

# Modelo Macro-SIOD para Colombia

Alvaro J. Riascos<sup>1</sup>    Juan E. Carranza<sup>2</sup>    Juan D. Martin<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad de los Andes y Quantil

<sup>2</sup>Banco de la República

<sup>3</sup>Quantil

24 de agosto de 2020

# ¿Qué Hacemos?

- Introducimos un modelo epidemiológico que permite reproducir bastante bien la dinámica de la enfermedad en Colombia: SIOD (Suceptibles, Infectados, Sobrevivientes y Muertos).
- Insertamos este modelo en un modelo macroeconómico a la Eichenbaum, Rebelo, y Trabandt (2020).
- Calibramos el modelo para ajustar la serie de muertos (i.e., los datos observables más confiables de la epidemia).

# Resultados

- El modelo SIOD sugiere que tener agentes inmunes es cuantitativamente fundamental para obtener dinámicas realistas de la evolución de la enfermedad.

# Resultados

- El modelo SIOD sugiere que tener agentes inmunes es cuantitativamente fundamental para obtener dinámicas realistas de la evolución de la enfermedad.
- El modelo racionaliza la interacción entre agentes de la economía y la dinámica de la enfermedad y sugiere que, en presencia de fenómenos epidemiológicos de esta magnitud, no hace mucho sentido modelar de forma separada la actividad económica y la evolución de la enfermedad.

# Resultados

- El modelo SIOD sugiere que tener agentes inmunes es cuantitativamente fundamental para obtener dinámicas realistas de la evolución de la enfermedad.
- El modelo racionaliza la interacción entre agentes de la economía y la dinámica de la enfermedad y sugiere que, en presencia de fenómenos epidemiológicos de esta magnitud, no hace mucho sentido modelar de forma separada la actividad económica y la evolución de la enfermedad.
- Agentes racionales, con expectativas racionales, internalizan los efectos de la enfermedad y toman acciones, no muy distintas a las forzadas por la cuarentena.

# Resultados

- El modelo SIOD sugiere que tener agentes inmunes es cuantitativamente fundamental para obtener dinámicas realistas de la evolución de la enfermedad.
- El modelo racionaliza la interacción entre agentes de la economía y la dinámica de la enfermedad y sugiere que, en presencia de fenómenos epidemiológicos de esta magnitud, no hace mucho sentido modelar de forma separada la actividad económica y la evolución de la enfermedad.
- Agentes racionales, con expectativas racionales, internalizan los efectos de la enfermedad y toman acciones, no muy distintas a las forzadas por la cuarentena.

# Resultados

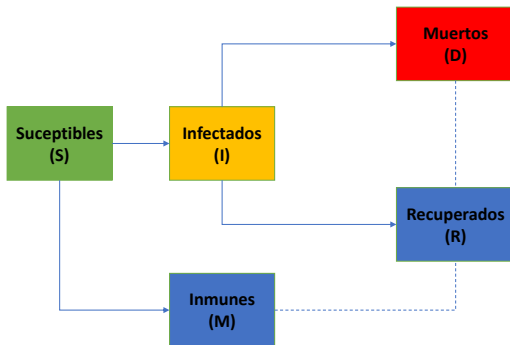
- La inmunidad de rebaño se alcanza con el 43% de la población infectada.
- El pico de muertes semanales se alcanza en agosto. Las muertes disminuyen casi a cero en enero del 2021.
- Para Diciembre de este año tendremos entre 20 y 25 mil muertes por Covid.
- Los infectados están considerablemente subestimados.
- En ausencia de medidas restrictivas (e.g., cuarentena) para diciembre de este año hubieramos tenido entre 30 y 35 mil muertos.

# Resultados

- En términos del valor presente del consumo (78 semanas), tiene un costo de 3.7 % con cuarentena y de 0.95 % sin cuarentena.
- Las medidas restrictivas marginalmente generan un mayor bienestar social que la autoregulación. Esto muestra que las medidas restrictivas entran a corregir el costo de las externalidades.
- El bienestar social de la autoregulación es un límite superior al bienestar en ausencia de medidas restrictivas pues supone agentes racionales y con expectativas racionales (i.e., hipótesis muy fuertes en el contexto socio económico de Colombiano).



# Modelo Epidemiológico



# Modelo Macroeconómico

Se sigue el modelo macroeconómico propuesto por Eichenbaum y cols. (2020), donde:

- Los agentes son racionales (i.e., maximizan su bienestar).
- La tasa de contagio y la evolución de la epidemia dependen de la actividad económica (i.e., consumo y trabajo).
- Existen externalidades de las decisiones de los agentes en la tasa contagio y mortalidad.
- Los agentes anticipan las acciones de política de las autoridades.
- Las medidas restrictivas se modelan como impuestos al consumo.

# Modelo: Flujo de infectatos

Flujo de nuevos infectados:

$$T_t = \pi_1(S_t C_t^S)(I_t C_t^I) + \pi_2(S_t N_t^S)(I_t N_t^I) + \pi_3(S_t I_t), \quad (1)$$

donde:

- $S_t$  y  $I_t$  denotan el stock de susceptibles e infectados, respectivamente, al momento  $t$ .
- $C_t^k$  y  $N_t^k$  son el consumo y horas trabajadas por persona en edad de trabajar en estado  $k = \{S, I\}$ .

# Modelo: Flujo de infectatos

- El stock de infectados evoluciona como sigue:

$$I_{t+1} = I_t(1 - \pi_{dt} - \pi_r) + T_t \quad (2)$$

- Se asume que la tasa de mortalidad,  $\pi_{dt}$ , depende de las restricciones en la capacidad hospitalaria:

$$\pi_{dt} = \pi_d + 1_{\{I_t > \lambda\}} \kappa I_t^2, \quad (3)$$

donde  $\lambda$  representa la capacidad de UCIs disponibles para casos de alto riesgo.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup>Según REPS, este número es aproximadamente 1.7 camas por cada 10 mil habitantes.

# Modelo: Otros estados

- Los stocks de muertes,  $D_t$ , recuperados,  $R_t$ , y susceptibles,  $S_t$  e inmunes,  $M_t$  evolucionan como sigue

$$D_{t+1} = D_t + \pi_{dt} I_t, \quad (4)$$

$$R_{t+1} = R_t + \pi_r I_t, \quad (5)$$

$$S_{t+1} = S_t(1 - \pi_m) - T_t, \quad (6)$$

$$M_{t+1} = M_t + \pi_m S_t, \quad (7)$$

donde  $\pi_m$  es la probabilidad de que un susceptible sea inmune pre-contagio,  $I_0 = \epsilon$  y  $S_0 = Pop_0 - \epsilon$ .

# Modelo: Trabajo y consumo

- Se asume que cada agente maximiza la suma a perpetuidad de su utilidad condicional en su estado actual  $j$  y la probabilidad de pasar a otro estado en el futuro:

$$U_t^j = u(c_t^j, n_t^j) + \beta E[U_{t+1} | j] \quad (8)$$

donde

$$u(c_t, n_t) = \ln c_t - \frac{\theta}{2} n_t^2. \quad (9)$$

Con restricción presupuestal:

$$(1 + \mu_t)c_t^j = \phi^j w_t n^j + \Gamma_t \quad (10)$$

- La probabilidad de un susceptible de ser infectado es:

$$\tau_t = \pi_1(c_t^S)(I_t C_t^I) + \pi_2(n_t^S)(I_t N_t^I) + \pi_3(I_t) \quad (11)$$

# Equilibrio

- En equilibrio el consumo agregado es igual a la producción total:

$$C_t = AN_t$$
$$S_t C_t^S + I_t C_t^I + R_t C_t^R + M_t C_t^M = A(S_t N_t^S + I_t N_t^I + R_t N_t^R + M_t N_t^M) \quad (12)$$

# Datos

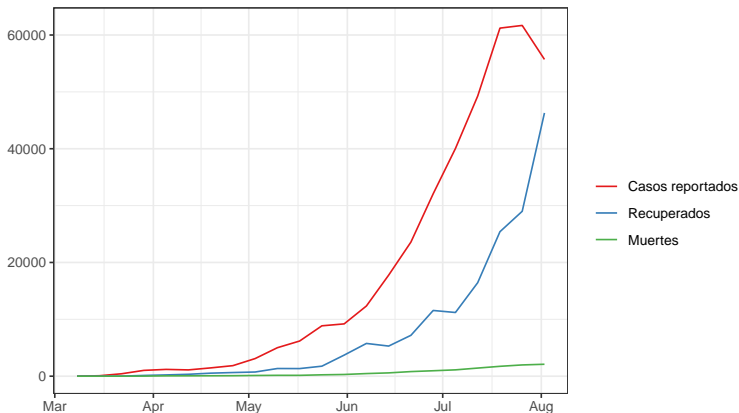


# Datos

Para la calibración de los parámetros del modelo se emplean tanto datos epidemiológicos como macroeconómicos.

- **Epidemiológicos:** Corresponden al seguimiento individual de infectados registrados a nivel nacional entre marzo y agosto de 2020. Suministrados por el Instituto Nacional de Salud (INS),
- **Macroeconómicos:** Cifras agregadas de cuentas nacionales, educación, gasto de los hogares y mercado de trabajo correspondientes al cierre de 2019. Suministrados por DANE y Ministerio de Educación.

# Evolución semanal de la epidemia



La tasa de mortalidad en los casos reportados es de 3.28%.

Fuente: Cálculos propios con base en información del INS.

# Calibración

# Calibración

- Se emplean las series de muertes reportadas por el INS para calibrar los parámetros de la parte epidemiológica del modelo.
- La búsqueda de parámetros se realiza en un contexto con restricciones (cuarentena), es decir  $\mu_t > 0$ . Asumiendo que  $\mu_t$  es función de una tasa constante  $\mu$ .
- Los parámetros que se calibran con este método son:  $\pi_d$ ,  $\pi_r$ ,  $\pi_m$  y  $\mu$ , así como el porcentaje límite de infectados, que denotamos  $\psi$ .
- Para los otros parámetros se sigue la estrategia de Eichenbaum y cols. (2020) con los datos colombianos.

## Calibración - Función de criterio

- Se minimiza (eligiendo  $\hat{\mu}, \hat{\pi}_d, \hat{\pi}_r, \hat{\pi}_m, \hat{\psi}$  - el porcentaje de infectados hasta alcanzar inmunidad de rebaño):


$$\sum_{t=t_a}^{t_b} (D_t - \hat{D}_t)^2, \quad (13)$$

donde  $\hat{D}_t$  son las muertes semanales acumuladas que predice el modelo,  $t_a$  y  $t_b$  denotan las semanas inicial y final, respectivamente, de la ventana de tiempo empleada.

# Calibración - Ventana de datos

- Se toma  $t_a = 13$  observada (2da semana de abril), descartando las primeras 8 semanas por posibles errores de medición y asumiendo que la epidemia en Colombia comienza 4 semanas antes del primer caso reportado<sup>2</sup>
- Mientras que  $t_b = 29$  (2da semana de agosto), después de descartar la última semana observada, para evitar posibles errores de medición.

---

<sup>2</sup>Informe de Datos Vitales, 1er trimestre de 2020, DANE. 

# Calibración - Estructura de la cuarentena

Para la cuarentena se sigue la siguiente estructura:

- **Inexistente** ( $\mu_t = 0$ ): Desde  $t = 0$  (enero 19) hasta  $t = 9$  (marzo 22).
- **Constante positiva** ( $\mu_t = \mu$ ): Desde  $t = 10$  (marzo 23) hasta  $t = 32$  (agosto 30)
- **Gradual decreciente** ( $\mu_t = 0.9\mu_{t-1}$ ): Desde  $t = 33$  (agosto 31) hasta el final del horizonte.

# Calibración - Resultados

Parámetro	Valor
$\pi_d$	0.0011
$\pi_r$	0.8971
$\pi_m$	0.0071
$\psi$	0.4335
$\mu$	0.1634



**Resultados:** Bondad de ajuste, Dinámica modelo epidemiológico, Efectos macroeconómicos, Efectos de la cuarentena.

# Resultados - Ajuste muertes

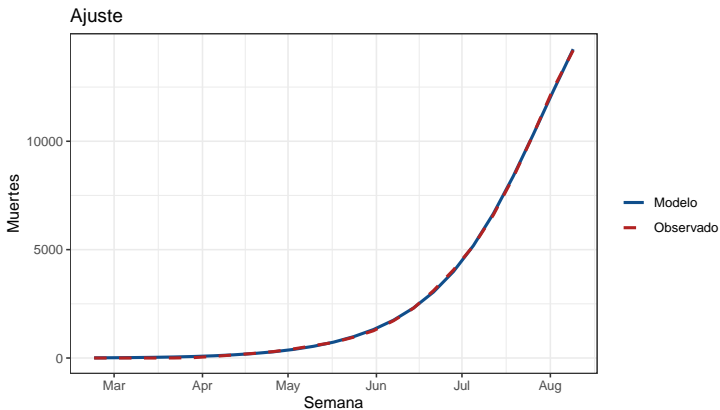


Figura 1

# Resultados - Modelo SIOD

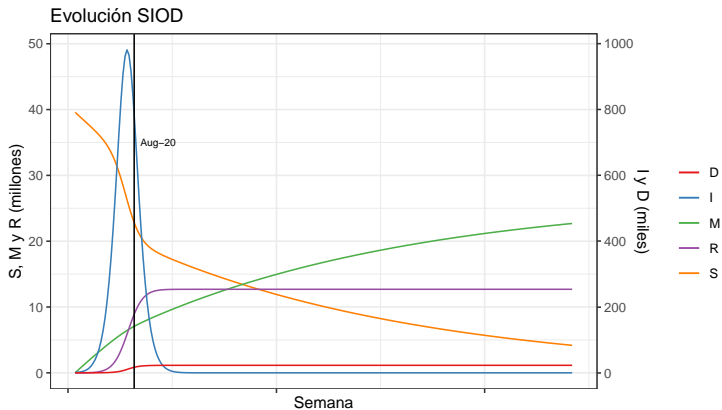
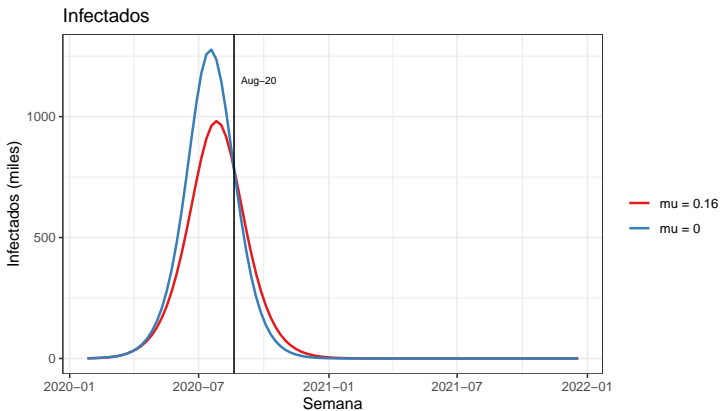


Figura 2

# Resultados - Infectados



**Figura 3:** Línea roja corresponde a la dinámica con medidas restrictivas (i.e., con cuarentena). Línea azul corresponde a lo que hubiera pasado sin medidas restrictivas.

# Resultados - Muertes Semanales

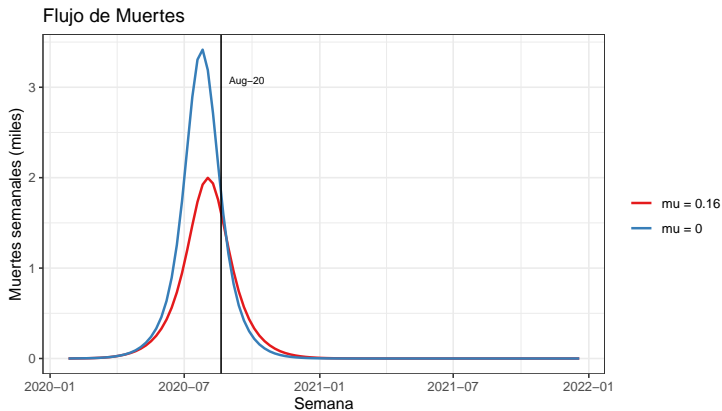


Figura 4: Línea roja corresponde a la dinámica con medidas restrictivas (i.e., con cuarentena). Línea azul corresponde a lo que hubiera pasado sin medidas restrictivas.

# Resultados - Muertes Acumuladas

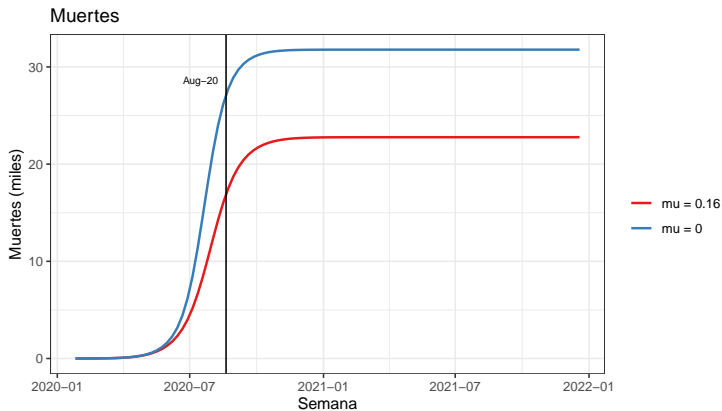
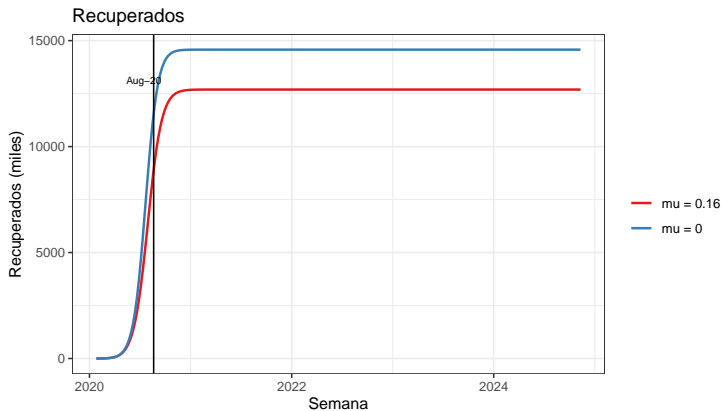


Figura 5: Línea roja corresponde a la dinámica con medidas restrictivas (i.e., con cuarentena). Línea azul corresponde a lo que hubiera pasado sin medidas restrictivas.

# Resultados - Recuperados



**Figura 6:** Línea roja corresponde a la dinámica con medidas restrictivas (i.e., con cuarentena). Línea azul corresponde a lo que hubiera pasado sin medidas restrictivas.

# Resultados - Inmunes

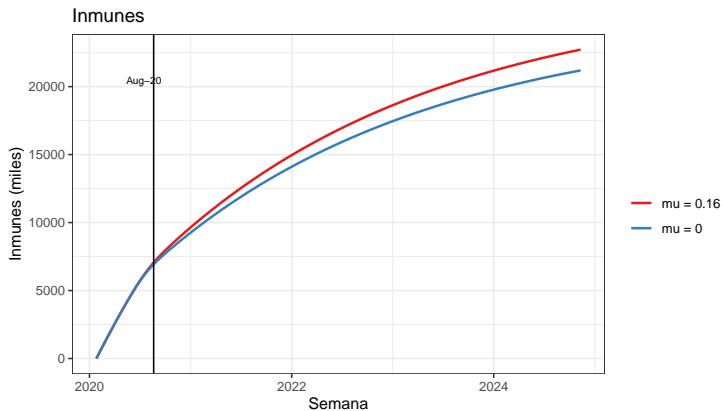
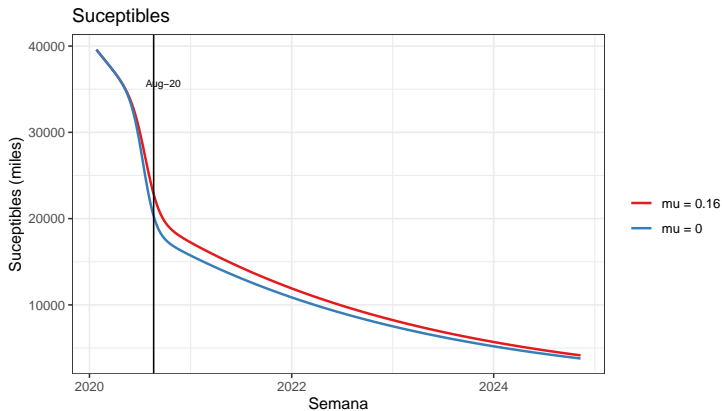


Figura 7: Línea roja corresponde a la dinámica con medidas restrictivas (i.e., con cuarentena). Línea azul corresponde a lo que hubiera pasado sin medidas restrictivas.

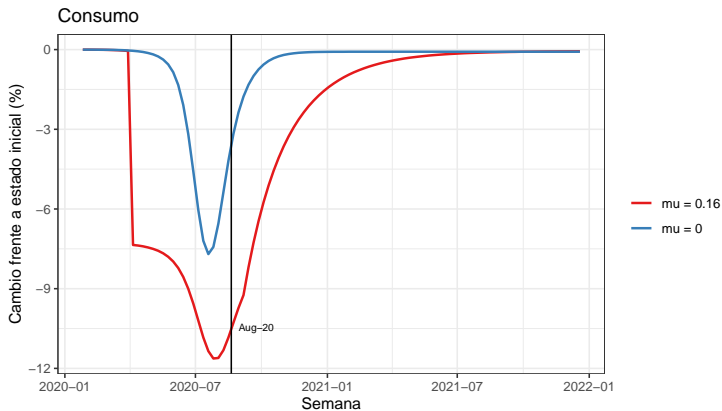


# Resultados - Suceptibles



**Figura 8:** Línea roja corresponde a la dinámica con medidas restrictivas (i.e., con cuarentena). Línea azul corresponde a lo que hubiera pasado sin medidas restrictivas.

# Resultados - Cambio en el consumo



**Figura 9:** Línea roja corresponde a la dinámica con medidas restrictivas (i.e., con cuarentena). Línea azul corresponde a lo que hubiera pasado sin medidas restrictivas.

# Referencias

Eichenbaum, M. S., Rebelo, S., y Trabandt, M. (2020). *The macroeconomics of epidemics*. (NBER Working paper)