca al color Rojo.

4 Para mayor detalle sobre la selección de variables y las ponderaciones respectivas, revisar el Anexo metodológico.

Gráfico 1: Mapa del índice de vulnerabilidad al COVID-19 (basado en 15 indicadores)



Fuente: Elaboración propia.

El Cuadro 2 muestra el índice de vulnerabilidad para los 339 municipios de Bolivia, clasificados desde el más hasta el menos vulnerable. Los resultados muestran que en el decil más alto de puntajes (mayores a 43.57), se encuentran ocho de las diez ciudades capitales del país (Tarija y Potosí están en el decil 8); adicionalmente, están 12 municipios que son parte de las zonas metropolitanas o que, según la población, son centros urbanos importantes en los respectivos departamentos. Es decir que un 60% de los municipios que están en el decil más alto de vulnerabilidad son centros urbanos grandes. Sin embargo, se debe prestar atención al restante 40% de este grupo de municipios, que, si bien no son completamente rurales, tienen la característica de presentar menor capacidad de respuesta, sobre todo con respecto a infraestructura en salud.

Cuadro 2
Índice de vulnerabilidad al Covid-19

Dep	Municipio	Índice	Dep	Municipio	Índice	Dep	Municipio	Índice	Dep	Municipio	Índice	Dep	Municipio	Índice
BN	Riberalta	60.2	LP	TiTo Yupanqui	39.6	CB	Tofora	35.5	PT	Kiochacs	32.3	LP	S.A. Machaca	28.7
BN	Trinidad	57.8	LP	Coroico	39.4	LP	Achacachi	35.4	LP	La Asunta	32.3	OR	S. Andamarca	28.6
SC	Montero	56.4	CH	Las Carreras	39.3	CH	Camargo	35.4	LP	Desaguadero	32.3	LP	Cairoma	28.6
SC	Santa Cruz	56.0	PN	Bolpebra	39.1	CB	Tapacarí	35.4	TJ	Uriando	32.2	TJ	San Lorenzo	28.6
PN	Cobija	51.8	SC	Comarapa	39.1	BN	Baures	35.4	CB	Vacas	32.2	PN	Bella Flor	28.5
BN	Guayaramerín	51.2	SC	Cuevo	39.0	OR	Poopó	35.3	LP	Colquencha	32.1	PT	Vitichi	28.4
CB	Cochabamba	50.4	SC	San Matías	39.0	SC	Pucará	35.3	LP	Ancoaimes	32.1	LP	S.P. Curahuara	28.3
SC	San Carlos	50.0	CB	Mizque	39.0	CH	Sopachuy	35.2	LP	Pto Carabuco	32.0	CB	Bolivar	28.3
SC	Guarayos	49.8	PT	Uyuni	38.9	LP	S.P.Tiquina	35.2	PT	Atocha	32.0	CB	Chimoré	28.3
SC	Yapacaní	49.4	BN	San Andrés	38.9	TJ	Entre Ríos	35.2	CB	Vila Vila	31.9	LP	Chuma	28.2
BN	Rurenabaque	49.4	OR	Turco	38.9	CH	Poroma	35.1	CB	Anzaldo	31.9	LP	Taraco	28.1
LP	La Paz	49.4	PN	El Sena	38.8	SC	Charagua	35.1	SC	Porongo	31.9	PT	Toro Toro	27.8
SC	Warnes	48.8	LP	Viacha	38.8	SC	San Rafael	35.1	PT	Pocoata	31.8	LP	Humanata	27.6
BN	San Borja	48.6	SC	Concepción	38.6	SC	El Puento	35.1	CB	Arani	31.8	TJ	Yunchará	27.6
LP	Caranavi	48.0	PT	Llallagua	38.5	PT	Caiza "D"	35.1	LP	Charazani	31.7	OR	Choque Cota	27.5
SC	La Guardia	47.8	SC	S.J. de Chiquitos	38.5	PT	Villazón	35.0	LP	Teoponte	31.7	CB	Colomí	27.5
CB	Quillacollo	47.4	SC	S.R. del Sara	38.4	CB	Tiquipaya	34.9	PT	S.P.Buena Vista	31.6	LP	Malla	27.3
SC	San Ramón	47.0	OR	Caracollo	38.3	LP	Pto Acosta	34.9	PN	San Pedro	31.6	PT	Caripuyo	27.3
OR	Oruro	47.0	CH	Yotala	38.1	OR	Pari	34.9	PT	Urmiri	31.5	OR	Chipaya	27.3
CB	Pto. Villarroel	46.7	LP	Alto Beni	38.1	SC	Lagunillas	34.9	LP	Batallas	31.5	OR	Garci Mendoza	27.2
LP	El Alto	46.4	PT	Uncía	38.0	CB	Tarala	34.8	OR	Toledo	31.4	PN	Ingavi	27.1
SC	S.J. Yapacaní	46.4	CH	Yamparádez	37.9	CB	Shinohata	34.7	LP	Ayata	31.2	PT	Calcha "K"	27.1
LP	Mopiri	45.9	LP	Patacamaya	37.8	LP	Chacarilla	34.5	LP	Inquisivi	31.2	CH	El Villar	27.0
BN	San Joaquín	45.6	BN	Huacaya	37.8	CH	Villa Abecía	34.5	OR	Esmeralda	31.2	LP	Papel Pampa	26.9
CH	Machareff	45.4	CH	San Lucas	37.7	LP	Ixiamas	34.4	OR	Huayllamarca	31.0	PT	Mojinete	26.9
CH	Sucre	45.1	CB	Sacaba	37.7	CH	Presto	34.4	OR	Eucallplus	31.0	LP	Catacora	26.9
BN	Magdalena	45.1	SC	Buena Vista	37.6	PT	Puna	34.4	SC	S.A. de Lomerío	31.0	LP	Quime	26.9
SC	El Torno	44.9	OR	Quillacas	37.6	OR	Machacamarcá	34.4	LP	Mocomoco	30.9	PT	Villa de Sacaca	26.7
SC	Mineros	44.7	CB	Punata	37.4	PT	Porco	34.3	CB	Alalay	30.8	LP	Combaya	26.7
BN	San Ignacio	44.6	OR	Corque	37.4	LP	Chulumani	34.3	OR	Pampa Aullagas	30.8	CB	Sicaya	26.6
SC	Pto Quijarro	44.4	LP	Caquiaviri	37.4	PT	Tingupaya	34.2	OR	Escara	30.8	LP	Mecapaca	26.4
SC	Coloaca	44.3	CB	Sipe Sipe	37.3	CH	Tomina	34.1	PN	San Lorenzo	30.8	OR	Carangas	26.4
SC	C. Rivero	43.8	LP	Colquiri	37.2	CB	Pocona	34.0	CB	Villa Rivero	30.8	SC	Trigal	26.3
SC	Palión	43.6	LP	Ayo Ayo	37.1	LP	Yanacachi	34.0	OR	Y. de Litoral	30.7	PT	S.P. de Lipez	26.2
CB	Colcapirhua	43.6	OR	El Choro	37.1	PT	Tomave	33.9	CB	Cocapata	30.7	CH	Huacaya	26.1
SC	Puerto Suárez	43.4	CB	Tolata	37.1	CB	Tiraque	33.9	CB	Cliza	30.6	CB	Omereque	26.0
TJ	Yacuiba	43.2	SC	Cuatro Cañadas	37.0	CH	Tarifa	33.9	OR	B. de Andamarca	30.6	CB	Tacachi	25.7
SC	Yacuiba	43.1	PN	Porvenir	36.9	LP	Callapa	33.9	CH	Villa Charcas	30.5	CB	Cuchumuela	25.7
SC	San Pedro	43.1	SC	Camiri	36.9	OR	C. Machacamarcá	33.8	LP	Quibaya	30.5	SC	Moro Moro	25.5
BN	Santa Rosa	43.0	PT	Betanzos	36.8	CB	Marochata	33.7	LP	V. L. Licoma	30.4	LP	Curva	25.3
LP	Guanyá	43.0	SC	Pampa Grande	36.8	SC	Quirúsilas	33.6	SC	Postrer Valle	30.4	PT	S.P. de Quemés	25.2
CH	Tarabuco	42.7	TJ	Bermejo	36.8	LP	Guacuí	33.5	CB	Tocapaya	30.4	CH	Icía	25.2
SC	Uribichá	42.6	CB	Independencia	36.8	OR	Pazña	33.4	LP	Coro Coro	30.4	PT	San Agustín	25.2
TJ	Tarija	42.5	OR	Huanuni	36.6	LP	Stgo de Machaca	33.4	LP	Sapahaquí	30.3	OR	Tados Santos	25.2
SC	San Julián	42.2	CB	Entre Ríos	36.6	LP	Puerto Pérez	33.4	LP	Huatajata	30.2	CH	Huacareta	25.1
PT	Potosí	42.1	LP	Calamarca	36.6	LP	Collana	33.3	CB	Sacabamba	29.8	PN	Santos Mercado	24.9
SC	San Javier	42.0	PT	Tupiza	36.5	CB	Sanluis	33.3	LP	Pucarani	29.8	BN	Loreto	24.7
LP	Palos Blancos	42.0	SC	Vallegrande	36.5	PT	Chuquiuhuta	33.3	CH	Culpina	29.8	PN	Santa Rosa	24.6
SC	S.M. Velasco	41.6	CB	Arbieto	36.5	BN	Puerto Sites	33.2	PT	Tacobamba	29.8	LP	S. Huata	24.5
TJ	Villamontes	41.5	SC	Saipina	36.5	LP	Huarina	33.1	LP	Cajutá	29.7	LP	Pacajes	23.9
CB	Aiquile	41.5	CB	Arque	36.3	LP	Laja	33.1	BN	San Javier	29.6	LP	Luribay	23.8
SC	Portachuelo	41.4	LP	Sica Sica	36.3	OR	Coipasa	33.1	LP	Paica	29.6	LP	Nueva Esperanza	23.5
BN	Exaltación	41.3	LP	Tipuani	36.2	CH	Villa Alcalá	33.0	TJ	Caraparí	29.5	PN	VN Loma Alta	23.4
CH	Muyupampa	41.2	CH	Villa Serrano	36.2	LP	Charaña	33.0	PT	Chayanta	29.5	PT	Arampampa	20.7
SC	Mairana	41.2	SC	Gutiérrez	36.1	CH	Incahuasi	33.0	LP	Coripata	29.5	PT	Tahua	19.8
BN	Reyes	41.0	CH	Monteagudo	36.1	LP	Ichaca	32.9	PT	Llica	29.5	OR	Antequera	19.8
CB	Vinto	41.0	CB	Pojo	36.1	PT	Ocurí	32.9	LP	Sorata	29.5	PN	Pto G Moreno	19.1
LP	San Buenaventura	40.9	CB	Capinota	36.0	TJ	Padcaya	32.8	PT	Yocalla	29.3	PT	S.A. de Esmoruco	18.5
LP	Achocalla	40.8	LP	Apolo	35.9	LP	Calacoto	32.8	CH	Mojocoya	29.3	OR	Huachacalla	13.8
BN	S.A. de Yacuma	40.6	OR	Huari	35.9	LP	Chua Cocani	32.7	TJ	El Puento	29.2	PN		
SC	Okinawa Uno	40.4	SC	F. Alonso	35.9	LP	Aucapata	32.7	LP	Irupana	29.2	PN		
SC	S.I. de Velasco	40.4	LP	Tiahuanacu	35.9	LP	Copacabana	32.7	PT	Acasio	29.2	PN		
OR	Challapata	40.0	CH	Azurduy	35.9	PN	Filadelfia	32.6	LP	W. Ballivián	29.1	PN		
SC	Roboré	40.0	LP	Escama	35.8	LP	Tacacoma	32.5	LP	J. Machaca	29.1	PN		
BN	San Ramón	39.8	PT	Chaquí	35.7	PT	Ravelo	32.5	OR	S.P. de Tofora	29.1	PN		
SC	Colpa Belgica	39.8	LP	Comanche	35.7	PT	Colquechaca	32.4	OR	La Rivera	29.1	PN		
SC	Gral. Saavedra	39.8	PN	Puerto Rico	35.6	CH	Padilla	32.4	OR	Sabaya	29.0	PN		
SC	Sarmipata	39.7	LP	Urmala	35.6	OR	C. Carangas	32.4	LP	Yaco	28.9	PN		
CH	Zudáñez	39.6	CB	Villa Tunari	35.5	PT	Colgaita	32.3	LP	Pelechucu	28.9	PN		
CB	San Benito	39.6	SC	Cabezas	35.5	CB	Passarapa	32.3	CB	Toko	28.8	PN		

Nota: Las nueve capitales departamentales más El Alto están resaltadas en negrita.

Fuente: Elaboración propia.

En contraparte, se debe prestar atención a los territorios de los deciles más bajos de vulnerabilidad, dado que en estos municipios las autoridades sub-nacionales podrían viabilizar un levantamiento de la cuarentena de forma gradual, priorizando las medidas sanitarias adecuadas. Asimismo, se deben realizar estas medidas con coordinación entre las autoridades departamentales y municipales para que las mismas sean efectivas.

Ejercicios alternativos de robustez

Uno de los aspectos que es susceptible a debate sobre este tipo de indicadores es la robustez de los resultados que pueden entregar estas herramientas. Esto ocurre debido a que muchos de los criterios utilizados para la construcción de los índices son de carácter arbitrario. Para abordar este tipo de situaciones, es importante realizar distintos ejercicios que permitan establecer si los ponderadores escogidos y/o las variables seleccionadas están apuntando correctamente en el sentido de la medición del fenómeno en cuestión. Para este propósito, se realizaron cuatro pruebas adicionales del índice con la inclusión de algunas variables que quedaron fuera del índice de referencia, pero que la literatura menciona que podría tener algún efecto. Adicionalmente, para las ponderaciones, se utiliza un criterio normalizado de la importancia relativa de cada una de éstas según la encuesta realizada a expertos.

El desarrollo metodológico de cada una de las pruebas se encuentra detallado en el Anexo metodológico, donde se presenta un resumen de las metodologías de ponderación utilizadas y la selección de variables. Las medidas de tendencia central de cada uno de los ejercicios y las correlaciones entre sí se presentan en los Cuadros 3 y 4.

Con respecto a las medidas de tendencia central, se puede concluir que los ejercicios son bastante parecidos, tomando en cuenta sobre todo los promedios y las desviaciones estándar. Asimismo, se encuentra que estos ejercicios se encuentran altamente correlacionados entre sí. Además, como se puede observar en el Cuadro 5, los patrones geográficos son similares entre ellos⁵.

Por otra parte, cabe mencionar que se escoge el índice de 15 indicadores por sobre las otras opciones, debido a que, en la encuesta a expertos, más del 50% estuvo de acuerdo con que las variables tenían una probabilidad fuerte sobre las muertes por COVID. Este criterio se

5 Los mapas correspondientes a todas las pruebas de robustez se presentan en el Anexo metodológico.

vuelve relevante en este caso, dado que al momento de la investigación existen otros posibles determinantes que han probado tener cierta relación, pero no de manera concluyente. Por tanto, el consenso de los expertos sobre la importancia relativa de criterios se constituye en una referencia importante.

Sin embargo, estos posibles determinantes son considerados como parte de las pruebas de robustez para evaluar si la inclusión de los mismos afecta de manera significativa al índice de referencia. En este caso, como se mencionó anteriormente, las correlaciones son altas entre el índice de referencia y los otros ejercicios.

Cuadro 3
Medidas de tendencia central - Ejercicios de robustez

	15 Var	24 Var	28 Var	29 Var
Promedio	34.7	34	40.11	38.42
Mediana	34.3	33.6	39.96	38.37
S.D.	6.8	5	4.22	4
Min	13.8	14.3	19.11	22.56
Max	60.2	53.7	56.82	53.23

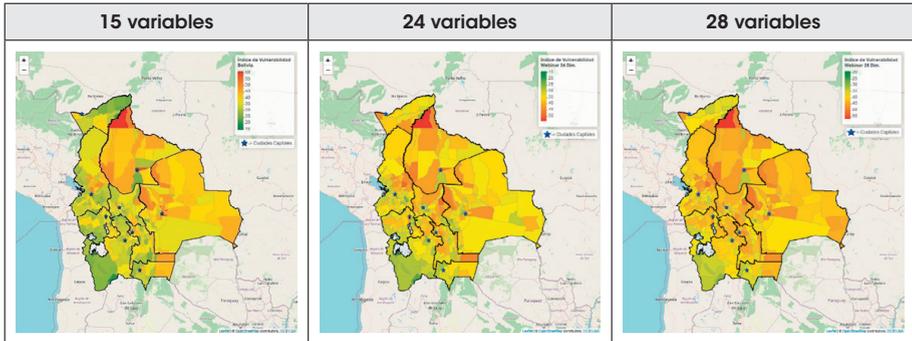
Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 4
Matriz de correlaciones - Ejercicios de robustez

	15 Var	24 Var	28 Var	29 Var
15 Var	1			
24 Var	0.73	1		
28 Var	0.86	0.95	1	
29 Var	0.76	0.71	0.85	1

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 5
Mapas de ejercicios de robustez



Fuente: Elaboración propia.

3.3. Alcances y limitaciones

Una vez mencionados los aspectos técnicos de la metodología, es importante recalcar algunos aspectos con respecto a los alcances y limitaciones que tiene la misma. A continuación, se detallan los mismos:

- ♦ El índice de vulnerabilidad tiene como objetivo caracterizar la capacidad de los municipios para la contención de la pandemia. Para este propósito se utilizan variables en su gran mayoría de carácter estructural, para así evitar efectos que puedan ser coyunturales.
- ♦ El índice de vulnerabilidad es un ejercicio exploratorio que permite, además, dada la unidad de observación (municipal), identificar a aquellos municipios donde potencialmente se podrían enfocar los esfuerzos de prevención.
- ♦ Es importante mencionar que este índice, dada su naturaleza de construcción, no tiene poder predictivo, por lo que no se puede inferir causalidad en base a esta herramienta.
- ♦ Se debe considerar que la selección de variables y los criterios de ponderación de las mismas se realizó en base a la opinión de un grupo de expertos. Dado que, al momento del estudio, el conocimiento sobre factores relacionados está en proceso de desarrollo, la selección de algunas de las variables y/o ponderaciones puede ser debatible a futuro.
- ♦ El índice es perfectible en el sentido de inclusión de algunas variables o proxys que permitan aproximar de mejor manera el criterio de vulnerabilidad estructural. Sin

embargo, al momento de la investigación se utilizaron las fuentes de información más actualizadas disponibles.

4. Conclusiones

Un confinamiento total y uniforme resulta ineficiente, debido a las grandes variaciones geográficas, demográficas y sectoriales del riesgo de COVID-19. También es muy perjudicial para la salud mental, física y económica de las personas, y claramente insostenible. Sin embargo, muchos casos muestran que la ausencia de capacidad de coordinación del Estado obliga a efectuar estas medidas extremas con altos costos económicos.

Dado que es muy poco probable que una vacuna esté disponible a escala mundial antes de finales del próximo año, en el mejor de los casos (Chivers, 2020), y dado que hemos fallado en erradicar el virus incluso después de más de 50 días del confinamiento más estricto que podría aplicarse en Bolivia, la única opción restante para superar esta pandemia es dejar que el virus atraviese a la mayoría de la población de forma controlada durante los próximos 12 a 24 meses (Andersen, 2020). Esto bajo el supuesto importante de que el testeo y trazabilidad pueden incrementarse considerablemente y que las medidas preventivas puedan acompañar todo el proceso en este tiempo.

Al levantar todas las medidas de precaución, las tasas de infección se dispararán y se alcanzarán muchas más muertes diarias de las que se puede manejar física y psicológicamente. En cambio, se debería continuar con las medidas de precaución racionales y llevar a cabo una reapertura gradual, comenzando por los municipios, los grupos demográficos y los sectores con el riesgo más bajo.

Las principales recomendaciones para el futuro inmediato son las siguientes:

1. En aquellos municipios con baja densidad poblacional, principalmente en el área rural, gran parte de las tiendas/comercios estarían en condiciones de reabrir, siempre que los clientes puedan mantener un distanciamiento físico adecuado y los establecimientos puedan proveer las condiciones mínimas de sanidad a los clientes (desinfección de manos a clientes, manipulación adecuada de alimentos, entre otros).

2. Es deseable llevar a cabo medidas coordinadas entre distintos niveles gubernamentales. Las autoridades departamentales deben ser las encargadas de coordinar a las municipalidades para que, en caso de levantarse las medidas de cuarentena en municipios, éstas no desaten una segunda ola de contagios.
3. Como criterio para políticas de confinamiento territorialmente focalizadas se pueden utilizar los niveles de vulnerabilidad de la población con respecto a la gestión de la pandemia, y en ese sentido el índice de vulnerabilidad propuesto en este documento puede servir de guía, dado que considera las condiciones estructurales socio-económicas de los municipios. Indudablemente, esto no tiene sentido sin una fiscalización efectiva.
4. Se debe poner mayor atención en la política de datos abiertos del gobierno, dado que éste es un punto clave para permitir la colaboración entre la academia y el gobierno. Esta relación es clave para el diseño de políticas más eficientes, que, por ejemplo, en el contexto del COVID-19, permitan mantener niveles de contagios controlables a un costo económico menor para la sociedad.
5. Se debería aprovechar esta oportunidad para expandir la cobertura de servicios en línea, tanto en el sector público como privado. Con respecto al sector público, existen organismos estratégicos, como la Agencia de Gobierno Electrónico y Tecnologías de Información y Comunicación, Registro Civil, entre otros, que deben avanzar con la cobertura en la prestación de los servicios de gobierno electrónico. Por otra parte, en el sector privado, el sector financiero tiene el desafío de capacitar y fomentar a la población para el uso de las plataformas online, para que de esta forma se establezcan las condiciones para hacer de las plataformas en línea una alternativa para la adquisición de bienes y servicios.
6. Finalmente, los municipios más vulnerables deben prepararse para un gran impacto de COVID-19 en el caso de fallar su aislamiento. Por ejemplo, en todos los ejercicios de robustez, Riberalta se destaca como el municipio más vulnerable de Bolivia. Éste es un municipio con aproximadamente 100 mil habitantes, que cuenta con muchas conexiones a otros municipios y proporciona servicios de salud para muchos municipios circundantes en los departamentos de Beni, La Paz y Pando. Sin embargo, tiene una cobertura muy baja de agua y saneamiento, y altos niveles de obesidad, desnutrición, dengue, malaria, tuberculosis y VIH.

7. Viendo en perspectiva la probable segunda ola de contagios, como se observa en países vecinos como Argentina y algunas comunas de Chile (Acuña *et al.*, 2020), se espera que estos mapas e información geo-referenciada sean insumos complementarios para la estrategia de inmunización una vez descubierta la vacuna para el COVID-19. De esta manera, las autoridades pueden identificar focos de riesgo en base a la distribución geográfica y demográfica de aquellas comunidades más expuestas. En ese sentido, este aporte marca una relevancia importante en el diseño de contención de esta pandemia y otras posibles en el tiempo. Para ello se ofrece a los lectores, investigadores y autoridades la base de datos utilizada en este estudio.

Fecha de recepción: 17 de julio de 2020

Fecha de aceptación: 15 de octubre de 2020

Manejado por ABCE/SEBOL/IISEC

Referencias

1. Acuña, C.; Cerda, R.; González, H. y Larraín, F. (2020). Covid-19: un modelo para determinar la probabilidad e intensidad de una segunda ola de contagios. Documento de Trabajo de CLAPES UC N° 82.
2. Acemoglu, D.; Chernozhukov V. *et al.* (2020). Targeted Lockdowns in a Multi-Group SIR Model. National Bureau of Economic Research. Working Paper N° 27102.
3. Anda-Jáuregui de, G. y Hernández-Lemus, E. (2020). *Modular Reactivation of Mexico City After COVID-19 Lockdown*. arXiv preprint arXiv:2008.12688
4. Andersen, L. (2020). Forty Days of Quarantine-What Have We Learned? Sustainable Development Networks Solution-SDSN Bolivia. Disponible en: <https://www.sdsnbolivia.org/en/english-forty-days-of-quarantine-what-have-we-learned/>
5. Andersen, L. E.; Canelas, S.; Gonzáles, A. y Peñaranda, L. (2020). *Atlas municipal de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en Bolivia 2020*. La Paz: Universidad Privada Boliviana, SDSN Bolivia.
6. Argente, D.; Hsieh, C. y Munseon, L. (2020). The cost of privacy: Welfare Effect of the Disclosure of Covid-19 Cases. National Bureau of Economic Research. Working Paper N° 27220.
7. Baqaee, D.; Farhi, E.; Mina, M. y Stock, J. (2020). *Reopening Scenarios*. National Bureau of Economic Research. Working Paper N° 27244.
8. Birge, J.R.; Candogan, O. y Feng, Y. (2020). Controlling Epidemic Spread: Reducing Economic Losses with Targeted Closures. Becker Friedman Institute Working Paper N° 2020-57, University of Chicago, May. Disponible en: <https://bfi.uchicago.edu/working-paper/controlling-epidemic-spread-reducing-economic-losses-with-targeted-closures/>
9. Cardona C.; Cuba-Borda, P. y Gonzáles-Carrasco, L.E. (2020). Monitoreo en tiempo real del COVID-19 en Bolivia. Documento de Trabajo de CLAPES UC N° 81.
10. Chivers, T. (2020). When will we get the Covid-19 vaccine? UnHerd. Disponible en: https://unherd.com/2020/04/when-we-get-the-covid-19-vaccine/?tl_inbound=1&tl_groups%5b0%5d=18743&tl_period_type=3
11. Greenstone, M. y Nigam, V. (2020). Does Social Distancing Matter? University of Chicago, Becker Friedman Institute for Economics Working Paper N° 2020-26.

12. Jordá, O.; Singh, S. R. y Taylor, A. M. (2020). Longer-run economic consequences of pandemics. National Bureau of Economic Research. Working Paper N° 26934.
13. Ricciulli-Marín, D. *et al.* (2020). Diferencias regionales en el impacto económico del aislamiento preventivo por el COVID-19: estudio de caso para Colombia. Documentos de trabajo sobre economía regional y urbana, N° 290, Banco de la República.

Anexo metodológico

Índice de vulnerabilidad al COVID-19 BOLIVIA

El Índice de vulnerabilidad al COVID-19 (IV-COVID-19) es una herramienta estadística que permite aproximar las carencias/fortalezas de las condiciones estructurales de los municipios de Bolivia con respecto a la contención del COVID-19. El presente anexo tiene como objetivo detallar los aspectos metodológicos del mismo, para identificar las fortalezas y los alcances que tiene el mismo.

Metodología

Para la construcción del IV-COVID-19, se llevaron a cabo múltiples etapas, que van desde la revisión de la literatura, la selección y agregación de indicadores, hasta el cálculo del índice y las pruebas de robustez. En esta sección se detallarán los pasos llevados a cabo para la construcción del índice.

Revisión de literatura y selección de indicadores

En la primera etapa se realizó una preselección de indicadores que, en base a estudios realizados a la fecha, fueron identificados como factores asociados al COVID-19 (Cuadro 6). Para la construcción del índice se ponderaron los indicadores mediante una consulta pública en un *webinar* de la Sociedad de Economistas de Bolivia (SEBOL), con asistencia de 50 personas en promedio, entre los que se encontraban expertos en temas de desarrollo económico, economía de la salud y economía regional, entre otros. En la consulta se recogió la opinión de los mismos con respecto al efecto de las variables en la propagación del virus, clasificando las mismas en fuerte, moderado, neutral y desconocimiento del efecto.

Cálculo del índice

Una vez seleccionadas las variables, se procede a normalizar cada una en la escala 0 a 100. Finalmente se agregan estas dimensiones en un solo indicador, llamado “Índice de vulnerabilidad al COVID-19”, que tiene la siguiente fórmula general:

$$IV_{COVID} = \sum_{i=1}^N (w_i * D_i) \quad (1)$$

Donde i , $i = (1, \dots, N)$ corresponde a cada una de las variables seleccionadas para caracterizar la vulnerabilidad en los municipios, W corresponde a la ponderación de cada respectiva dimensión y D hace referencia al valor normalizado del indicador. Dado que las variables están normalizadas en el rango entre 0 a 100, el índice se encuentra en el mismo rango, donde 100 corresponde al puntaje máximo de vulnerabilidad.

Metodología de ponderación

En este tipo de índices, la ponderación de las distintas dimensiones juega un papel importante dado que éstas pueden asignar mayor importancia relativa a alguna(s) variable(s). En este sentido, se proponen dos métodos para determinar la ponderación de los indicadores seleccionados.

i. Ponderación en base a consulta a expertos (PCE)

En este primer ejercicio se recogieron los criterios de aproximadamente 50 profesionales (médicos, economistas, sociólogos, ingenieros, etc.) en un webinar interactivo⁶ referido a la importancia de cada variable sobre la severidad de los impactos del COVID-19. Una vez agregadas todas las opiniones de los expertos, cada variable tendrá un “nivel de importancia” según la votación que se realizó. A continuación, se presenta en el Cuadro 6 un ejemplo de esta situación.

Cuadro 6
Estructura de votación

Variables	Efecto fuerte	Efecto moderado	Efecto neutral	Desconoce el efecto	Total
Var 1	70%	20%	8%	2%	100%
Var 2	65%	25%	5%	5%	100%
Var 3	0%	30%	60%	10%	100%
...
Var N	20%	30%	45%	5%	100%

⁶ Las votaciones detalladas están disponibles aquí: <https://www.sdsnbolivia.org/wp-content/uploads/2020/05/poll-results-ERW06052020.pdf>.

Una opción de ponderación es asignar mayor peso a las variables que tengan el mayor porcentaje de votos a “Efecto fuerte”, para de esta manera aproximar la importancia relativa de una variable con respecto al resto. Es decir, en el ejemplo del cuadro, la variable 1 presenta un mayor porcentaje de votos en la categoría “Efecto fuerte” que el resto de variables; entonces la misma debe ser la variable a la que se asigne una mayor ponderación en el índice agregado.

Para lograr esta ponderación primero se normaliza la distribución de votación “Efecto fuerte” con media \bar{X}_F :

$$\bar{X}_F = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N p_i^{Fuerte} \quad (2)$$

Donde p_i^{Fuerte} corresponde al porcentaje de respuestas que creen que la variable i tiene un “Efecto fuerte” en la propagación y severidad del virus; con la siguiente desviación estándar:

$$\sigma_F = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N (p_i^{Fuerte} - \bar{X}_F)^2} \quad (3)$$

Una vez normalizadas las proporciones de votación “Efecto fuerte”, se encuentra la ponderación W_i para cada variable, en base a una suma ponderada de los puntajes normalizados. Finalmente, el indicador se calcula en base nuevamente a (1).

ii. Ponderaciones en base a un umbral (PU)

La segunda alternativa que se propone para establecer las ponderaciones consiste en establecer un umbral a partir del cual se consideren solo ciertas variables en el índice. La idea principal de esta propuesta radica en el hecho de hacer a un lado a aquellas variables que, en promedio, los expertos no consideran que tienen un efecto fuerte sobre la propagación del COVID-19.

Para este propósito se tomó en cuenta solo a aquellas variables cuyo porcentaje de respuestas en la categoría “Efecto fuerte” supera el 50%. Este umbral se establece en base al promedio de respuestas fuertes, dado que $\bar{X}_F = 0.54$; sin embargo, dos variables quedan muy cerca al umbral, las cuales tienen puntajes por encima de 0.50 y menos de 0.54.

Una vez aplicada la selección en base al umbral, y dado que estas variables fueron seleccionadas como fuertemente influyentes en la propagación del COVID-19, se utiliza una misma ponderación para todas las variables. Y al final queda un indicador que toma la siguiente forma general:

$$IV_{COVID} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (D_i) \quad (4)$$

Donde N es el número de variables consideradas y D_i corresponde a las variables consideradas.

Para el documento, se toma como referencia el índice construido con **el criterio de ponderaciones en base a un umbral**, dado que la aplicación del mismo entrega un conjunto de variables que, a primera vista, resumen de manera concreta los principales factores asociados a la propagación del COVID-19.

Ejercicios alternativos de robustez

A continuación, en el Cuadro 7, se presenta un resumen del conjunto de variables utilizadas en los ejercicios realizados. Las distintas combinaciones de variables fueron escogidas en función a la revisión de la literatura y al criterio de los investigadores.

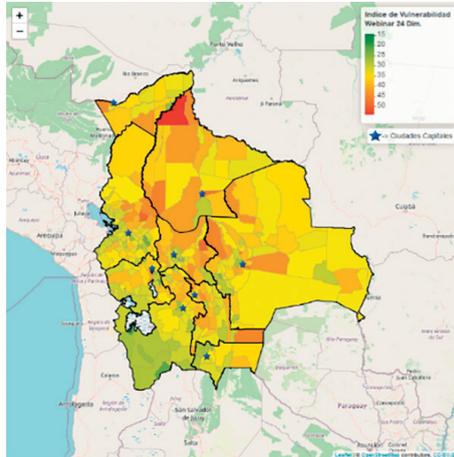
Cuadro 7
Conjunto de variables utilizadas en los ejercicios

No.	Variable	Ejercicios de robustez			
		15 Var	24 Var	28 Var	29 Var
1	Carreteras por municipio	X	X	X	X
2	Centralidad de la migración	X	X	X	X
3	Tasa de hacinamiento	X	X	X	X
4	Intensidad del transporte público	X	X	X	X
5	Nivel de obesidad	X	X	X	X
6	Incidencias de tuberculosis	X	X	X	X
7	Incidencia de dengue	X	X	X	X
8	Incidencia de VIH	X	X	X	X
9	Cobertura de agua	X	X	X	X
10	Cobertura de saneamiento	X	X	X	X
11	Desigualdad educativa	X	X	X	X
12	Ejecución presupuestaria	X	X	X	X
13	Inversión pública per cápita	X	X	X	X
14	Población adulta mayor	X		X	X
15	Población urbana	X		X	X
16	Tasa global de participación (hombres)		X	X	X
17	Tasa global de participación (mujeres)		X	X	X
18	Densidad de radio bases		X	X	X
19	Nivel de desnutrición crónica		X	X	X
20	Incidencia de Chagas		X	X	X
21	Energía limpia		X	X	X
22	Incidencia de malaria		X	X	X
23	Cobertura de electricidad		X	X	X
24	Cobertura de telefonía fija o celular		X	X	X
25	Población originaria		X	X	X
26	Recaudación de impuestos		X	X	X
27	Personal médico			X	X
28	Infraestructura en Salud			X	
29	Altura promedio (m.s.n.m)				X
30	Temperatura promedio (oC)				X

Fuente: Elaboración propia.

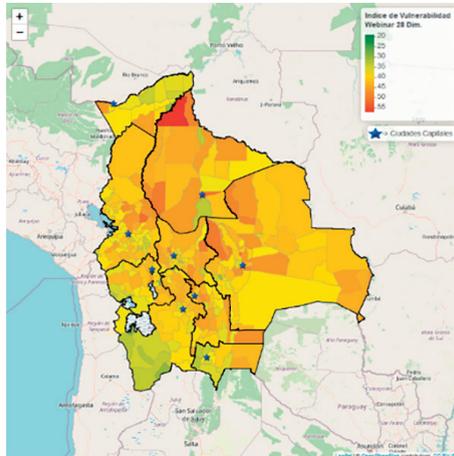
Asimismo, se presentan los mapas de cada uno de los ejercicios realizados en las pruebas de robustez:

Gráfico 2: Mapa del Índice de vulnerabilidad al COVID-19 (basado en 24 indicadores)



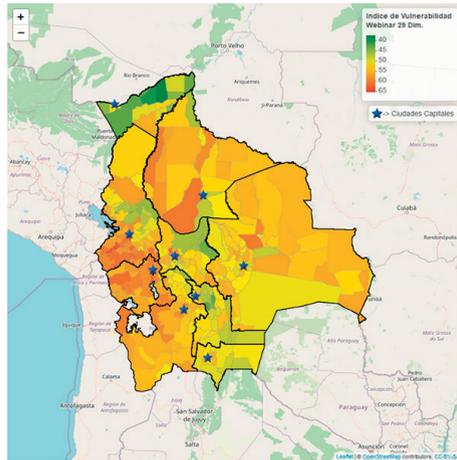
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3: Mapa del Índice de vulnerabilidad al COVID-19 (basado en 28 indicadores)



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 4: Mapa del Índice de vulnerabilidad al COVID-19 (basado en 29 indicadores)



Fuente: Elaboración propia.