



Modelo SC-COSMO: ¿Cómo tomar decisiones ante la pandemia de COVID-19?

Fernando Alarid-Escudero, PhD

Programa de Política de Drogas

Centro de Investigación y Docencia Económicas

fernando.alarid@cide.edu

Agradecimientos



- **Equipo técnico-científico en Stanford**
 - Jeremy Goldhaber-Fiebert, PhD
 - Jason Andrews, MD, MPH
 - Tess Ryckman, PhD(c)
- **Equipo técnico-científico en el CIDE**
 - Andrea Luviano, MD, MPH
 - Hugo Berumen, MPSS
 - Hirvin Diaz, METPOL(c)
 - Profesores CIDE-PPD y CIDE-PANEL
- **Financiamiento**
 - Financiamiento propio
- **No tenemos conflictos de interés**

Publicación de evidencia en tiempo real

Compartiremos información mostrada en esta presentación en **tiempo real** a través de la cuenta twitter

@DecModMex

<https://twitter.com/DecModMex>

Contenido

- Introducción
- Contexto del COVID-19
- Situación actual de COVID-19 en México
- Toma de decisiones en salud pública
- Stanford-CIDE Coronavirus Simulation Model (SC-COSMO)
- Preguntas



Introducción

Introducción

- La **protección de la salud pública** es un bien fundamental para el **desarrollo** de cualquier **sociedad** contemporánea.
- Los **recursos públicos** destinados a los **sistemas nacionales y locales de salud** son **limitados** y suelen ser **insuficientes** para atender la **demanda en situaciones pandémicas**.
- **Proyectar el comportamiento** de una **pandemia** a través de un **modelo matemático** permite **optimizar recursos** y **mejorar la toma de decisiones en salud pública**.



Contexto del COVID-19

Historia Coronavirus

- El **coronavirus** fue aislado en humanos por primera vez en **1965**.
- Sus principales variedades se encuentran bajo control a través de **medidas preventivas**.
- El coronavirus en su más reciente versión, **SARS-CoV-2**, fue descubierto en **China** en **diciembre de 2019** y hasta hoy, 20 de marzo de 2020, ha **infectado a más de 260,000** personas en más de **90 países** y causado más de **11,000 decesos**.

Historia Coronavirus

- Desde al menos el 2007, se advirtió de la posibilidad de una mutación que podría generar una pandemia.

CLINICAL MICROBIOLOGY REVIEWS, Oct. 2007, p. 660-694
(893-8512/07/\$08.00+0 doi:10.1128/CMR.00023-07
Copyright © 2007, American Society for Microbiology. All Rights Reserved.

Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus as an Emerging and Reemerging Infection

Vincent C. C. Cheng, Susanna K. P. Lau, Patrick C. Y. Woo, and Kwok Yu

State Key Laboratory of Emerging Infectious Diseases, Department of Microbiology, Research Centre Immunology, The University of Hong Kong, Hong Kong Special Administrative Region, China

SARS-CoV AS AN AGENT OF EMERGING/REEMERGING INFECTION 683

or immunization (Table 10). The Koch's postulates for SARS-CoV as a causative agent of SARS were fulfilled using cynomolgus macaques (13), which demonstrated clinical and pathological similarities to those found in humans. In contrast, African green monkeys (*Cercopithecus aethiops*) did not develop significant lung pathology with the SARS-CoV. The lack of consistency in models of rhesus, cynomolgus, and African green monkeys or experimental SARS was noted in another review (14). However, these large mammals are expensive and difficult to maintain. BALB/c mice demonstrated asymptomatic infection in lungs and nasal turbinates by intranasal inoculation, which was not significantly different from the findings of immunological Th1-biased C57BL/6 mice that were 12 to 14 months old developed pneumonia, which correlated with the ability to acquire SARS in humans (287). As 1 knockout-immunodeficient mice had fatal SARS (143). Transgenic mice expressing receptors also developed fatal disease, with dissemination to many organs including the brain. It is interesting that mouse-adapted SARS-

SHOULD WE BE READY FOR THE REEMERGENCE OF SARS?

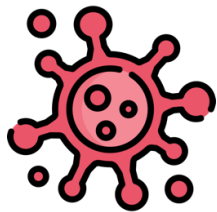
The medical and scientific community demonstrated marvelous efforts in the understanding and control of SARS within a short time, as evident by over 4,000 publications available online. Despite these achievements, gaps still exist in terms of the molecular basis of the physical stability and transmissibility of this virus, the molecular and immunological basis of disease pathogenesis in humans, screening tests for early or cryptic SARS cases, foolproof infection control procedures for patient care, effective antivirals or antiviral combinations, the usefulness of immunomodulatory agents for late presenters, an effective vaccine with no immune enhancement, and the immediate animal host that transmitted the virus to caged civets in the market at the beginning of the epidemic. Coronaviruses are well known to undergo genetic recombination (375), which may lead to new genotypes and outbreaks. The presence of a large reservoir of SARS-CoV-like viruses in horseshoe bats, together with the culture of eating exotic mammals in southern China, is a time bomb. The possibility of the reemergence of SARS and other novel viruses from animals or laboratories and therefore the need for preparedness should not be ignored.

to new genotypes and outbreaks. The presence of a large reservoir of SARS-CoV-like viruses in horseshoe bats, together with the culture of eating exotic mammals in southern China, is a time bomb. The possibility of the reemergence of SARS and other

Cheng VCC, Lau SKP, Woo PCY, et al. Severe acute respiratory syndrome coronavirus as an agent of emerging and reemerging infection. Clin Microbiol Rev 2007;20:660-694.



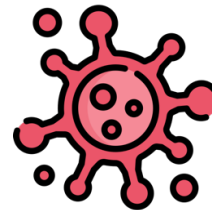
Primer caso de neumonía de causa desconocida en **Wuhan**, provincia de **Hubei** en región de **Huanan, China**.



El virus aislado es un **Betacoronavirus del grupo 2B** muy similar al **SARS-CoV** que causó un brote de **síndrome respiratorio agudo grave (SARS o SRAG)** en el **2002-2003** y en ese momento fue nombrado por la OMS como **2019-nCoV**.

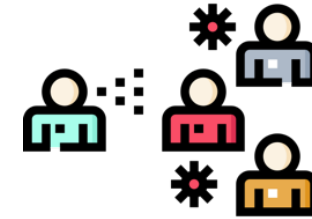


El nuevo nombre de la **enfermedad es enfermedad del coronavirus 2019**, y se abrevia **COVID-19**.



El **Comité Internacional de Taxonomía de Virus**, le dio al nuevo coronavirus el nombre de **coronavirus 2 del síndrome respiratorio agudo grave**, cuya versión acortada es **SARS-CoV-2**.

Transmisión de SARS-CoV-2



- **De persona a persona**

- Entre las personas que tienen **contacto cercano** entre ellas.
- Mediante **gotitas respiratorias** que se producen cuando una **persona infectada tose o estornuda**.
- Estas gotitas **pueden llegar a la boca o la nariz de las personas que se encuentren cerca o posiblemente entrar a los pulmones al respirar**.

- **Contacto con superficies u objetos contaminados**

- Podría ser posible que una persona contraiga el COVID-19 al **tocar una superficie u objeto que tenga el virus y luego se toque la boca, la nariz o posiblemente los ojos**.
- No se cree que esta sea la principal forma en que se propaga el virus.

Prevención de COVID-19



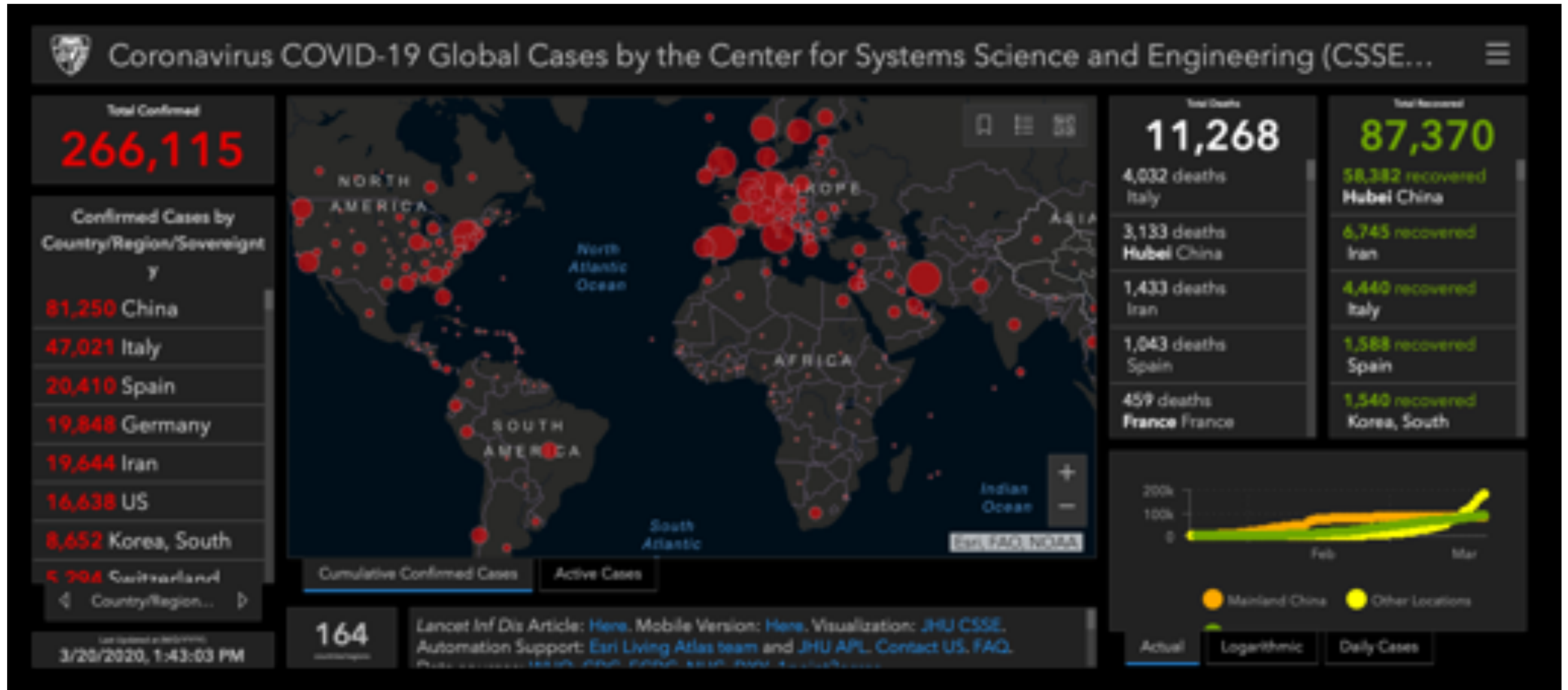
- **Lavarse las manos** frecuentemente con **agua y jabón** por al menos **20 segundos**, especialmente **después de ir al baño, antes de comer, y después de sonarse la nariz, toser o estornudar**.
 - Si no cuenta con agua ni jabón, usar un **desinfectante de manos que contenga al menos un 60% de alcohol**. Lavarse las manos siempre con agua y jabón si están visiblemente sucias.
- **Cubrirse la nariz y la boca** con un **pañuelo desechable** al **toser o estornudar** y luego botarlo a la basura o con la **parte interna del codo**.
- **Evitar el contacto cercano con personas enfermas**.

Prevención de COVID-19



- **Evitar tocarse** los ojos, la nariz y la boca.
- **Quedarse en casa** si está enfermo.
- **Limpiar y desinfectar** los objetos y las superficies que se tocan frecuentemente, usando un producto común de limpieza de uso doméstico en rociador o toallita.

COVID-19 en el mundo



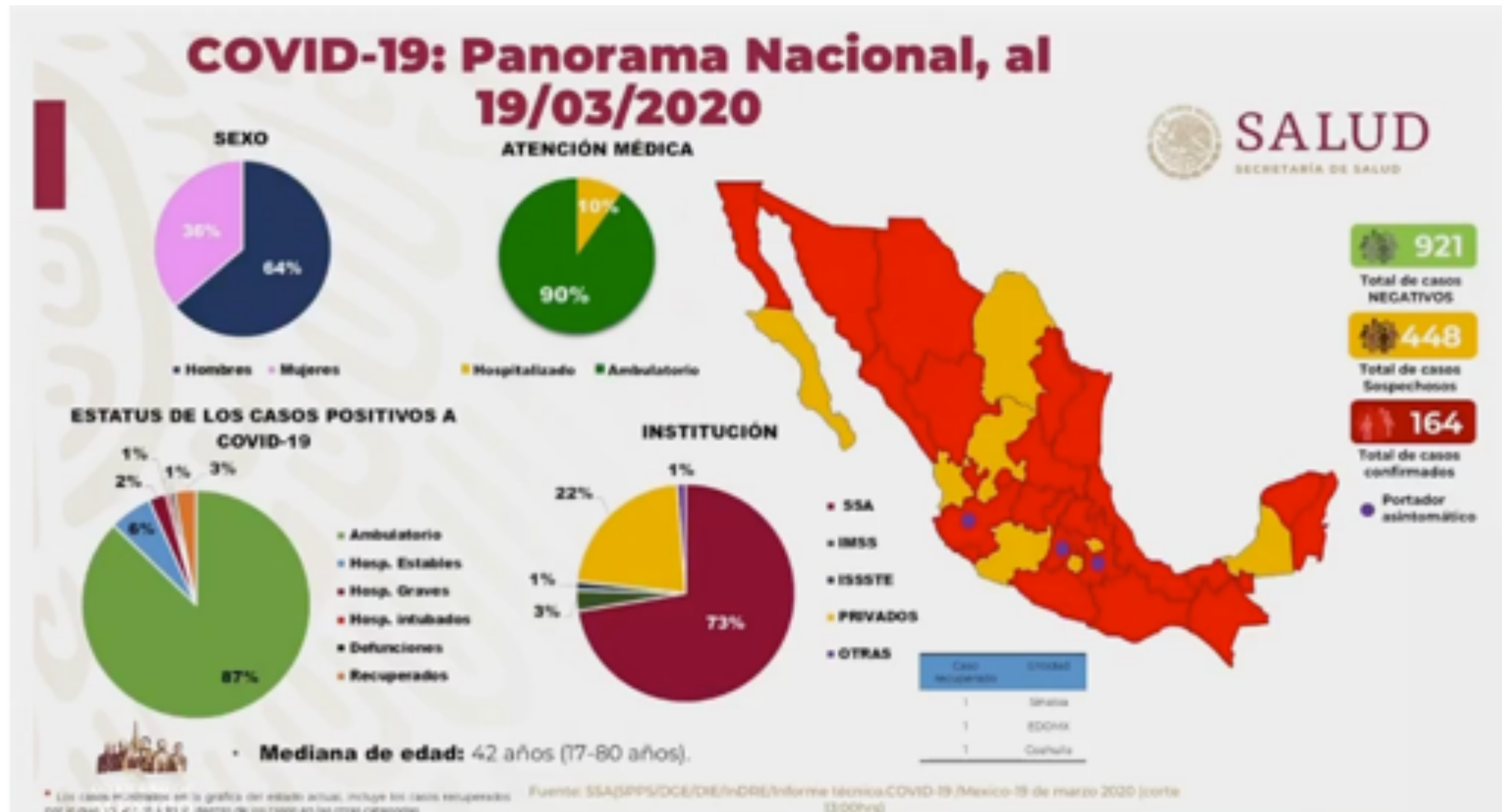


Situación actual de COVID-19 en México

Breve historia

- El **primer caso confirmado** de **COVID-19** en México fue el **27 de febrero de 2020**.
- La primera persona infectada **confirmada** fue un hombre de **35 años**, originario de **Ciudad de México**, quien viajó a **Italia** y regresó a México el **22 de febrero de 2020**.
- El número de **casos confirmados**, **casos sospechosos** y **decesos** se muestra en el siguiente mapa:

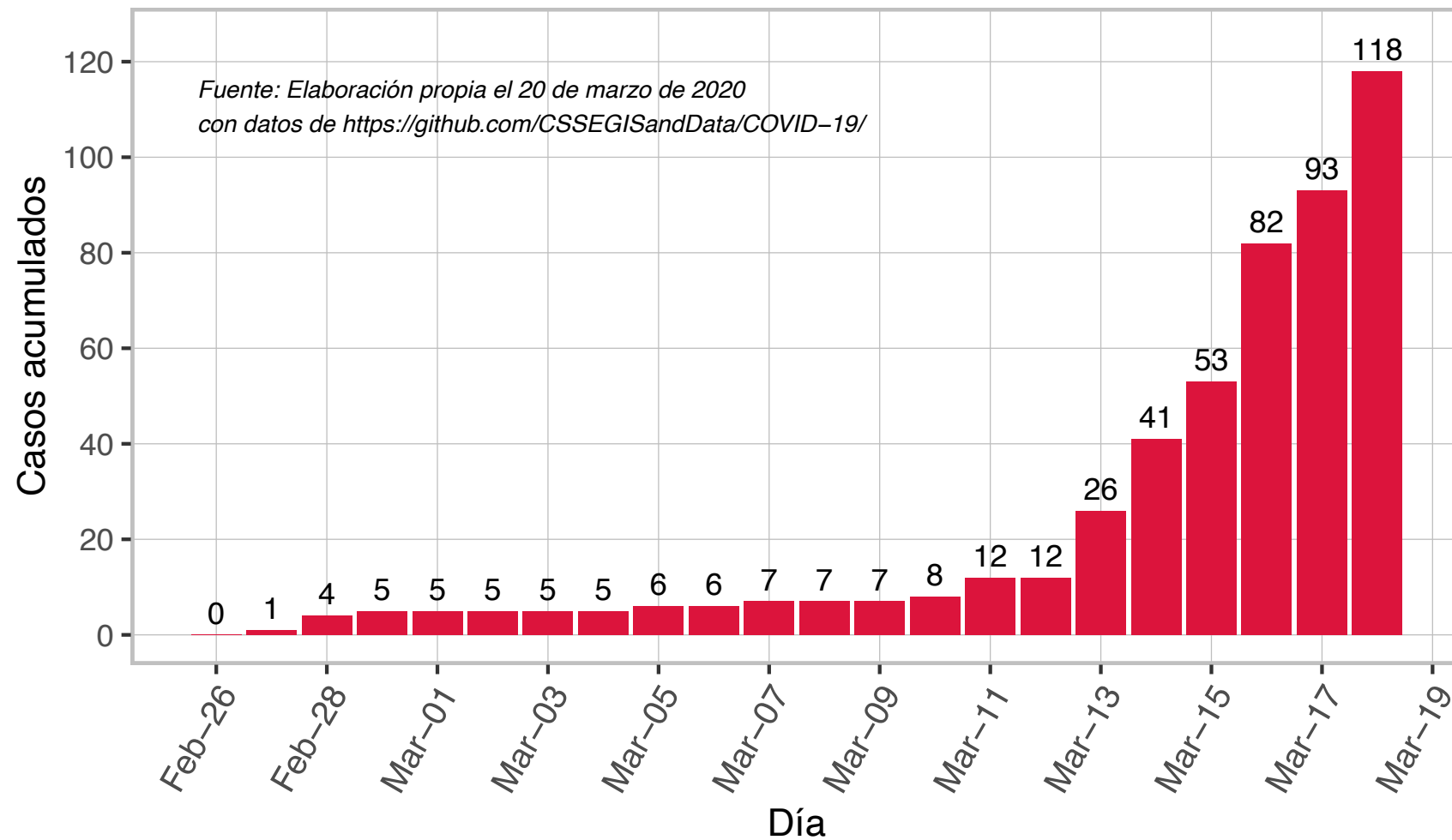
COVID-19 en México



COVID-19 en México

Casos confirmados acumulados de COVID-19 en México

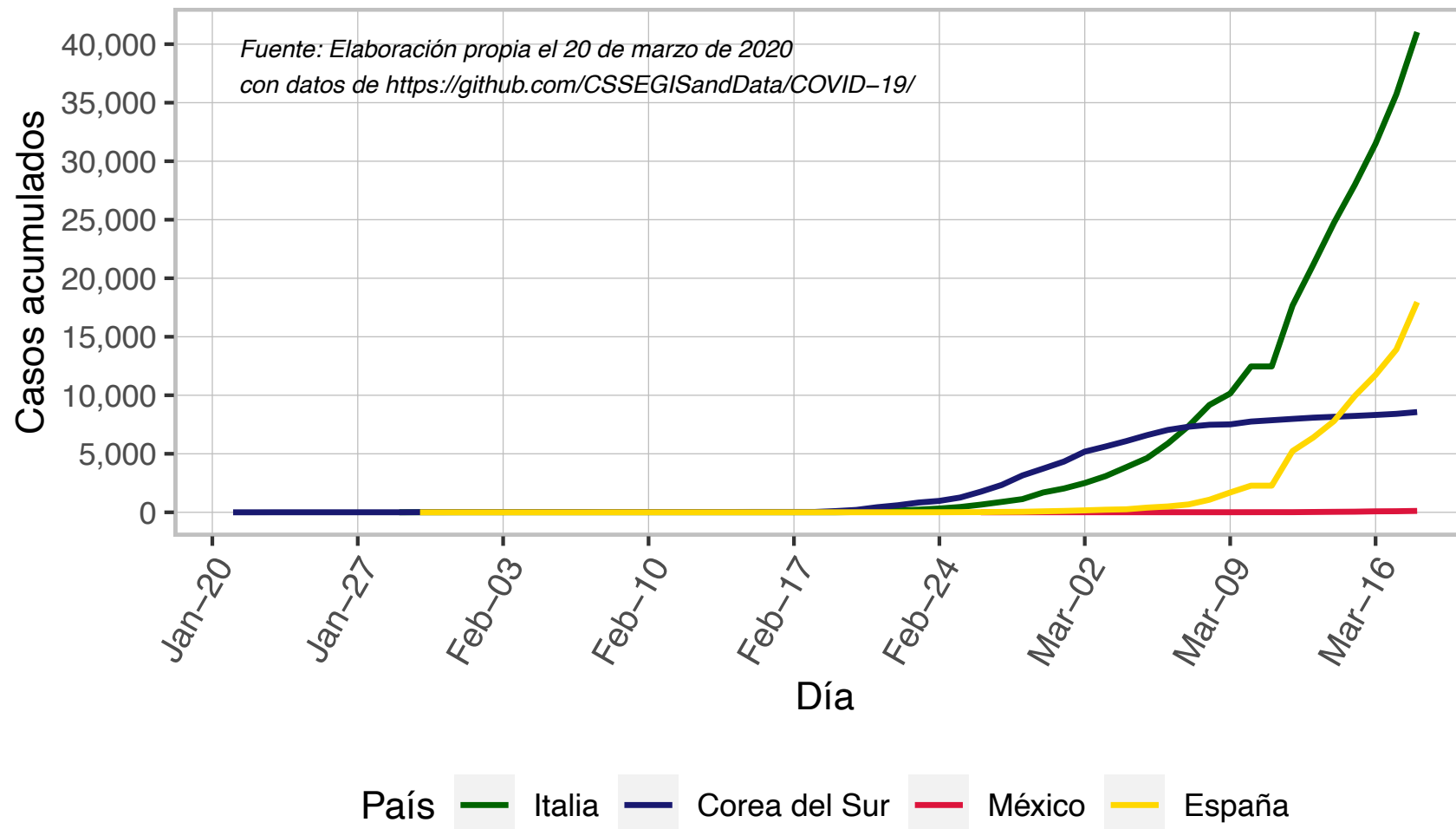
hasta el 18 de marzo de 2020



COVID-19 en México vs. otros países

Casos acumulados de COVID-19 en países seleccionados

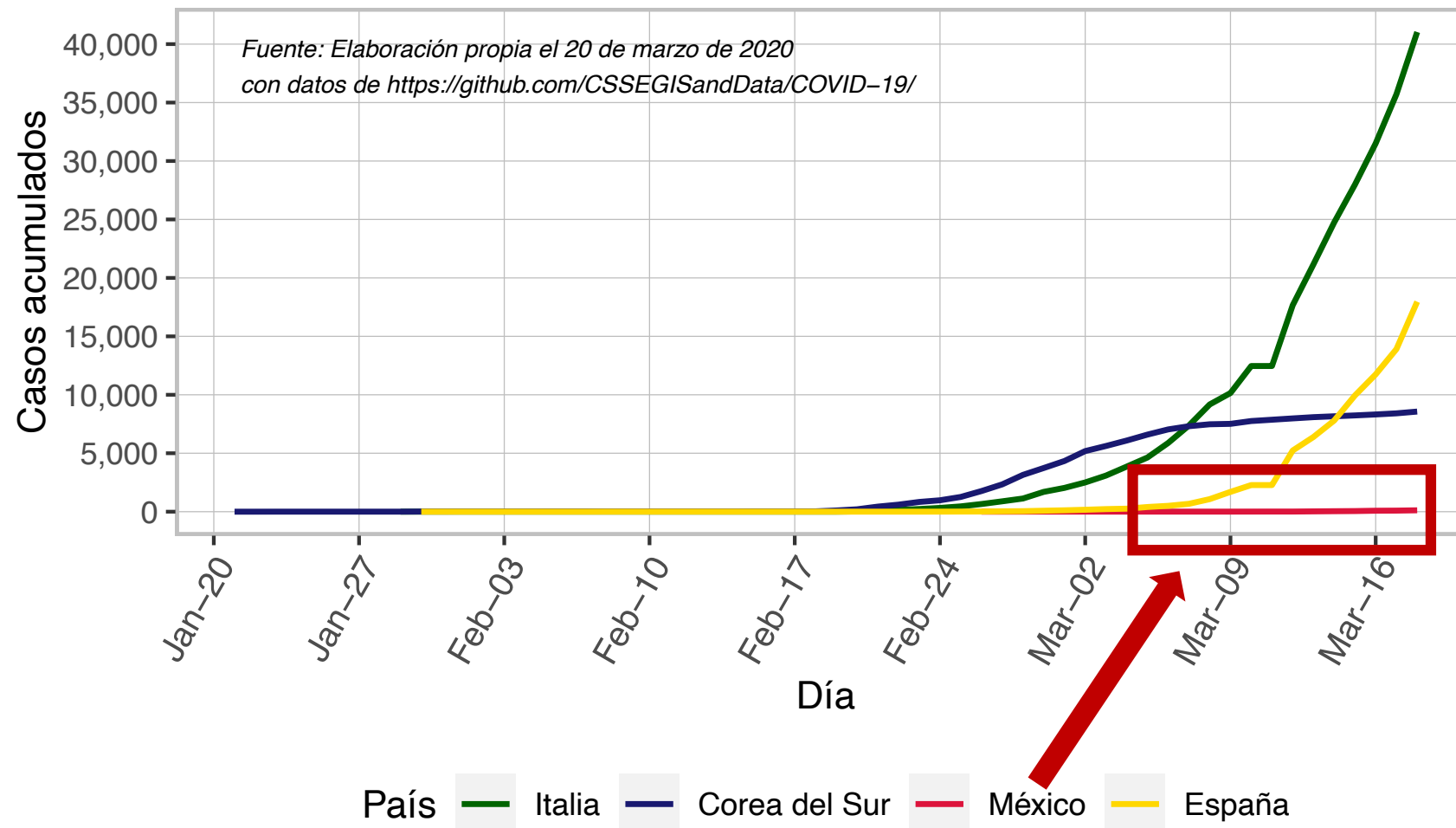
hasta el 18 de marzo de 2020



COVID-19 en México vs. otros países

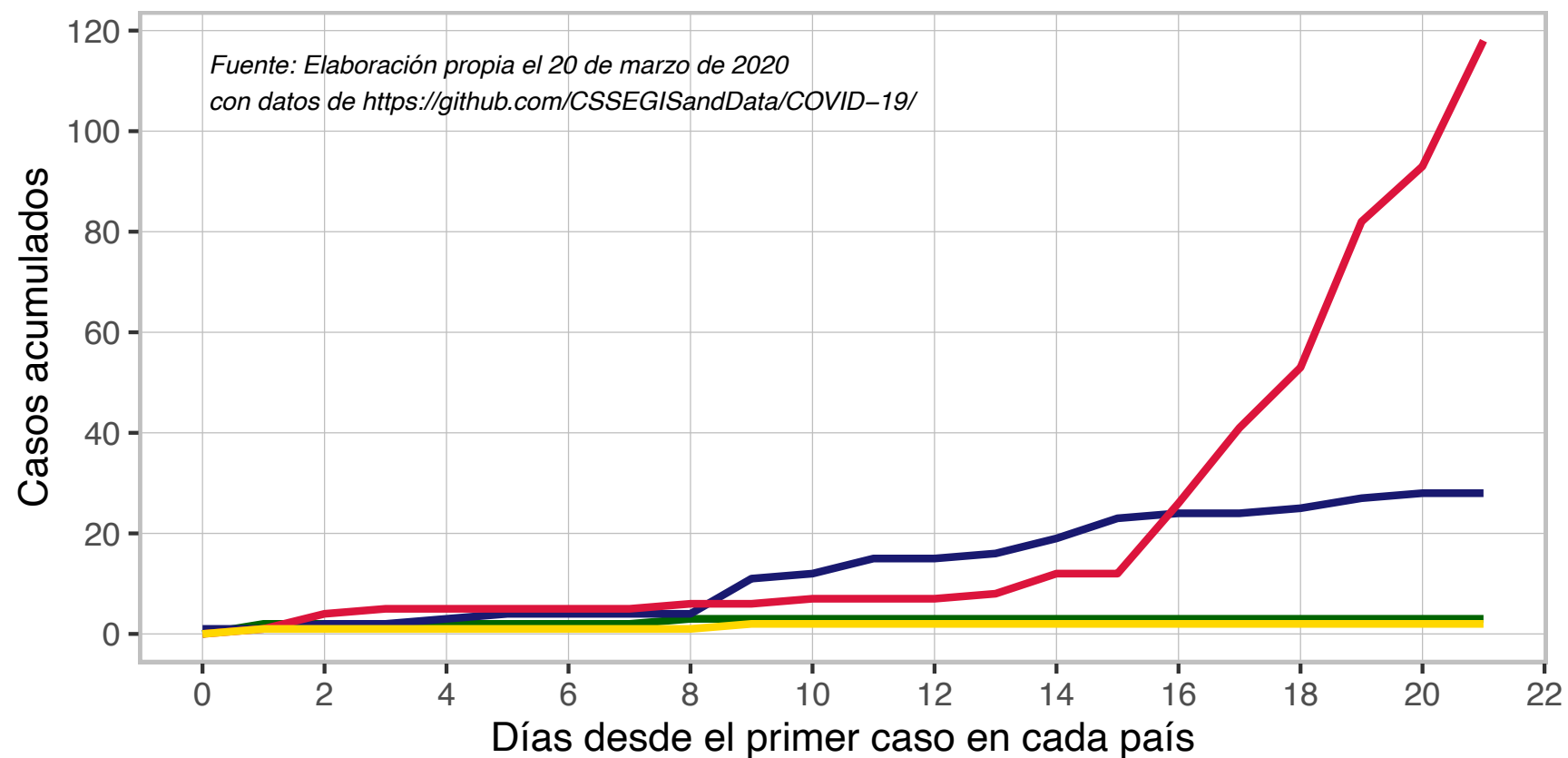
Casos acumulados de COVID-19 en países seleccionados

hasta el 18 de marzo de 2020



COVID-19 en México vs. otros países

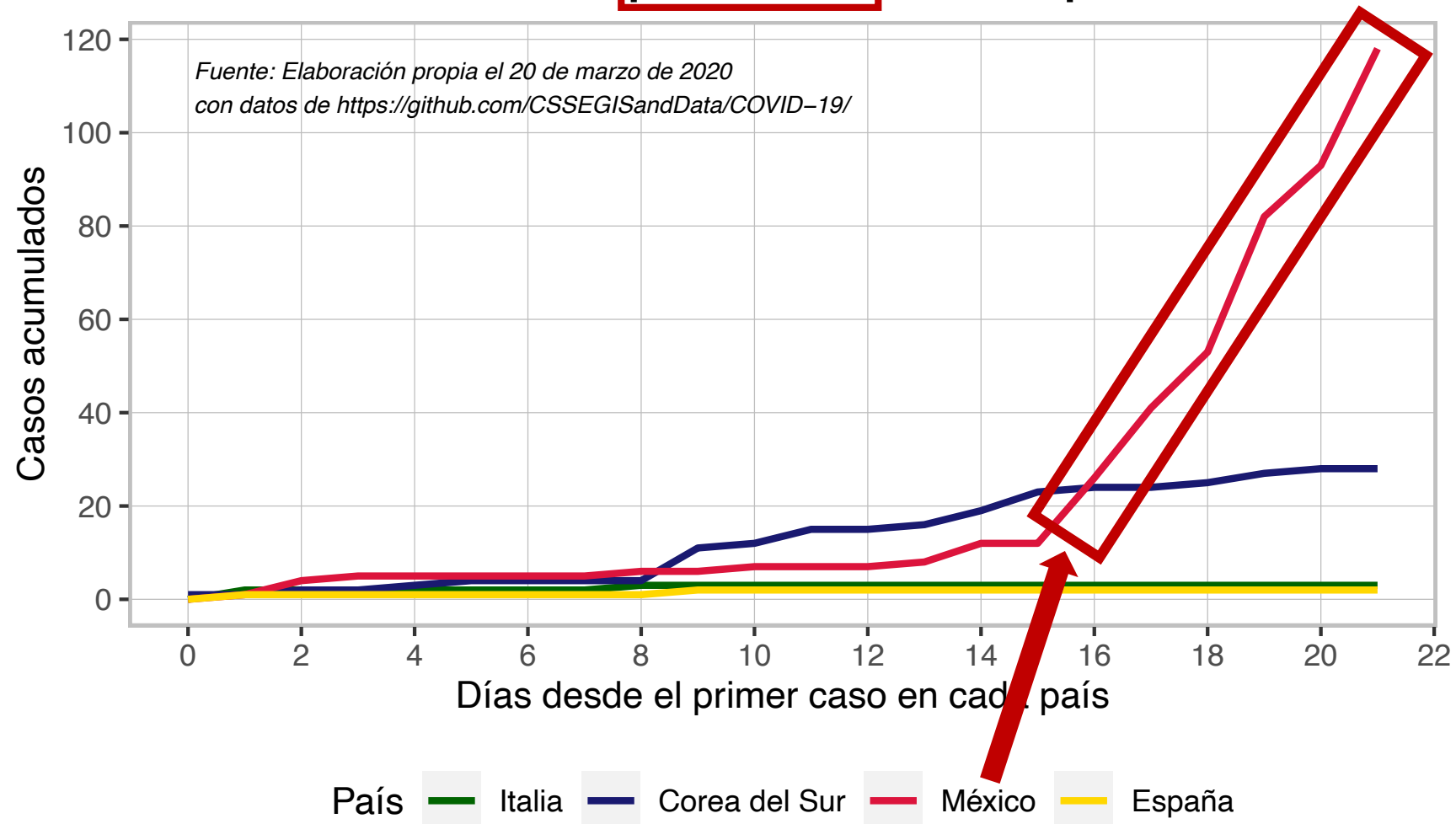
Casos acumulados de COVID-19 en países seleccionados hasta el día 21 desde el **primer caso** en cada país



País — Italia — Corea del Sur — México — España

COVID-19 en México vs. otros países

Casos acumulados de COVID-19 en países seleccionados hasta el día 21 desde el **primer caso** en cada país



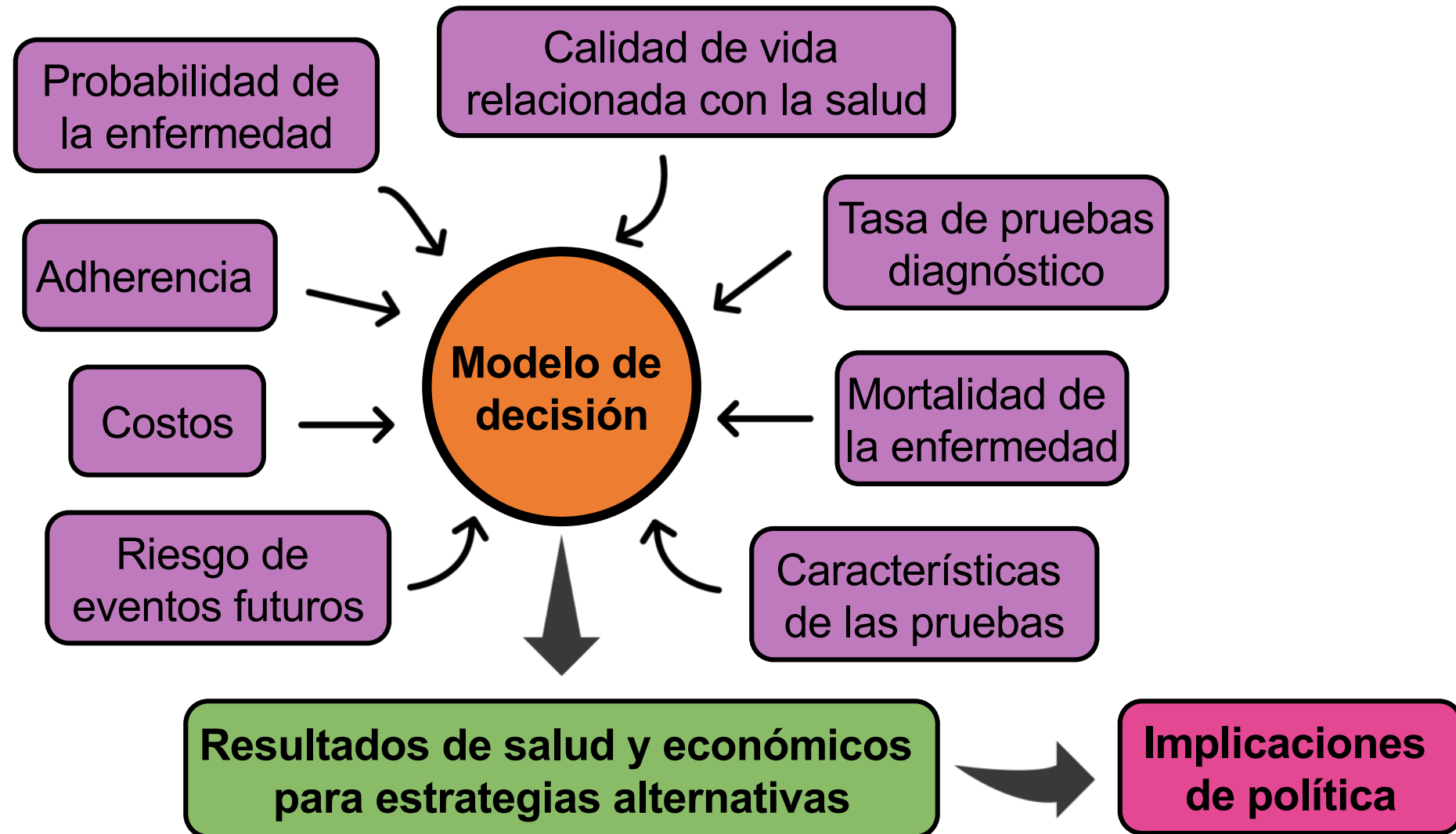
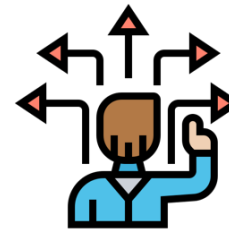


Toma de decisiones en salud pública

¿Cómo tomar decisiones en épocas pandémicas?



Modelos de decisión



Ventajas de los modelos de decisión

Aclara la **toma de decisiones**

Proporciona **marco integral**

Incorporar la mejor **evidencia** disponible

Caracterización explícita y sistemática de la **incertidumbre**

Extrapola las observaciones a **corto plazo** en resultados a **largo plazo**

Extrapola resultados de **ACE** a diferentes **subgrupos de población**

Alienta el análisis de **"qué pasaría si"**

Número básico de reproducción R_0

- R_0 : Representa el **número de infecciones secundarias** que pueden surgir en **promedio de un solo individuo infectado** en una ***población* totalmente susceptible**
- En otras palabras:

$$R_0 = (\textit{tasa de contacto}) \times (\textit{tasa de transmisión}) \times (\textit{periodo de infección})$$

Número básico de reproducción R_0

- R_0 : Representa el **número de infecciones secundarias** que pueden surgir en **promedio de un solo individuo infectado** en una **población totalmente susceptible**

- En otras palabras:

$$R_0 = (\text{tasa de contacto}) \times (\text{tasa de transmisión}) \times (\text{periodo de infección})$$

Diagram illustrating the components of R_0 :

- Conocida** (Known) points to *tasa de contacto* (contact rate).
- No conocida** (Unknown) points to *tasa de transmisión* (transmission rate).
- Conocida** (Known) points to *periodo de infección* (infection period).

Tasa de transmisión

- Por lo general, esta tasa **no se obtiene directamente** sino que se **deriva de modelos epidemiológicos**
- Estos modelos se ajustan a **casos totales** de infección
- **Reto:** Para COVID-19 solo se tienen **casos confirmados**, lo cual es solo una **cota inferior** de los **casos totales**
- **Solución:** Tener información de **tasas diagnósticas** para derivar rangos factibles de **caso totales**

Retos



Faltan datos y mecanismos estructurados para la **toma de decisiones** relacionadas con la pandemia de COVID-19.



Falta de acceso a información fidedigna (por ejemplo, en redes sociales), puede tener consecuencias negativas en la **percepción de la ciudadanía** en cuanto a la **subactuación de las autoridades**.



No se tienen mecanismos para **generar proyecciones de diferentes estrategias** en el mediano o largo plazo para verificar el **impacto en salud y en la economía** de éstas en el **tiempo**.

Stanford-CIDE Coronavirus Simulation Model (SC-COSMO)



Stanford
University

Motivación

- **Falta de modelos de simulación para proyectar desenlaces esperados de estrategias de prevención**
- **Distintos lugares requerirán diferentes estrategias de prevención.**
- **Se necesita un modelo que simule estrategias factibles de prevención de la pandemia COVID19 en México y Estados Unidos atendiendo necesidades a nivel nacional, regional, estatal y municipal.**

Objetivos



- **Objetivo general**

- Generar **acceso a información** disponible en **tiempo real** para generar **proyecciones de diferentes decisiones** que se tomen para combatir la pandemia de COVID19 en México.

- **Objetivos específicos**

1. **Solicitar, recopilar, sintetizar y compartir** abiertamente los **datos** más relevantes y útiles durante la pandemia.
2. Contar con un **modelo** para incorporar nueva información sobre la evolución de la epidemia y hacer **proyecciones** útiles y relevantes para los **tomadores de decisiones**.
3. **Identificar un conjunto de estrategias** factibles y comparar las **consecuencias en salud y económicas** en la población en el mediano y largo plazo

Modelo SC-COSMO



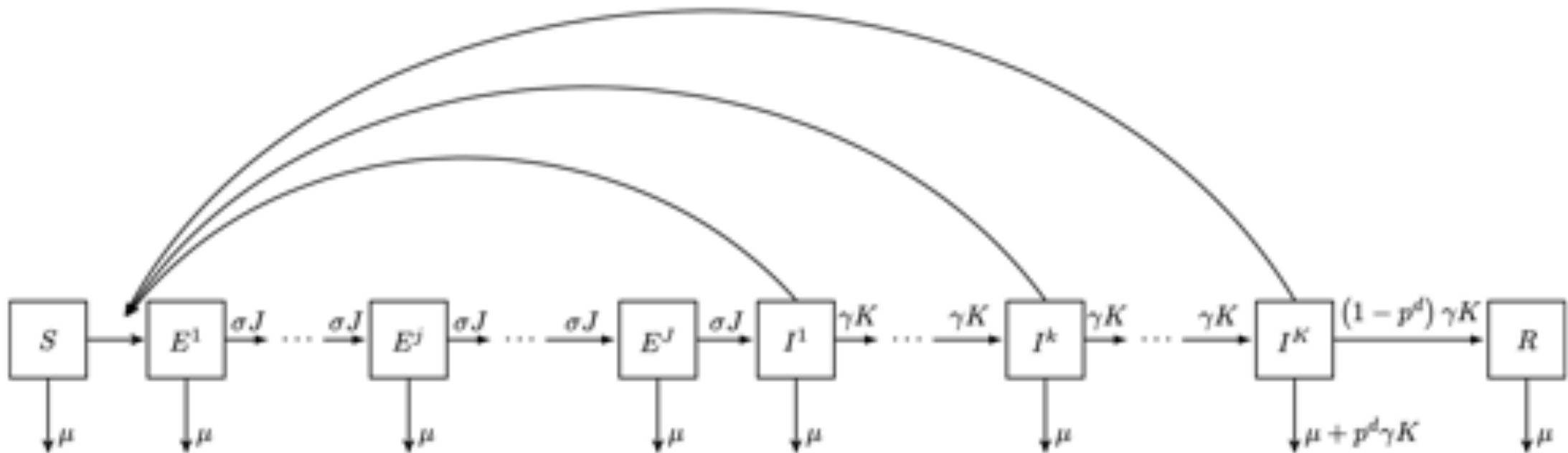
Stanford
University

- El modelo está **programado en R**, lenguaje de **código abierto**.
- Basado en **modelo epidemiológico matemático** de ecuaciones diferenciales.
- Acoplado a un **modelo de intervención**.
- Alimentado por **datos abiertos** disponibles al momento.

Modelo epidemiológico



Diagrama de un **modelo SEIR** (Suceptible, Expuesto, Infeccioso y Recuperado) con J expuestos y K infectados



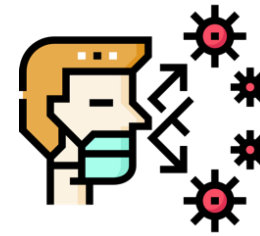
Modelo epidemiológico



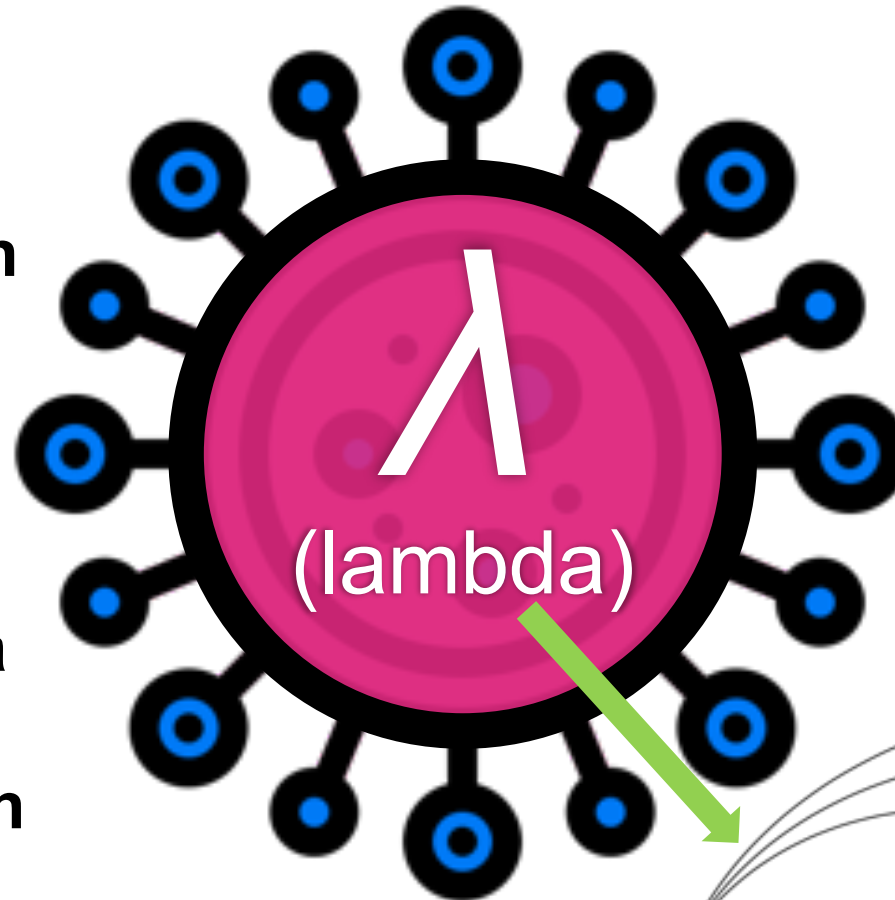
- Para modelar adecuadamente las **dinámicas dependientes de edad** del COVID-19, expandimos el modelo SEIR para incluir una **estructura de edad realista (EER)** y una **mezcla de edad heterogénea**.
- El **modelo EER SEIR** para **COVID-19** se describe en el siguiente sistema de $(3+J+K)N$ ODEs:

$$\begin{aligned}
 \frac{dS_a}{dt} &= -(\lambda_a + \mu_a) S_a, \\
 \frac{dE_a^1}{dt} &= \lambda_a S_a - (\sigma J + \mu_a) E_a^1, \\
 &\vdots \\
 \frac{dE_a^j}{dt} &= \sigma J E_a^{j-1} - (\sigma J + \mu_a) E_a^j, \\
 &\vdots \\
 \frac{dE_a^J}{dt} &= \sigma J E_a^{J-1} - (\sigma J + \mu_a) E_a^J, \\
 \frac{dI_a^1}{dt} &= \sigma J E_a^J - (\gamma K + \mu_a) I_a^1, \\
 &\vdots \\
 \frac{dI_a^k}{dt} &= \gamma K I_a^{k-1} - (\gamma_a K + \mu_a) I_a^k, \\
 &\vdots \\
 \frac{dI_a^K}{dt} &= \gamma_a K I_a^{K-1} - (\gamma K + \mu_a) I_a^K, \\
 \frac{dR_a}{dt} &= (1 - p^d) \gamma K I_a^K - \mu_a R_a,
 \end{aligned}$$

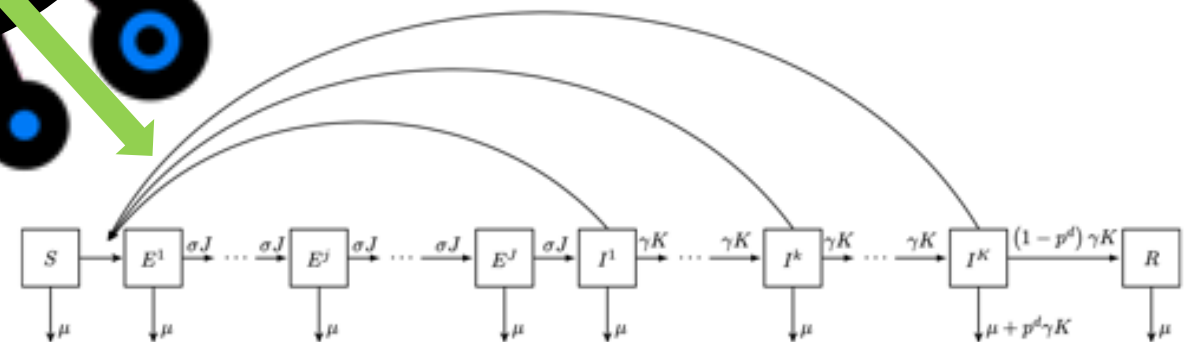
Fuerza de la infección



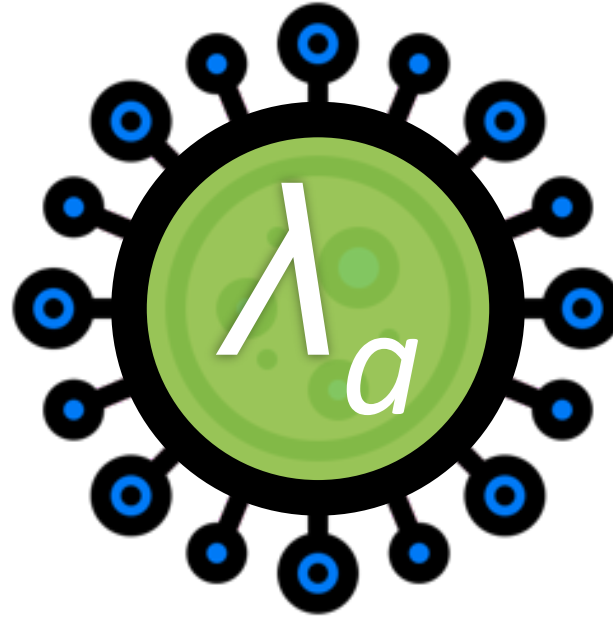
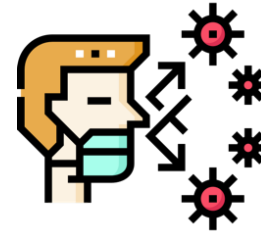
Cantidad clave que gobierna la **transmisión de la infección** entre una población determinada, definido como la **tasa instantánea per cápita** en la que las **personas susceptibles adquieren la infección**



Refleja el **grado de contacto** entre **susceptibles e infectados** y la **transmisibilidad del patógeno** por contacto

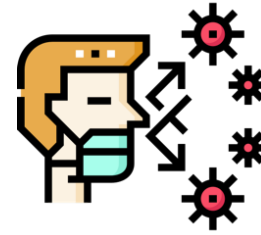


Fuerza de la infección



$\lambda(a)$ de la fuerza de la infección representa la tasa de transmisión de la enfermedad entre las personas infectadas en todos los grupos de edad hacia las personas susceptibles en el grupo de edad a .

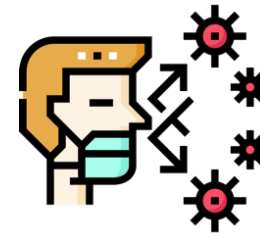
Fuerza de la infección



La fuerza de la infección dependiente de edad del modelo SEIR de **COVID-19** está definida por:

$$\lambda_a = \sum_{a'=1}^N \beta W_{a,a'} I_{a'}, \quad a = 1, \dots, N,$$

Fuerza de la infección



La fuerza de la infección dependiente de edad del modelo SEIR de **COVID-19** está definida por:

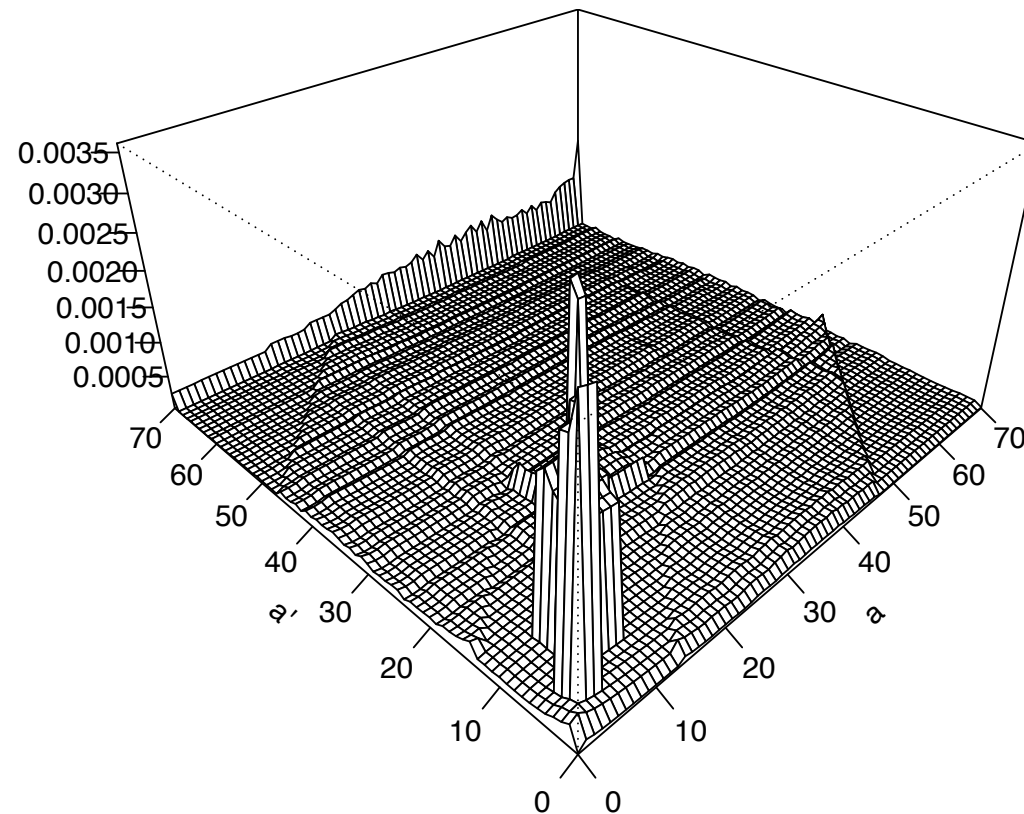
$$\lambda_a = \sum_{a'=1}^N \beta W_{a,a'} I_{a'}, \quad a = 1, \dots, N,$$

$$\lambda = \beta W I$$

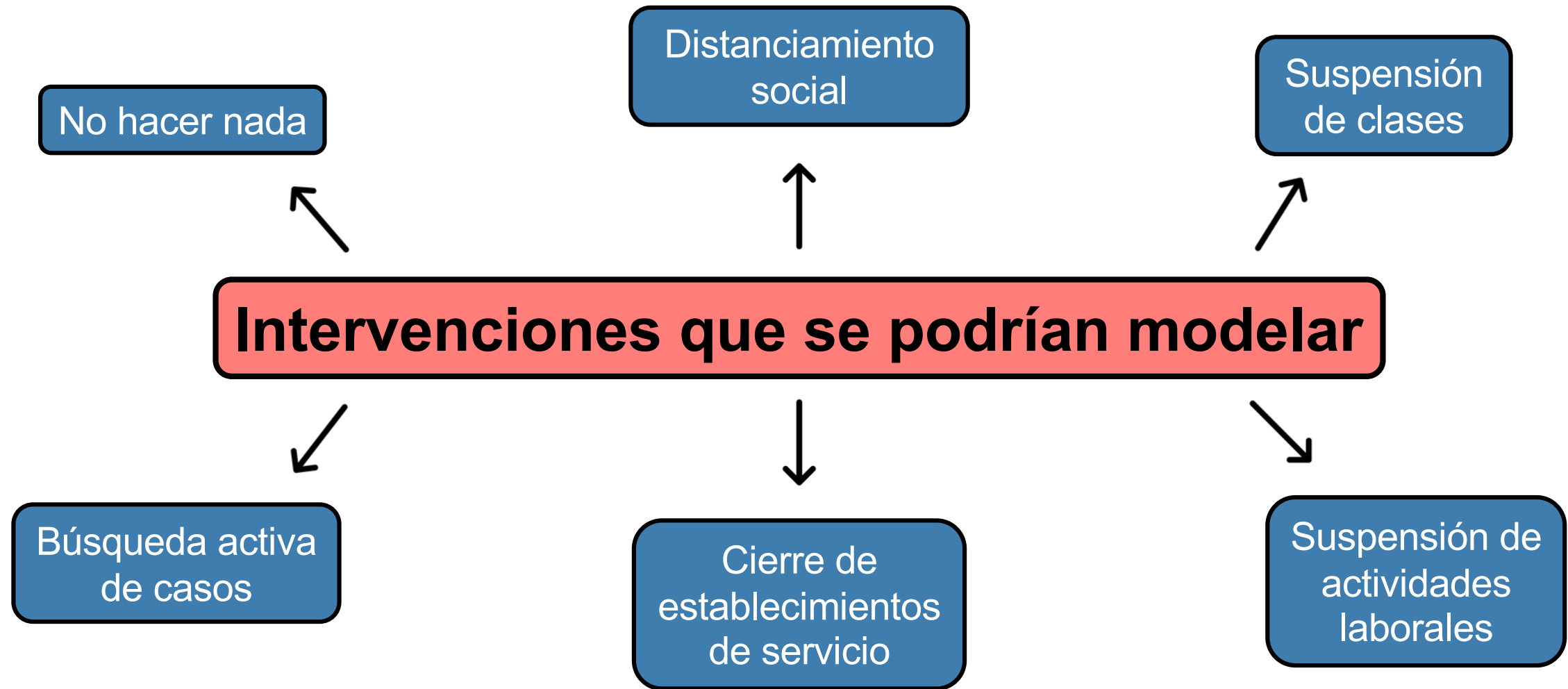
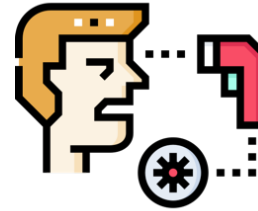
$$\begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_N \end{bmatrix} = \beta \begin{bmatrix} W_{1,1} & W_{1,2} & \cdots & W_{1,N} \\ W_{2,1} & W_{2,2} & \cdots & W_{2,N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ W_{N,1} & W_{N,2} & \cdots & W_{N,N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sum_{k=1}^K I_1^k \\ \sum_{k=1}^K I_2^k \\ \vdots \\ \sum_{k=1}^K I_N^k \end{bmatrix}.$$

Matriz de Quién Adquirió la Infección de Quién (QAIQ)

La matriz **QAIQ** tiene N^2 elementos, que representan la interacción entre cada par de grupos de edad en el modelo.



Alcances del modelo

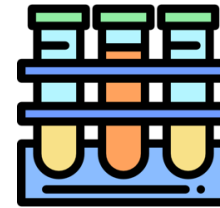


Alcances del modelo



- **Preguntas que se pueden responder:**
 - **Número de individuos enfermos** que requieran servicios de salud en un momento determinado
 - **Demanda máxima** de servicios de salud
 - **Impactos económicos y en salud** de las diferentes intervenciones

Extensiones del modelo



Es necesario determinar qué **áreas necesitan más investigación**



Valor de la información

Permite saber en dónde es **más valioso invertir recursos** para tener **más información** que ayude a mejorar la toma de decisiones

Preguntas

