

Documentación del Modelo SEIR

Páez & Ruiz

2025-09-03

Introducción

El presente documento (en desarrollo) presenta la documentación referida a la app “Prototipo Tablero Epidemiológico SEIR - Argentina”.

Estructura de la app Shiny

- Modularización
 - global.R: contiene las librerías necesarias para la app, y las configuraciones iniciales del modelo (parámetros epidemiológicos, simulación de recursos, fechas de inicio y fin de la simulación).
 - mod_model.R: implementa la lógica del modelo SEIR
 - mod_server.R: define la lógica del servidor de la aplicación y orquesta los módulos de datos, modelo y visualización.
 - mod_data.R: simula la ingesta de datos y proporciona un conjunto de datos estructurado para la utilización en el resto de los módulos.
 - mod_viz.R: genera las visualizaciones interactivas.
 - mod_ui.R: define la interfaz de usuario.

Parámetros Epidemiológicos

Parámetros base

Parámetro	Valor inicial	Fuente o justificación	Decisión actual
Población total	45.000.000	Proyecciones de población - INDEC	Aproximado población Argentina
R	2,5	IECS modelo base	Ajustable por UI
IFR	0,01	Valor global estimado	Ajustable por UI
Período de incubación	5 días	CDC/OMS promedio	Ajustable por UI
Período infeccioso	7 días	Estudios clínicos	Ajustable por UI

Opciones

R Dinámico vs. Fijo R , o número básico de reproducción, estima el número promedio de infecciones generadas por una persona en el período infeccioso. Puede utilizarse un valor estimado fijo (en este caso, 2.5) o bien, tal como ocurre en el modelo IECS, adoptar una fórmula dinámica que permita calcular en base a la evolución de la incidencia de exposición.

Fórmula utilizada en IECS

$$R_0 = \left(E_{t+1} - E_t + \frac{E_t}{\lambda_E} \right) \left(\frac{\lambda_I \cdot N}{I_t \cdot S_t} \right)$$

Donde:

- E_t, E_{t+1} : número de expuestos en días consecutivos
- λ_E : duración media del período pre-infeccioso
- λ_I : duración media del período infeccioso
- N : población total
- I_t : cantidad de infectados actuales
- S_t : cantidad de susceptibles actuales

Por ahora se mantiene la estimación fija de R como parámetro inicial. La opción dinámica queda documentada como para, eventualmente, incorporar en el server y/o habilitar desde la UI.

IFR global vs. IFR por grupo etario El **IFR (Infection Fatality Rate, o tasa de fatalidad por infección)** representa la proporción de personas infectadas que fallecen a causa de la enfermedad. A diferencia del **CFR (Case Fatality Rate)**, que se calcula sólo sobre los casos detectados, el IFR intenta reflejar la letalidad real incluyendo también los casos no detectados (asintomáticos, no testeados, etc.).

- En modelos básicos, se suele usar un valor **global fijo** (por ejemplo, 0.01 o 1%).
- En modelos más complejos, el IFR se puede segmentar por grupo etario.

Actualmente se usa un IFR global como valor por defecto en el modelo (0.01).

Parámetros de Recursos Sanitarios

Parámetros base

Parámetro	Valor inicial	Fuente o justificación	Decisión actual
Tasa de infectados que requieren UCI (ICU_RATE)	0.136	Estimación IECS adaptada a Argentina (13,6%)	Ajustable por UI

Parámetro	Valor inicial	Fuente o justificación	Decisión actual
Tasa de infectados que requieren ventilador (VENTILATOR_RATE)	0.02	Estimación conservadora en base a estudios internacionales (2-3% de infectados totales)	Ajustable por UI
Estadía hospitalaria promedio (HOSPITAL_STAY_DAYS)	10 días	Modelo IECS, en base a datos publicados por CDC	Default
Capacidad inicial de camas UCI (ICU_CAPACITY)	6000	Estimación basada en SATI	Ajustable por UI
Disponibilidad inicial de ventiladores (VENTILATOR_AVAILABILITY)	2000	Estimación basada en SATI	Ajustable por UI
Personal de salud inicial (HEALTHCARE_STAFF)	10.000	Valor acotado para simular personal directamente vinculado a atención COVID-19 en escenarios críticos. Se estima que Argentina tiene ~1.2M trabajadores en salud en total (en todas las funciones)	Ajustable por UI

Dinámica del Modelo SEIR

El módulo `mod_model.R` define las ecuaciones diferenciales ordinarias (EDOs) que rigen el modelo SEIR. La población se divide en cuatro compartimentos:

- S (Susceptibles)
- E (Expuestos)
- I (Infectados)
- R (Recuperados)

Ecuaciones utilizadas:

$$\begin{aligned}
 \frac{dS}{dt} &= -\beta \cdot \frac{S \cdot I}{N} \\
 \frac{dE}{dt} &= \beta \cdot \frac{S \cdot I}{N} - \sigma \cdot E \\
 \frac{dI}{dt} &= \sigma \cdot E - \gamma \cdot I \\
 \frac{dR}{dt} &= \gamma \cdot I
 \end{aligned}$$

Donde:

- N = Población total
- $\beta = \frac{R_0}{\gamma}$ = tasa de infección

- $\sigma = \frac{1}{\lambda_E} =$ tasa de progresión de incubación
- $\gamma = \frac{1}{\lambda_I} =$ tasa de recuperación

Esta versión del modelo puede, eventualmente, segmentarse por severidad (leve, severo, crítico) o por grupos etarios.

Cálculo de R efectivo

- **effective_R0:** Se implementa una reducción simplificada de R basada en política sanitaria. Por ejemplo, frente a un nivel de cumplimiento del 100%, el R se reduce en un 50.

Resolución del sistema SEIR: Se utiliza `deSolve::ode()` para integrar el sistema de ecuaciones diferenciales, con:

- `initial_state:` valores de S, E, I, R al tiempo cero
- `parameters:` conjunto de parámetros claves (`effective_R0`, `incubation_period`, `infectious_period`)
- `times:` vector de tiempos extraído desde `raw_data_df()`

Resultados del modelo

Se construye un `results_df` con:

- Casos diarios (`Daily_New_Infections`) y acumulados (`Cumulative_Cases`)
- Muertes simuladas (`Daily_Deaths`, `Cumulative_Deaths`) usando IFR
- Demanda diaria de recursos críticos:
 - `ICU_Daily_Demand` = $I \times \text{tasa_UCI}$
 - `Vent_Daily_Demand` = $I \times \text{tasa_ventilador}$
- Simulación de ocupación por rolling sum:
 - `ICU_Occupancy_Sim` = acumulado en ventana móvil de `hospital_stay_days`
 - `Vent_Usage_Sim` = idem para ventiladores

Este cálculo es una simplificación. Un modelo más avanzado podría incorporar retrasos (lag), colas (queueing models) o tiempos individuales de atención.

Decisiones clave

- Las variables de capacidad (`icu_capacity`, `ventilator_availability`) se manejan por separado en el módulo de visualización.
- La saturación de recursos se evalúa comparando `ICU_Occupancy_Sim` vs. capacidad.
- Todos los parámetros son ajustables desde UI, lo que permite simular distintos escenarios sanitarios.

Mejoras posibles

- Modelar contagio entre segmentos (edad, severidad).
- Agregar compartimentos clínicos: hospitalizado, crítico, fallecido.
- Incorporar grupos geográficos.

Arquitectura del módulo `mod_server.R`

Este módulo centraliza la lógica de la app Shiny. Su función es orquestar la interacción entre:

- Inputs del usuario (`input`)
 - Parámetros internos (`app_params`)
 - Módulos de simulación (`data_sim`, `seir_model`)
 - Módulo de visualización (`main_viz`)
-

Módulo `mod_data.R`: Inicialización de Datos

Este módulo simula la ingesta de datos epidemiológicos y genera una estructura estándar para la simulación del modelo SEIR.

Estado inicial simulado

Se simula una población inicial mayormente susceptible, con 10.000 individuos ya infectados. Este `dummy_data` se pasa al módulo `model_seir_server` como `raw_data_df`

El modelo lee los valores iniciales (S, E, I, R) desde el día `time == 0`

El resto de las columnas son sobrescritas por el resultado del modelo

Futuras extensiones

En lugar de generar datos simulados, el módulo podría:

- Leer archivos `.csv`, `.xlsx` con datos reales
- Consultar una API (p.ej., `datos.gob.ar`)
- Aplicar lógica de limpieza / imputación de datos para calibrar el modelo

Decisión actual

Se mantiene la estructura simulada para el prototipo, asegurando compatibilidad con el modelo SEIR. El módulo está preparado para integrar datos reales en versiones posteriores.

Módulo `mod_viz.R`: Gráficos Interactivos

Este módulo renderiza tres visualizaciones basadas en los datos simulados por el modelo SEIR. Todas se actualizan dinámicamente al cambiar los parámetros o al ejecutar una nueva simulación.

1 Dinámica SEIR (`seir_plot`)

Visualiza la evolución temporal de los cuatro compartimentos del modelo:

Compartimento	Color	Descripción
S (Susceptibles)	Verde	Personas aún no infectadas
E (Expuestos)	Amarillo	Personas incubando el virus
I (Infectados)	Rojo	Personas que contagian
R (Recuperados)	Azul	Personas que ya no contagian

2 Casos y Muertes Acumuladas (`cases_deaths_plot`)

Métrica	Color	Descripción
Casos acumulados	Naranja	Suma de nuevas infecciones
Muertes acumuladas	Gris	Suma de muertes simuladas por IFR

- Gráfico de líneas con acumulativos
- Permite monitorear evolución de impacto total

3 Presión sobre Recursos Críticos (`resource_pressure_plot`)

Métrica	Línea	Área sombreada	Color
Demanda UCI	Sólida	Cuando excede capacidad	Rojo
Capacidad UCI	Punteada	Línea de referencia	Celeste
Demanda Ventiladores	Sólida	Cuando excede capacidad	Rojo
Capacidad Vent.	Punteada	Línea de referencia	Celeste

Métrica	Línea	Área sombreada	Color
Exceso de demanda	Área bajo <code>geom_ribbon()</code>	Rosa pálido	

- Comparación diaria entre demanda simulada y capacidad ingresada por usuario
- `geom_ribbon()` destaca días donde la demanda supera la capacidad

Reactividad

- Cada gráfico se actualiza automáticamente si:
 - Se ejecuta una nueva simulación (`trigger_sim`)
 - Se modifican los inputs de capacidad (ICU, Ventiladores)

Mejoras futuras

- Agregar visualización de saturación del personal de salud
- Incorporar comparaciones entre escenarios
- Permitir zoom interactivo (e.g., `plotly` o `ggiraph`)

Módulo `mod_ui.R`: Interfaz de Usuario

Este módulo define la UI del tablero epidemiológico en Shiny, agrupando controles por tipo de parámetro y renderizando las visualizaciones principales en pestañas.

Estructura modular

Función	Descripción
<code>ui_seir_params()</code>	Controles para parámetros del modelo SEIR
<code>ui_policy_params()</code>	Controles para parámetros de intervención
<code>ui_resource_params()</code>	Controles para parámetros de recursos críticos
<code>ui_main()</code>	Define la disposición general del tablero

1 Parámetros SEIR

Incluye sliders para:

- R (transmisibilidad inicial)
- Período de incubación ($_E$)
- Período infeccioso ($_I$)

- Tasa de letalidad por infección (IFR)

Cada control está inicializado con los valores definidos en `global.R`, facilitando ajuste por parte del usuario.

2 Políticas públicas

- `policy_type`: selector con cuatro estrategias
 - Sin intervención
 - Mitigación por fases
 - Intervención intermitente
 - Activación gatillada por saturación UTI
- `compliance_level`: slider con cumplimiento en porcentaje

Estos valores afectan el cálculo de `effective_R0` en el módulo de modelo.

3 Recursos críticos

Inputs numéricos para definir:

- Capacidad de UCI
- Disponibilidad de respiradores
- Personal de salud disponible

Sliders para tasas de utilización:

- Tasa de ingreso a UCI (sobre infectados)
- Tasa de uso de respiradores (sobre infectados)

Todos estos parámetros impactan en el cálculo de presión sanitaria (`ICU_Occupancy_Sim`, `Vent_Usage_Sim`).
