

**MANAGEMENT EPIDEMICS USING
HIGH COMPLEXITY MATHEMATICAL MODELING**

PART II - ANNEX B

**SEIMR/R-S
General Epidemic Simulation Model
Multi-Infected States - Multi Socio-Demographics Segments - Multi-Region Mobility**

**VALIDATION CASES
Colombia: Bogotá
Mexico: Tampico, Ciudad Madero y Altamira**

Working Paper Version 1.5

Actual version:

Jesus M. Velásquez-Bermúdez
Chief Scientist DecisionWare – DO Analytics
jesus.velasquez@decisionware.net

Laura Cruz, Hector Fraire, Alfredo Brambila
Nelson Rangel Valdez, Claudia Gomez
Instituto Tecnológico de México
hector.fraire.huacuja@itcm.edu.mx



Bogotá, Febrero 2021



1. INDICADORES DE CALIDAD

Para evaluar la calidad de los resultados, para cada modelo (índice md) se toman como ciertos los resultados publicados para un modelo o caso de referencia (mr) (en este caso publicados por la Alcaldía de Bogotá, ya sea como predicción del modelo SEI3R o como medición de la epidemia). Por lo tanto el error en el período **t** para el modelo **md** tomando como referencia la información **mr** se establece como

$$ERR_{t,st,md,mr} = POP_{t,st,mr} - POP_{t,st,md}$$

donde **POP_{t,st,md}** representa la fracción de la población en el estado de la epidemia **st** durante el período **t** obtenido con el modelo **md**. Los valores para **md** están definidos para el conjunto **md** ∈ {**SEI3R, JAVA, GAMS**} y los valores **mr** para **mr** ∈ {**REA, SEI3R**}

Como medida de la calidad de las predicciones realizadas se utilizan los siguientes estadísticos:

ECM_{md,mr}	Error cuadrático medio
EAM_{md,mr}	Error absoluto medio
ESM_{md,mr}	Error sistemático medio, corresponde a la media de los errores
ECN_{md,mr}	Error cuadrático medio normalizado
EAN_{md,mr}	Error absoluto medio normalizado
ESN_{md,mr}	Error sistemático medio normalizado

Los cuales están definidos para el conjunto de estados **st** ∈ **STR** como. STRA puede contener todos los estados stMTA o un conjunto parcial, normalmente el estado **EN** (muertos debidos a la pandemia) para el caso REA, ya que no se dispone de medición directa exacta para los restantes estados. Las formulas de cálculo de los estadísticos son:

$$ECM_{md,mr} = \left(\sum_{t \in HPLA} \sum_{st \in STR} ERR_{t,st,md,mr}^2 / NHIS \right)^{1/2}$$

$$ESM_{md,mr} = \sum_{t \in HPLA} \sum_{st \in STR} ERR_{t,st,md,mr} / NHIS$$

$$EAM_{md,mr} = \sum_{t \in HPLA} \sum_{st \in STR} |ERR_{t,st,md,mr}| / NHIS$$

$$ECN_{md,mr} = ECM_{md,mr} / MCHI_{md}$$

$$ESN_{md,mr} = ESM_{md,mr} / MCHI_{md}$$

$$EAN_{md,mr} = EAM_{md,mr} / MCHI_{md}$$

donde:

HPLA	Período sobre el cual se calculan los estadísticos, en este caso igual al período de planificación.
NHIS	Tamaño de la muestra utilizada para la evaluación de los estadísticos, o sea corresponde a la cantidad de períodos de HPLA multiplicada por el número de estados st de la epidemia, ósea la cantidad de elemento del conjunto st ∈ STR.
MCHI_{md}	Promedio de la muestra observada para el modelo md, esto es

$$MCHI_{md} = \sum_{t \in HPLA} \sum_{st \in STR} POP_{t,st,md} / NHIS$$

Lo ideal es que todos los anteriores estadísticos sean cero, caso en el que todos los errores serían cero.



2. CASOS BOGOTÁ

Este grupo de experimentos tiene como objetivo probar el correcto funcionamiento de los modelos implementados ya SEIMR/R-S y SEIMR/R-S/OPT, para ello se comparan los resultados con los reportados por la Alcaldía de Bogotá para el modelo SEI3R, deben ser iguales. Los experimentos se realizan para el modelo de simulación SEIMR/R-S (implementado en JAVA) y para el modelo de epidemia del modelo de optimización SEIMR/R-S /OPT (implementado en OPTEX-GAMS), pero trabajado como un modelo de simulación.

Se utilizan las condiciones iniciales y los parámetros biológicos reportados por Mejía Becerra et. al. (2020).

Para evaluar la calidad de los resultados se han establecido indicadores de calidad para compararlos con los resultados del modelo de simulación SEI3R (AC) y con la realidad de la pandemia medida en Bogotá (RE).

2.1. CASO: BOGOTÁ - LIBRE ORIGINAL (BFROR)

El objetivo de este experimento es probar que los modelos dan los mismos resultados que el modelo SEI3R implementado por la Alcaldía de Bogotá. De esta forma se prueba el correcto funcionamiento de los modelos SEIMR/R-S y SEIMR/R-S/OPT, y del modelo implementado por la Alcaldía de Bogotá.

Para este experimento se consideró el caso libre original de Bogotá. Se usan las condiciones iniciales y los parámetros biológicos reportados por [Mejía Becerra, J. D. et. al. (2020)] para revisar que el modelo **SEIMR/R-S** genera valores similares a los reportados y con esto comprobar el correcto funcionamiento del modelo.

According to Mejia Becerra et al. (2020), the assumptions raised by MBC represent the most pessimistic estimates of academic literature. In short, the parameters used are:

1. General Parameters:

The following table presents general biological parameters:

GENERAL BIOLOGICAL PARAMETER – MBC SEIR3D MODEL				
Parameter	OPTEX Parameter	Description	Value	Measurement Unit
μ^N	MIUN	Natural mortality rate	0.00005	fpo/day
κ	KAPP	The latency period of the virus before developing	1	day
μ	MIUUB	Epidemic mortality rate	0.001	fpo/day
ω	PCONB	Probability of that a person may be contagion	$1/\kappa$	prob

CASO: BOGOTÁ - LIBRE ORIGINAL (BFROR) PARÁMETROS BIOLÓGICOS GENERALES					
DELT	MIUN	KAPP	MIUUB	PCONB	PTRA
1	0	1	0.001	1	0.1

2. Epidemic State Dependent Parameters:

The following table presents epidemic state dependent parameters:



CASO: BOGOTÁ - LIBRE ORIGINAL (BFROR)									
PARÁMETROS BIOLÓGICOS POR ESTADO DE INFECCIÓN									
State	β_{st}	β_{st}^Q	δ_{st}	π_{st}	η_{st}	ζ_{st}	ζ_{st}^Q	C_{st}	C_{st}^Q
	BETAB	BETAQ	DELXB	PHIXB	ETAXB	Contacts/day		Probability	
	Transmissibility		Probability	Time (day)		Contacts/day		Probability	
				Recovery	Complication				
I0	0.3271875	0.02995	0.3000	10.0	4.1	7.16	2.980	0.10	0.010
I1	0.15114	0.04504	0.8000	8.0	5.0	10.00	2.980	0.015	0.015
I2	0.0201	0.0201	0.7143	8.0	6.0	2.00	2.000	0.01	0.01
I3	0.0201	0.0201	0.5000	10.0	10.0	2.00	2.000	0.01	0.01

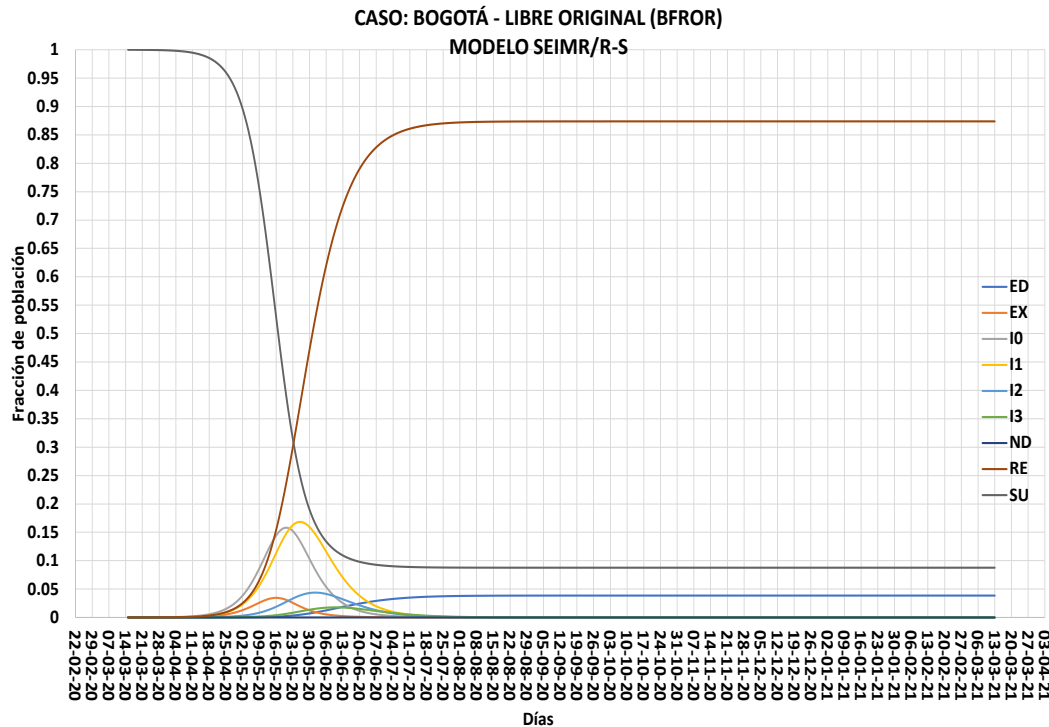
CASO: BOGOTÁ - LIBRE ORIGINAL (BFROR)				
PARÁMETROS BIOLÓGICOS POR ESTADO DE INFECCIÓN				
COD_STA	BETAB	DELXB	PHIXB	ETAXB
I0	0.3271875	0.3	10	4.1
I1	0.15114	0.8	8	5
I2	0.0201	0.7143	8	6
I3	0.0201	0.5	10	10

3. Initial Conditions:

Las condiciones iniciales se muestran en la siguiente, la población total considerada para Bogotá es de 7,413,000 habitantes, en el presente documento se trabajará en fracción de población, lo cual es resultado de dividir el número de personas entre la población total. Se toma como día inicial de la epidemia el 15 de marzo de 2020.

CASO: BOGOTÁ - LIBRE ORIGINAL (BFROR)		
CONDICIONES INICIALES		
State	Population Fraction	Population
I0	0.000030352084176	225
I1	0.000015513287468	115
I2	0.000000134898152	1
I3	0	0
RE	0	0
ND	0	0
ED	0	0
EX	0.000026979630379	200
SU	0.999927020099825	7'412,459
TOTAL	1	7'413,000

La siguiente gráfica presente el resumen de la evolución de la pandemia por medio del modelo de simulación SEIMR/R-S.



La siguiente gráfica presente el resumen de la evolución de la pandemia por medio del modelo de optimización SEIMR/R-S/OPT.

GRAFICA

La siguiente tabla presenta el resumen de los experimentos realizados para los cuales se pueden calcular los indicadores de calidad.

CASO: BOGOTÁ - LIBRE PARÁMETROS ORIGINALES (BFROR)										
INDICADORES DE CALIDAD										
Datos Referencia	Caso	Modelo Epidemia	Regiones	Segmentos	Indicadores De Calidad					
					ECM	ESM	EAM	ECN	ESN	EAN
SEI3R	BFROR	SIM	1	1						
SEI3R	BFROR	OPT	1	1						

Los indicadores de calidad indican que los tres modelos dan los mismo resultados para el caso mono región al caso equivalente multirregión multisegmento con una sola región y un solo segmento.

2.2. CASO BOGOTÁ - LIBRE PARÁMETROS AJUSTADOS (BFRPA)

El objetivo de este experimento es mostrar la ganancia en calidad de la simulación si se utilizan parámetros que estén mas cerca de la realidad, lo que implica una estimación dinámica de los parámetros biológicos. También se puede medir el impacto en la planificación de la pandemia la calidad de las estimaciones iniciales para estos parámetros.

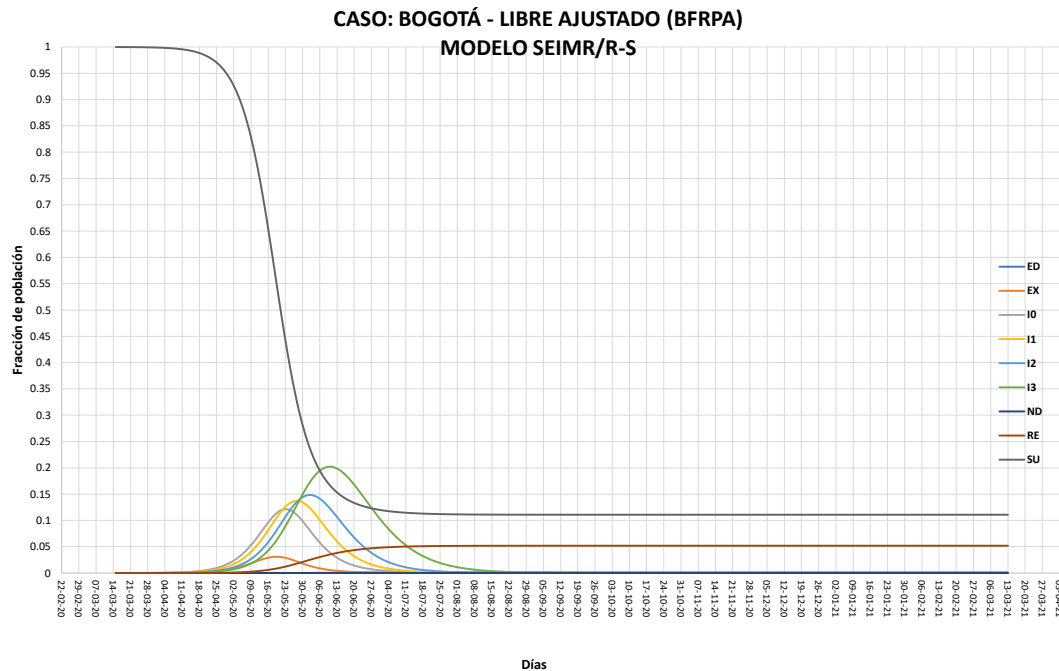
Para este caso se usan las mismas condiciones iniciales del primer experimento, y los mismos valores para los parámetros biológicos excepto para los mostrados en la tabla 7 que se ajustaron manualmente para que los valores de recuperados y muertos correspondan con los reportados en Bogotá el día 21 de diciembre de 2020. (Fuente Google: Recuperados 384,000 Muertos 9,137)



CASO: BOGOTÁ - LIBRE AJUSTADO (BFRPA)				
PARÁMETROS BIOLÓGICOS POR ESTADO DE INFECCIÓN				
COD_STA	BETAB	DELXB	PHIXB	ETAXB
I0	0.3271875	0.015	10	4.1
I1	0.15114	0.025	8	5
I2	0.0201	0.035	8	6
I3	0.0201	0.0111	10	10

CASO: BOGOTÁ - LIBRE AJUSTADO (BFRPA)					
PARÁMETROS BIOLÓGICOS GENERALES					
DELT	MIUN	KAPP	MIUB	PCONB	PTRA
1	0	1	1.46E-04	1	0.1

La siguiente gráfica presente el resumen de la evolución de la pandemia por medio del modelo de simulación SEIMR/R-S.



La siguiente gráfica presente el resumen de la evolución de la pandemia por medio del modelo de simulación SEIMR/R-S y para el modelo de optimización SEIMR/R-S/OPT.

GRAFICA

La siguiente tabla presenta el resumen de los experimentos realizados para los cuales se pueden calcular los indicadores de calidad.

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos para la simulación a un año para el Caso libre parámetros corregidos.

CASO: BOGOTÁ - LIBRE PARÁMETROS ORIGINALES (BFROR)	
INDICADORES DE CALIDAD	



Datos Referencia	Caso	Modelo Epidemia	Regiones	Segmentos	Indicadores De Calidad					
					ECM	ESM	EAM	ECN	ESN	EAN
REAL	BFROR	SEI3R	1	1						
REAL	BFROR	SIM	1	1						
REAL	BFROR	OPT	1	1						
REAL	BFRAJ	SIM	1	1						
REAL	BFRAJ	OPT	1	1						

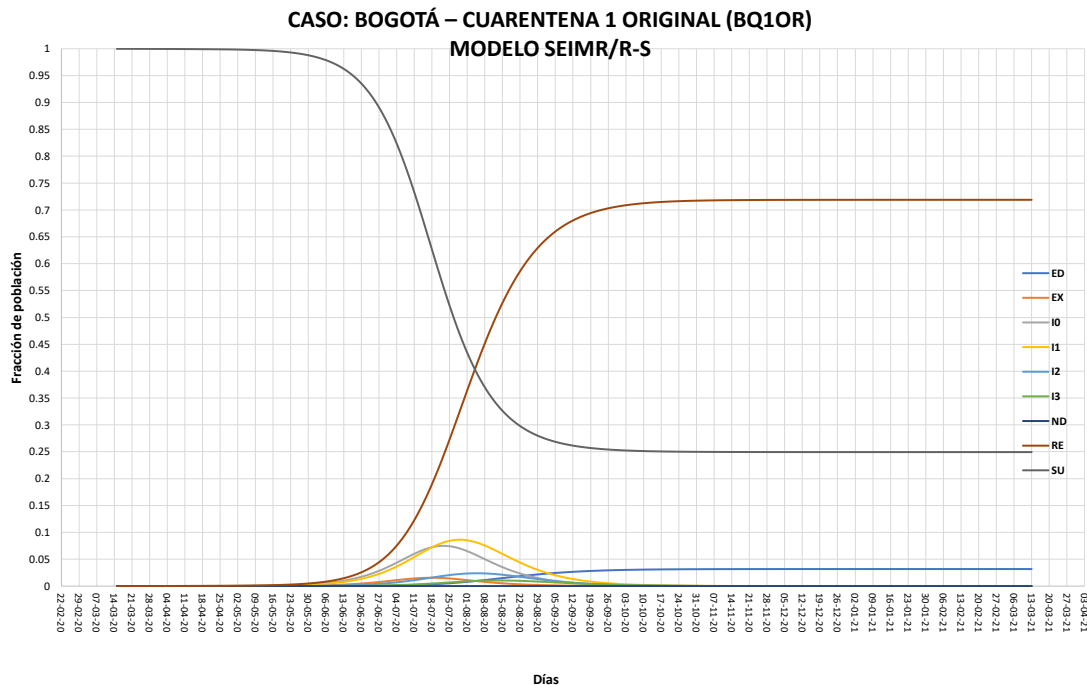
2.3. CASO BOGOTÁ - CUARENTENA 1 - PARÁMETROS ORIGINALES (BQ1OR)

El objetivo de este experimento es probar que los modelos dan los mismos resultados que el modelo SEI3R implementado por la Alcaldía de Bogotá cuando se consideran políticas de control de la pandemia mediante políticas de control de cuarentena simple. De esta forma se prueba el correcto funcionamiento de los modelos SEIMR/R-S y SEIMR/R-S/OPT.

Para este experimento se utilizan los mismos parámetros biológicos y condiciones iniciales que en el anterior, pero en este se maneja un escenario de cuarentena simple, es decir se aplica un porcentaje de cuarentena a toda la población, diferenciando a la población asintomática de la sintomática, los valores para el primer escenario uno de cuarentena propuesto por la Alcaldía de Bogotá [Mejía Becerra, J. D. et. al. (2020)] se presentan en la siguiente tabla

PORCENTAJES DE CUARENTENA 1		
Período	Asintomáticos I0	Sintomáticos I1
15/03/2020 a 19/03/2020	30%	30%
20/03/2020 a 26/04/2020	60%	60%
27/04/2020 a 14/03/2021	30%	50%

La siguiente gráfica presente el resumen de la evolución de la pandemia por medio del modelo de simulación SEIMR/R-S.





La siguiente gráfica presente el resumen de la evolución de la pandemia por medio del modelo de optimización SEIMR/R-S/OPT.

GRÁFICA

La siguiente tabla presenta el resumen de los experimentos realizados para los cuales se pueden calcular los indicadores de calidad.

CASO: BOGOTÁ – CUARENTENA 1 PARÁMETROS ORIGINALES (BQ1OR)										
INDICADORES DE CALIDAD										
Datos Referencia	Caso	Modelo Epidemia	Regiones	Segmentos	Indicadores De Calidad					
					ECM	ESM	EAM	ECN	ESN	EAN
SEI3R	BQ1OR	SIM	1	1						
SEI3R	BQ1OR	OPT	1	1						

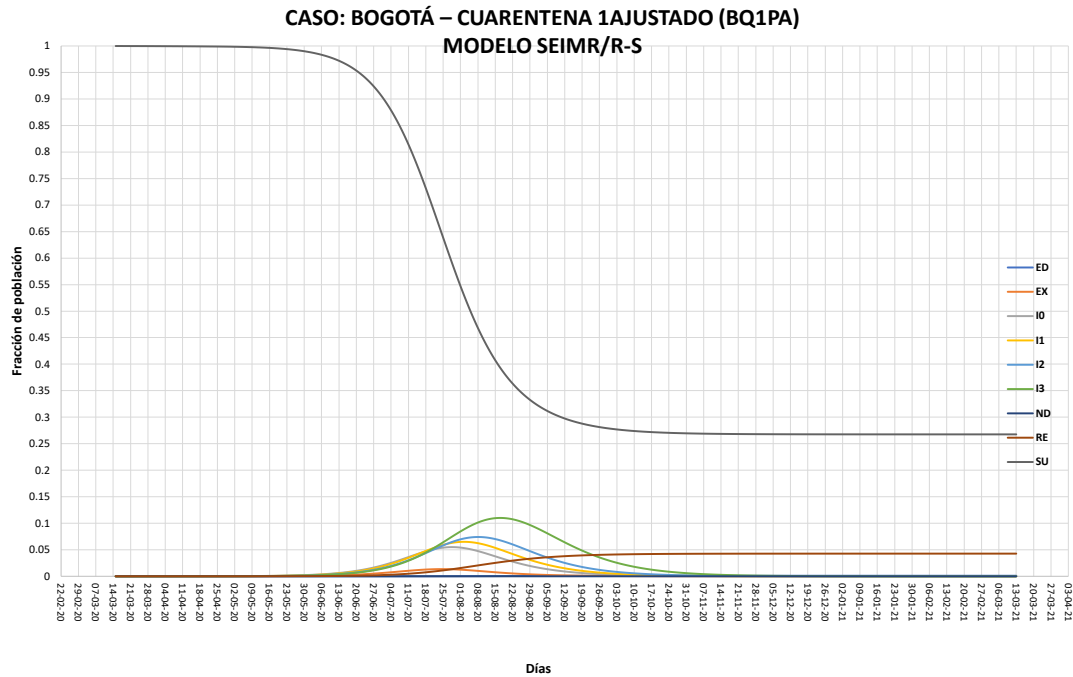
Los indicadores de calidad indican que los tres modelos dan los mismo resultados para el caso mono región al caso equivalente multirregión multisegmento con una sola región y un solo segmento.

2.4. CASO BOGOTÁ - CUARENTENA 1 - PARÁMETROS AJUSTADOS (BQ1PA)

El objetivo de este experimento es mostrar la ganancia en calidad de la simulación si se utilizan parámetros que estén más cerca de la realidad, lo que implica una estimación dinámica de los parámetros biológicos. También se puede medir el impacto en la planificación de la pandemia la calidad de las estimaciones iniciales para estos parámetros.

En este experimento, al caso **BFPA** en el que se ajustaron los parámetros biológicos se le aplica la cuarentena del "escenario 1" propuesta por la Alcaldía de Bogotá y utilizada en el caso **BQ1OR**

La siguiente gráfica presente el resumen de la evolución de la pandemia por medio del modelo de simulación SEIMR/R-S.



La siguiente gráfica presente el resumen de la evolución de la pandemia por medio del modelo de optimización SEIMR/R-S/OPT.

GRAFICA

La siguiente tabla presenta el resumen de los experimentos realizados para los cuales se pueden calcular los indicadores de calidad.

CASO: BOGOTÁ – CUARENTENA 1 PARÁMETROS ORIGINALES (BQ1PA)										
INDICADORES DE CALIDAD										
Datos Referencia	Caso	Modelo Epidemia	Regiones	Segmentos	Indicadores De Calidad					
					ECM	ESM	EAM	ECN	ESN	EAN
REAL	BFROR	SEI3R	1	1						
REAL	BFROR	SIM	1	1						
REAL	BFROR	OPT	1	1						
REAL	BFRAJ	SIM	1	1						
REAL	BFRAJ	OPT	1	1						
REAL	BQ1OR	SIM	1	1						
REAL	BQ1PA	OPT	1	1						

Los indicadores de calidad indican que ...

2.5. CASO BOGOTÁ - CUARENTENA 2 - PARÁMETROS AJUSTADOS (BQ2PA)

El objetivo de este experimento es mostrar la ganancia en calidad de la simulación si se utilizan parámetros que estén más cerca de la realidad, lo que implica una estimación dinámica de los parámetros biológicos. También se puede medir el impacto en la planificación de la pandemia la calidad de las estimaciones iniciales para estos parámetros.

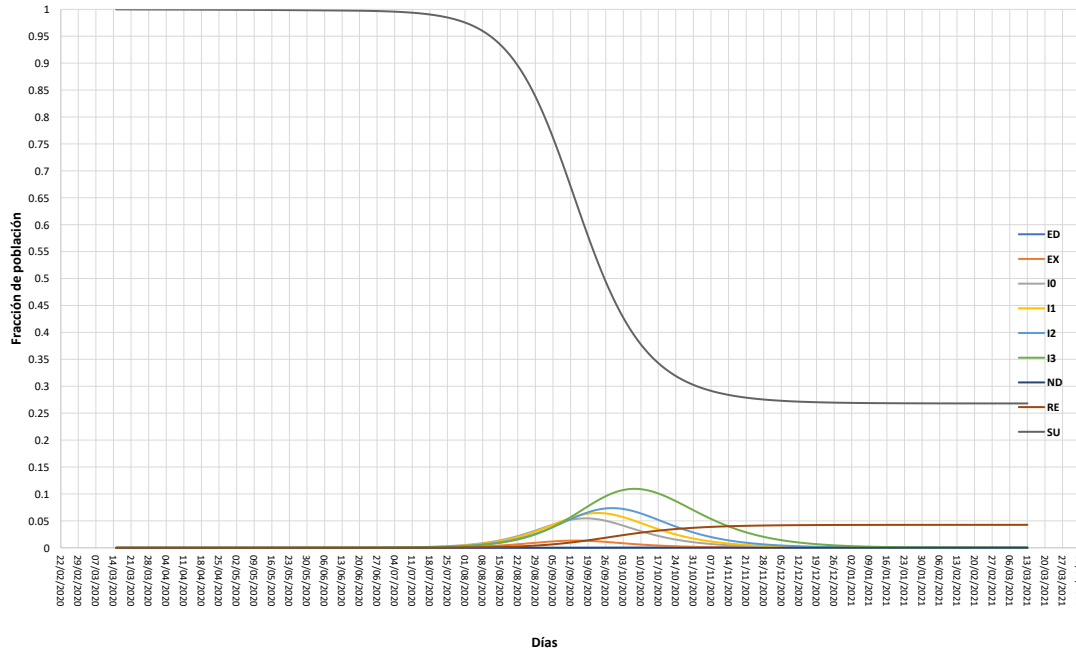
En este experimento, al caso **BFRAJ** en el que se ajustaron los parámetros biológicos se le aplica la cuarentena del "escenario 2" propuesta por la Alcaldía de Bogotá, la cual se presenta en la siguiente tabla.



PORCENTAJES DE CUARENTENA 2		
Período	Asintomáticos I0	Sintomáticos I1
15/03/2020 a 19/03/2020	30%	30%
20/03/2020 a 19/06/2020	70%	70%
20/06/2020 a 14/03/2021	30%	50%

La simulación se ejecutó a un año, los resultados obtenidos se muestran a continuación.

Gráficas SEIMR/R-S Caso Cuarentena 2 parámetros corregidos



La siguiente gráfica presente el resumen de la evolución de la pandemia por medio del modelo de optimización SEIMR/R-S/OPT.

GRAFICA

La siguiente tabla presenta el resumen de los experimentos realizados para los cuales se pueden calcular los indicadores de calidad.

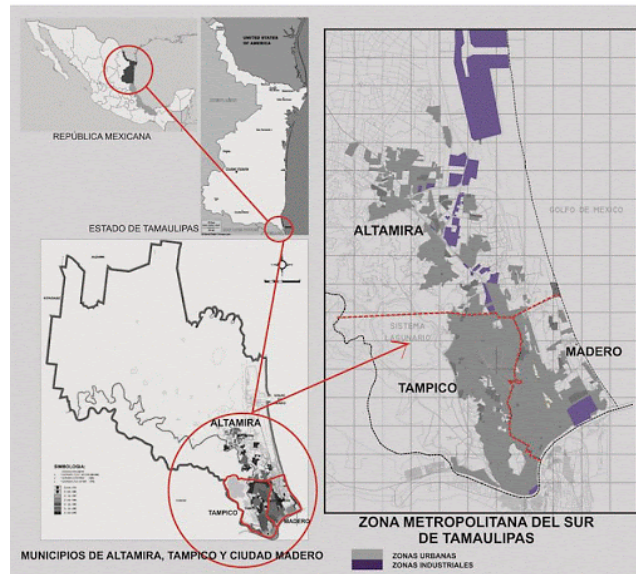
CASO: BOGOTÁ – CUARENTENA 1 PARÁMETROS ORIGINALES (BQ1PA)										
INDICADORES DE CALIDAD										
Datos Referencia	Caso	Modelo Epidemia	Regiones	Segmentos	Indicadores De Calidad					
					ECM	ESM	EAM	ECN	ESN	EAN
REAL	BFROR	SEI3R	1	1						
REAL	BFROR	SIM	1	1						
REAL	BFROR	OPT	1	1						
REAL	BFRAJ	SIM	1	1						
REAL	BFRAJ	OPT	1	1						
REAL	BQ1OR	SIM	1	1						
REAL	BQ1PA	OPT	1	1						
REAL	BQ2OR	SIM	1	1						
REAL	BQ2PA	OPT	1	1						

Los indicadores de calidad indican que ...



3. CASOS ESTADO DE TAMAULIPAS

Para estos casos caso se consideran tres regiones que son municipios del sur de Estado de Tamaulipas en México las cuales son: Tampico, Ciudad Madero y Altamira, las cuales además conforman una zona metropolitana conurbada.



La población de cada municipio, así como la población de la zona metropolitana de Tampico, Madero y Altamira (Macrorregión) se muestran en la siguiente tabla:

Región	Código	Población (habitantes)
Tampico	TAM	327308
Madero	MAD	216664
Altamira	ALT	246549
Zona Metropolitana	TMA	790521

INCLUIR UNA DESCRIPCIÓN DE LA ZONA CONURBADA

Se considera el día 24 de marzo de 2020 como inicio de la epidemia en la zona metropolitana de Tampico, Madero y Altamira; la siguiente tabla presenta las condiciones iniciales para ese día (habitantes por estado epidemiológico).

Región	SU	EX	I0	I1	I2	I3	ED	ND	RE
Tampico	327307	0	0	0	1	0	0	0	0
Madero	216662	0	0	0	2	0	0	0	0
Altamira	246548	0	0	0	1	0	0	0	0

3.1. PARÁMETROS BIOLÓGICOS REGIONALES

Para los parámetros biológicos se consideraron tres casos:

- Parámetros importados del caso de Bogotá (UN)
- Estimación parcial de parámetros con base en la serie histórica de muertos (MU)



iii) Estimación parcial de parámetros con base en la series históricas de muertos y de recuperados (MR).

3.1.1. PARÁMETROS IMPORTADOS

Para este caso se asumen los mismos parámetros utilizados por la Alcaldía de Bogotá para estimar el efecto de la pandemia en la Ciudad de Bogotá. Los cuales se copian a continuación:

PARÁMETROS BIOLÓGICOS POR ESTADO DE INFECCIÓN				
COD_STA	BETAB	DELXB	PHIXB	ETAXB
I0	0.3271875	0.3	10	4.1
I1	0.15114	0.8	8	5
I2	0.0201	0.7143	8	6
I3	0.0201	0.5	10	10

PARÁMETROS BIOLÓGICOS GENERALES					
DELT	MIUN	KAPP	MIUUB	PCONB	PTRA
1	0	1	0.001	1	0.1

Este caso implica que toda el área conurbada **TMA** es uniforme con respecto a la pandemia independiente de las regiones y de los segmentos socio-económicos.

3.1.2. ESTIMACIÓN CON BASE EN LA SERIE DE MUERTOS

Estimación parcial de parámetros tomando como serie de referencia la serie histórica de muertos al día 21 de diciembre de 2020 según los datos registrados por Secretaría de Salud del Gobierno del Estado de Tamaulipas (SSA). Solo se consideró como parámetro a ajustar el parámetro **MIUUB** para cada región. [El modelo de estimación de parámetros es el propuesto por ...](#)

Los valores de los parámetros biológicos resultantes se presentan a continuación, los parámetros biológicos por estado de infección corresponden a los de Bogotá. Estos parámetros diferencian las regiones pero mantiene uniformidad al interior de los segmentos de una región.

PARÁMETROS BIOLÓGICOS POR ESTADO DE INFECCIÓN					
COD_REG	COD_STA	BETAB	DELXB	PHIXB	ETAXB
TMA	I0	0.3271875	0.3	10	4.1
TMA	I1	0.15114	0.8	8	5
TMA	I2	0.0201	0.7143	8	6
TMA	I3	0.0201	0.5	10	10

PARÁMETROS BIOLÓGICOS GENERALES						
PARÁMETRO MIUUB AJUSTADO						
COD_REG	DELT	MIUN	KAPP	MIUUB	PCONB	PTRA
TAM	1	0.00005	1	0.00182	1	0.1
MAD	1	0.00005	1	0.00133	1	0.1
ALT	1	0.00005	1	0.000985	1	0.1

Que se concluye de la diferencia de los parámetros regionales ?

3.1.3. AJUSTE CON BASE EN LA SERIE DE MUERTOS Y DE RECUPERADOS

Para esta sección de ajustan simultáneamente los parámetros **MIUUB y DELTAXB** para cada región teniendo como referencia las series de muertos y de recuperados al día 21 de diciembre de 2020 según los datos registrados por SSA de Tamaulipas.



Los valores de los parámetros biológicos resultantes se presentan a continuación. Estos parámetros diferencian las regiones pero mantienen uniformidad al interior de los segmentos de una región.

PARÁMETROS BIOLÓGICOS POR ESTADO DE INFECCIÓN PARÁMETRO DELTAX AJUSTADO					
COD_REG	COD_STA	BETAB	DELXB	PHIXB	ETAXB
TAM	I0	0.3271875	0.007	10	4.1
TAM	I1	0.15114	0.007	8	5
TAM	I2	0.0201	0.00802	8	6
TAM	I3	0.0201	0.0049	10	10
MAD	I0	0.3271875	0.007	10	4.1
MAD	I1	0.15114	0.00608	8	5
MAD	I2	0.0201	0.0083	8	6
MAD	I3	0.0201	0.00411	10	10
ALT	I0	0.3271875	0.007	10	4.1
ALT	I1	0.15114	0.00608	8	5
ALT	I2	0.0201	0.0083	8	6
ALT	I3	0.0201	0.00411	10	10

PARÁMETROS BIOLÓGICOS GENERALES PARÁMETRO MIUUB AJUSTADO						
COD_REG	DELT	MIUN	KAPP	MIUUB	PCONB	PTRA
TAM	1	0.00005	1	0.0001565	1	0.1
MAD	1	0.00005	1	0.0001145	1	0.1
ALT	1	0.00005	1	0.00008454	1	0.1

Que se concluye de la diferencia de los parámetros regionales ?

3.2. CASOS SIN MOVILIDAD

Los experimentos sin movilidad ignoran el efecto en la pandemia de la movilidad de las personas entre regiones y fundamentalmente sirven para:

- Verificar el funcionamiento de las ecuaciones diferenciales considerando el efecto multi-región multi-segmento
- Fijar una referencia (línea base) para medir el impacto comparativo de la movilidad de las personas durante la pandemia.

3.2.1. CASO TMA LIBRE - SIN MOVILIDAD – PARÁMETROS UN (SMFRUN)

Este caso tiene como objetivo probar el correcto funcionamiento del modelo multiregional multi segmento ya que se asume que el comportamiento en todas las regiones y en todos los segmentos es igual. Esto es equivalente al modelamiento tradicional uni-region uni-segmento y la curva agregada de la evolución dinámica de la pandemia debe ser igual que si se simula una sola región con los parámetros unificados.

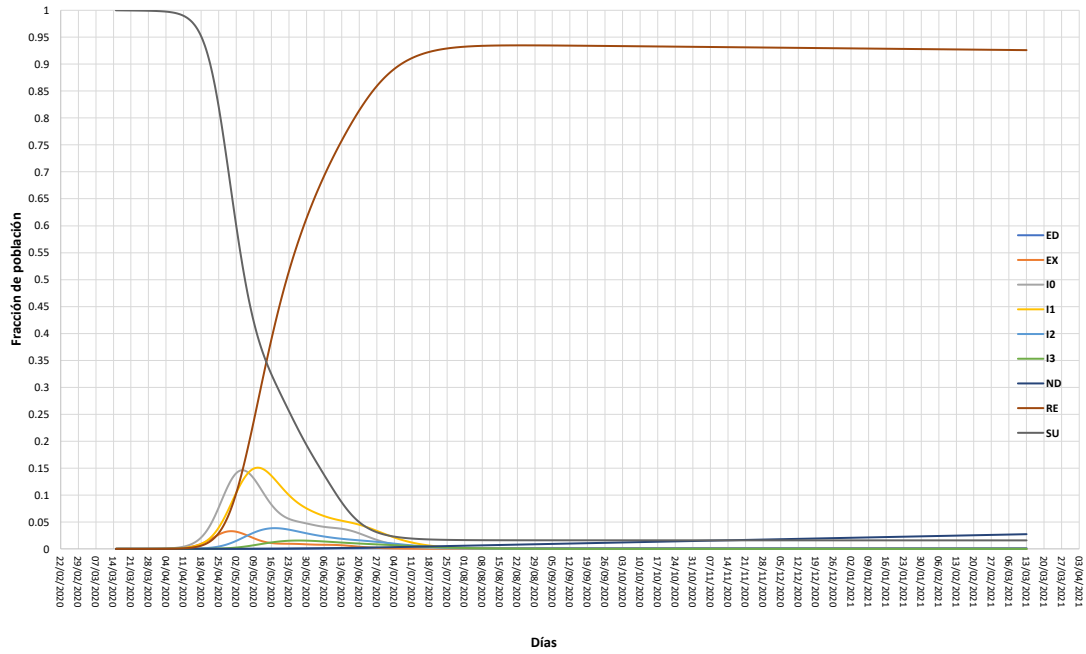
CASO PENDIENTE DE INCORPORAR

3.2.2. CASO TMA Libre Sin Movilidad – Parámetros Mu (SMFRMU)

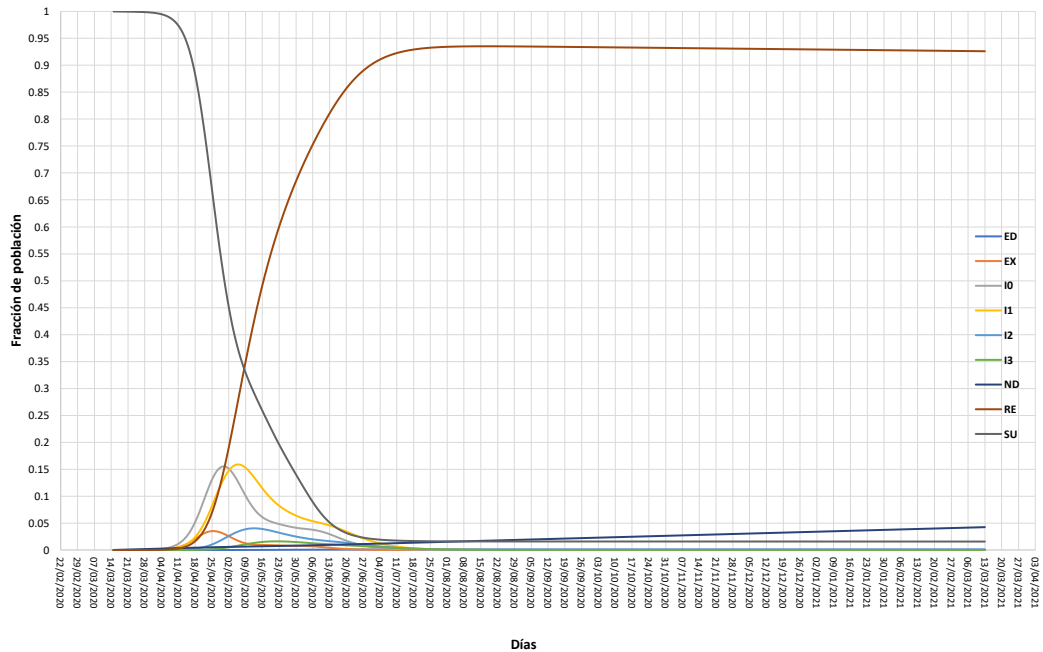
Este caso tiene como objetivo fijar una referencia (línea base) para medir el impacto comparativo de la movilidad de las personas durante la pandemia. Sus resultados serán comparados con los experimentos con movilidad incorporada.



Gráficas SEIMR/R-S Caso libre sin Movilidad Tampico

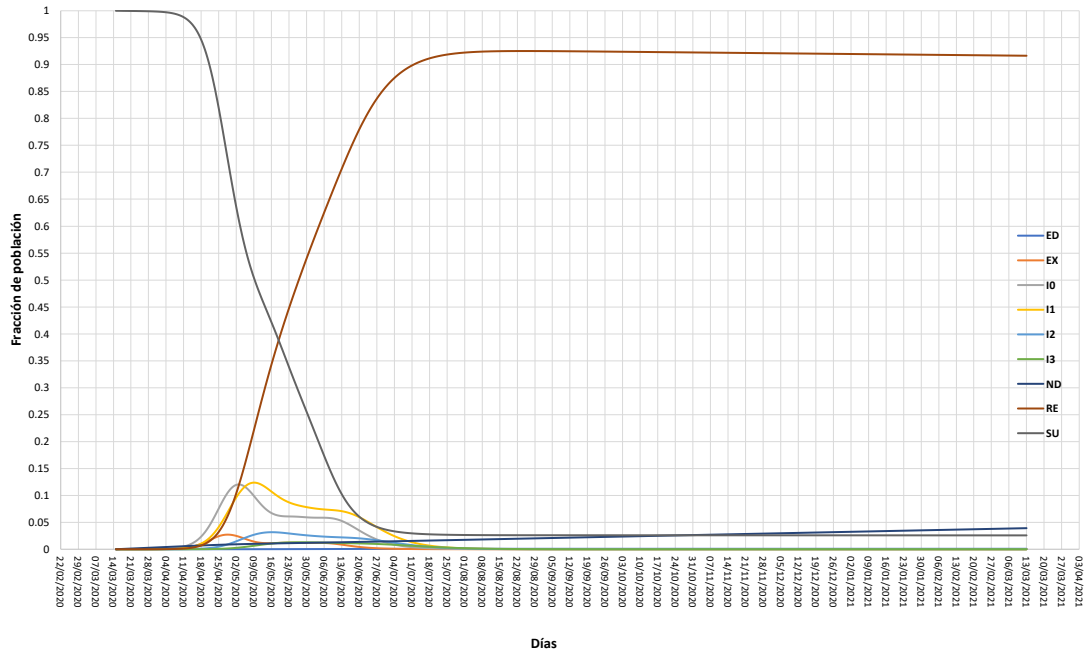


Gráficas SEIMR/R-S Caso libre sin Movilidad Madero





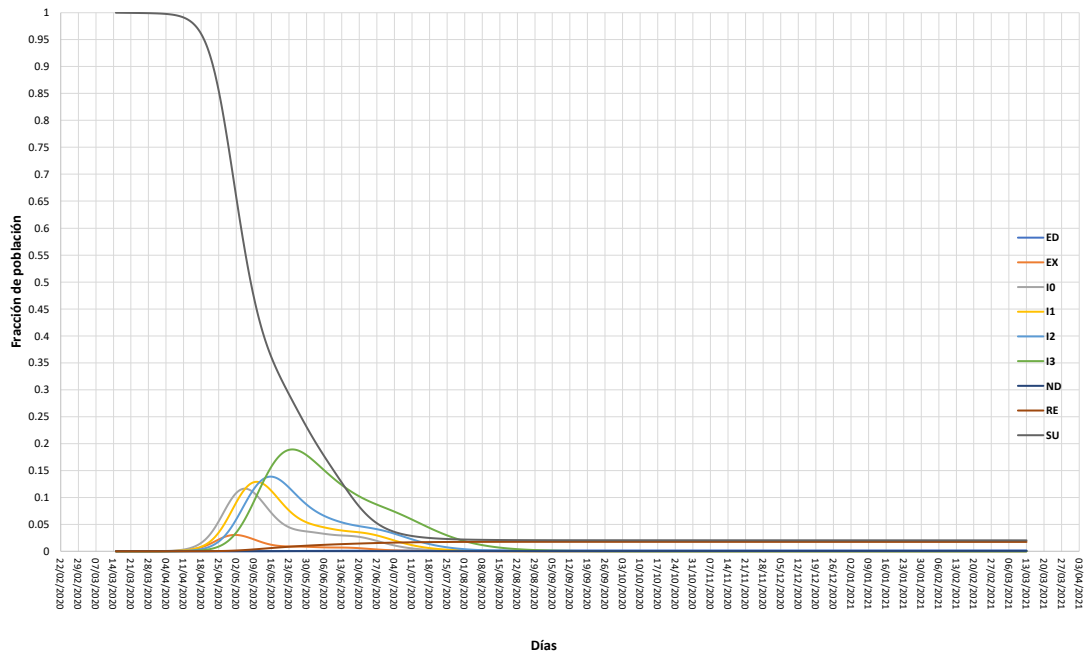
Gráficas SEIMR/R-S Caso libre sin Movilidad Altamira



Que se concluye ¿

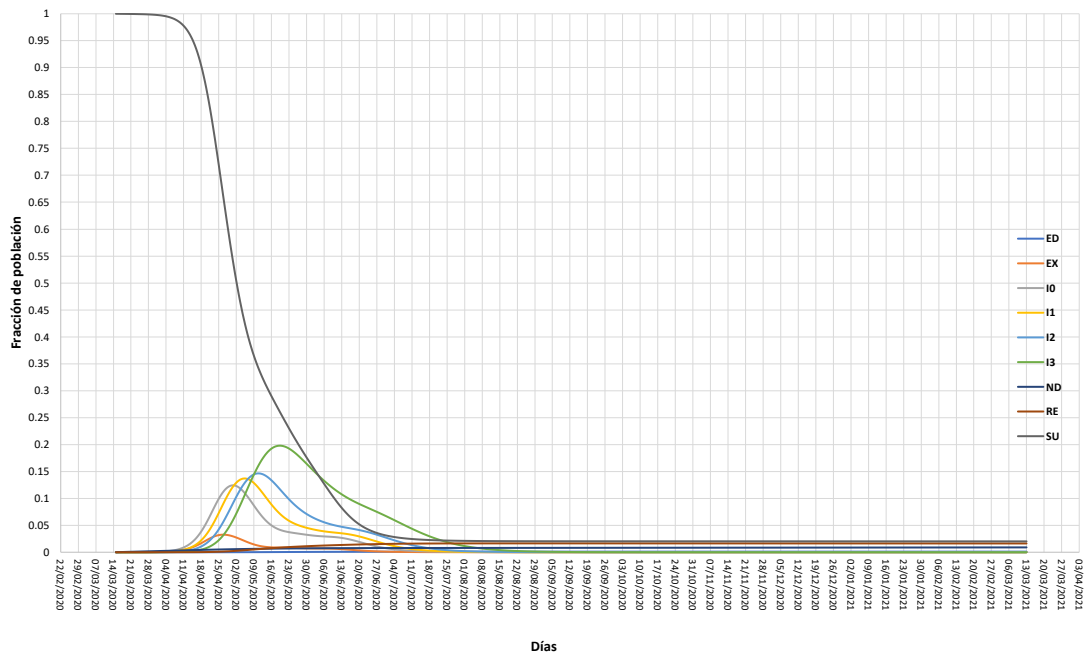
3.2.3. CASO TMA LIBRE SIN MOVILIDAD – PARÁMETROS MR (SMFRMR)

Gráficas SEIMR/R-S Caso libre sin Movilidad Tampico

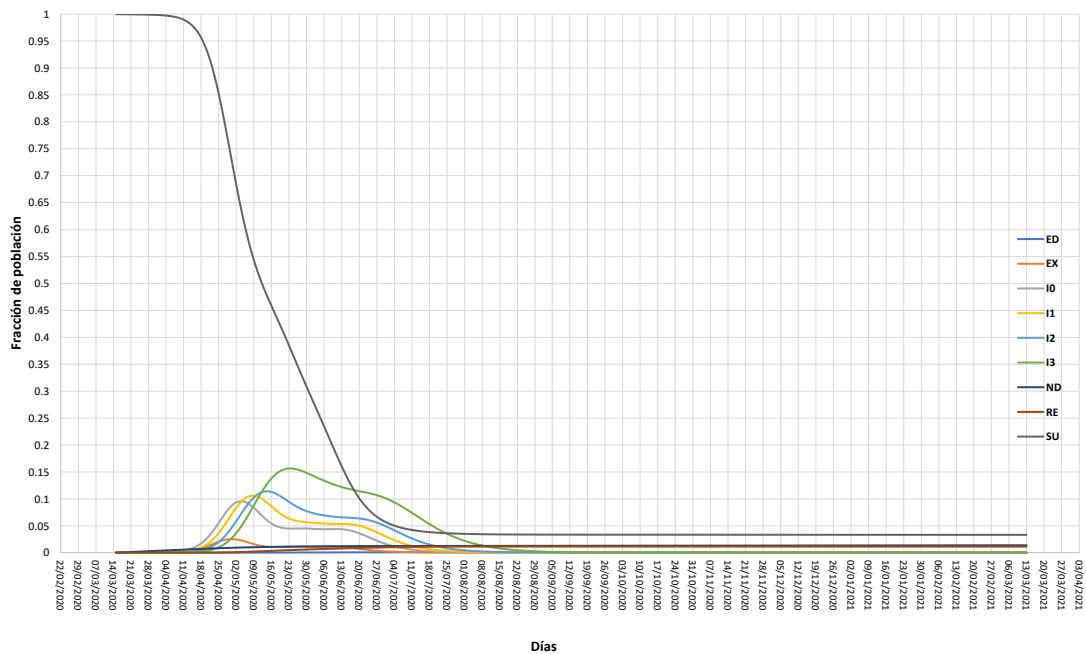




Gráficas SEIMR/R-S Caso libre sin Movilidad Madero



Gráficas SEIMR/R-S Caso libre sin Movilidad Altamira



Que se concluye ¿

3.3. CASOS CON MOVILIDAD

Para los experimentos de esta sección se considera que existe movilidad entre regiones y se muestra en la siguiente tabla, la primer columna representa la región de origen, la segunda columna la región destino, la tercer columna el segmento, la cuarta columna la fracción de población que se mueve de



la región origen a la destino y la última columna es la fracción de tiempo que permanece la gente en la región destino. [Los datos de esta tabla fueron construidos a partir de ...](#)

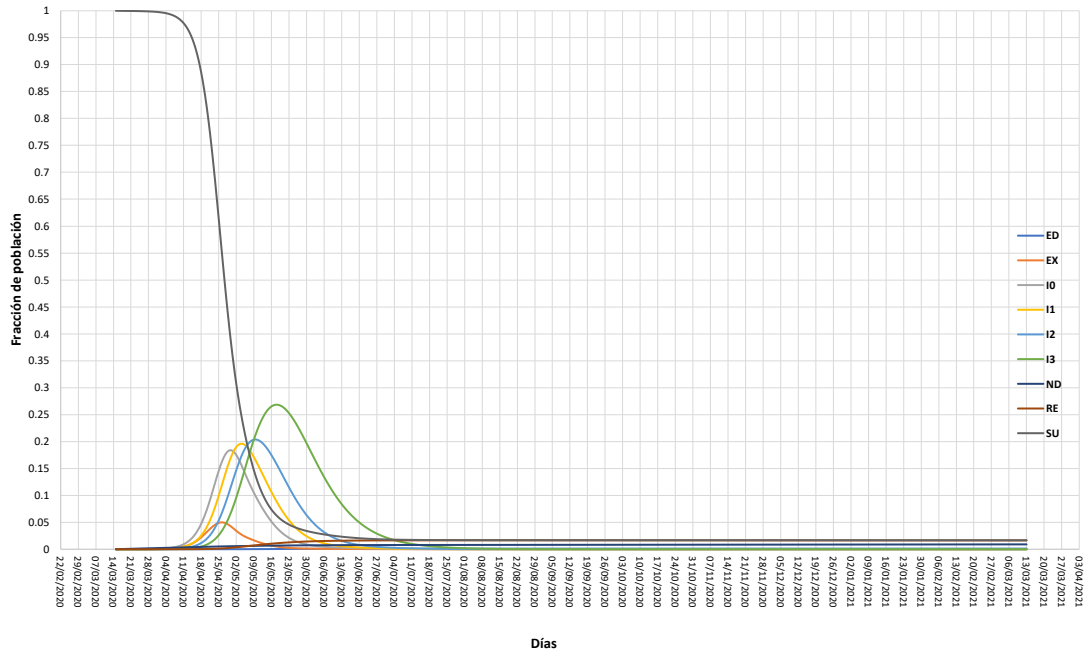
PARÁMETROS DE MOVILIDAD				
Origen COD_UBTO	Destino COD_UBTD	Segmento COD_SDS	Fracción Población FPRR	Fracción Día FTRR
TAM	MAD	E1Y00	0.07	0.416667
TAM	MAD	E1Y30	0.05	0.5
TAM	MAD	E1Y60	0.02	0.416667
TAM	MAD	E2Y00	0.1	0.416667
TAM	MAD	E2Y30	0.09	0.5
TAM	MAD	E2Y60	0.02	0.333333
TAM	ALT	E1Y00	0.03	0.416667
TAM	ALT	E1Y30	0.09	0.5
TAM	ALT	E1Y60	0.01	0.416667
TAM	ALT	E2Y00	0.09	0.416667
TAM	ALT	E2Y30	0.12	0.5
TAM	ALT	E2Y60	0.01	0.333333
MAD	TAM	E1Y00	0.08	0.416667
MAD	TAM	E1Y30	0.05	0.5
MAD	TAM	E1Y60	0.01	0.416667
MAD	TAM	E2Y00	0.1	0.416667
MAD	TAM	E2Y30	0.09	0.5
MAD	TAM	E2Y60	0.01	0.333333
MAD	ALT	E1Y00	0.02	0.416667
MAD	ALT	E1Y30	0.07	0.5
MAD	ALT	E1Y60	0.009	0.416667
MAD	ALT	E2Y00	0.09	0.416667
MAD	ALT	E2Y30	0.11	0.5
MAD	ALT	E2Y60	0.08	0.333333
ALT	TAM	E1Y00	0.1	0.416667
ALT	TAM	E1Y30	0.1	0.5
ALT	TAM	E1Y60	0.001	0.416667
ALT	TAM	E2Y00	0.11	0.416667
ALT	TAM	E2Y30	0.09	0.5
ALT	TAM	E2Y60	0.01	0.333333
ALT	MAD	E1Y00	0.13	0.416667
ALT	MAD	E1Y30	0.1	0.5
ALT	MAD	E1Y60	0.002	0.416667
ALT	MAD	E2Y00	0.1	0.416667
ALT	MAD	E2Y30	0.07	0.5
ALT	MAD	E2Y60	0.01	0.333333

Explicar la movilidad de la región.

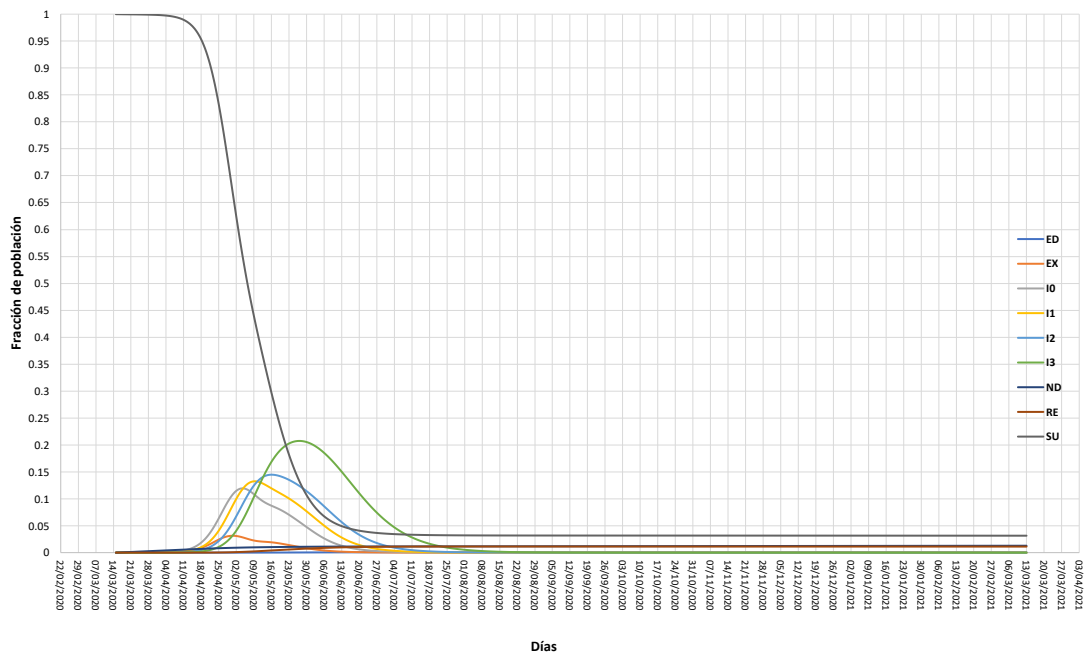
3.3.1. TMA LIBRE CON MOVILIDAD – PARÁMETROS MU (CMFRMU)



Gráficas SEIMR/R-S Caso libre con Movilidad Madero



Gráficas SEIMR/R-S Caso libre con Movilidad Altamira



Para el caso con movilidad, a excepción de Tampico se observa que aplicando movilidad entre regiones aumenta el número de personas infectadas que produce el modelo.

3.4. CASOS CON MOVILIDAD Y SEGMENTACIÓN

4. CASOS OPTIMIZACIÓN CON MOVILIDAD Y SEGMENTACIÓN



Referencias

Mejía Becerra, J. D. et. al. (2020). "Modelación Matemática de la Propagación del SARS-CoV-2 en la Ciudad de Bogotá". Documento de Circulación Informal