

# COVID-19 y Modelos No lineales

Sarai E Gómez Ibarra

Universidad Autónoma de Nuevo León  
Facultad de Ciencias Físico - Matemáticas

18 de Septiembre del 2020

# Contenido

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

Introducción

Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión

## 1 Introducción

## 2 Teoría

## 3 Resultados

## 4 Comparación de los modelos

## 5 Conclusión

# Introducción

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

Introducción

Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión

La COVID-19 es la enfermedad infecciosa causada por el coronavirus; dicha enfermedad tuvo origen en Wuhan (China) en diciembre de 2019. Actualmente la COVID-19 es una pandemia que afecta a muchos países de todo el mundo.

Este estudio tiene como objetivo el comparar los modelos Gompertz, Logístico y Normal, estimados con los datos arrojados de diferentes países, para validar cual es el desempeño que tiene cada uno de estos y así finalmente descubrir cual es el modelo que mejor se acople al comportamiento de la pandemia en los países afectados.

# Contenido

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

Introducción

Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión

1 Introducción

2 Teoría

3 Resultados

4 Comparación de los modelos

5 Conclusión

**DEF** Una función sigmoidea es una función real diferenciable y acotada que se define para todos los valores de entrada reales y tiene una derivada no negativa en cada punto.

**DEF** La función de distribución acumulativa de una variable aleatoria de valor real es la función dada por  $X$ .

$$F_X(x) = P(X \leq x)$$

# Error Cuadrático Medio

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

Introducción

Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión

El Error Cuadrático Medio (MSE) de un estimador mide el promedio de los errores al cuadrado, es decir, la diferencia entre lo estimado y el valor real; Sea  $\hat{Y}$  el vector de  $n$  predicciones y  $Y$  el vector de los valores reales, entonces el MSE del predictor es:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - Y_i)^2 \quad (1)$$

# Raíz del Error Cuadrático Medio

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

Introducción

Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión

La Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE) es una medida mayormente usada para valores de muestra o población; nos ayuda a calcular la diferencia entre los valores predichos y los valores observados; se define como:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - Y_i)^2} \quad (2)$$

# Error Absoluto Medio

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

Introducción

Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión

El Error Absoluto Medio de igual manera es una medida de diferencia entre dos variables continuas; normalmente se usa cuando los datos observados ( $Y$ ) contienen valores atípicos, esta definido como:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\hat{Y}_i - Y_i| \quad (3)$$



# Modelos considerados

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

Introducción

Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión

Los modelos a elegir son funciones sigmoidales o bien funciones de distribución acumulada. Se escogen este tipo de funciones ya que las sigmoides tienen su dominio en todos los números reales, el valor de retorno aumenta monótonamente, por esto mismo se escogieron los siguientes modelos:

- 1 Modelo Gompertz
- 2 Modelo Logístico
- 3 Modelo Normal

# Modelo Gompertz

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

Introducción

Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión

La curva de Gompertz tiene nombre de su diseñador Benjamin Gompertz, el cual diseñó el modelo para la Royal Society para detallar su ley de mortalidad humana. El modelo Gompertz está definido como:

$$G(t) = \alpha e^{-\beta e^{-\kappa t}} \quad (4)$$

Donde:

- $G(t)$  es el número acumulado de casos confirmados en el tiempo  $t$ .
- $\alpha$  corresponde a la asíntota, en este caso  $\alpha$  estima el número de casos al final de la epidemia.

# Datos de interés para la pandemia

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

Introducción

Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión

- La derivada de la ec. (4) nos arroja la curva que modela el número casos diarios confirmados en el tiempo  $t$ , la cual es:

$$g(t) = \beta \kappa G(t) e^{-\kappa t} = \beta \kappa \alpha e^{-\beta e^{-\kappa t}} e^{-\kappa t} \quad (5)$$

- El tiempo en el cual se espera la máxima incidencia diaria

$$t_{max} = \frac{\log(\beta)}{\kappa} \quad (6)$$

- Cuantos casos se estiman para el tiempo  $t_{max}$

$$g(t_{max}) = \beta \kappa \alpha e^{-\beta e^{-\kappa t_{max}}} e^{-\kappa t_{max}} \quad (7)$$

- Estimar el numero de casos acumulados al tiempo  $t_{max}$ , esto se estima como  $G(t_{max})$

# Modelo Logístico

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sara E  
Gómez Ibarra

Introducción

Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión

El Modelo de Regresión Logística fue publicado en 1844 por Pierre François, con el fin de estudiar el crecimiento de la población. El modelo logístico es de la siguiente manera:

$$H(t) = \frac{\gamma_0}{1 + \gamma_1 e^{-\gamma_2 t}} \quad (8)$$

Donde:

- $H(t)$  es el número acumulado de casos confirmados en el tiempo  $t$ .
- $\gamma_0$  es el valor de crecimiento máximo, para este estudio  $\gamma_0$  representa los casos predichos para el final de la pandemia.
- $\gamma_2$  es la tasa de crecimiento logístico o la pendiente de la curva.

# Datos de interés para la pandemia

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Saraí E  
Gómez Ibarra

Introducción

Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión

- La derivada de la ec. (8) nos arroja la curva que modela el número casos diarios confirmados en el tiempo  $t$ , la cual es:

$$h(t) = \frac{\gamma_0 \gamma_1 \gamma_2 e^{(-\gamma_2 t)}}{(1 + \gamma_1 e^{-\gamma_2 t})^2} \quad (9)$$

- El tiempo en el cual se espera la máxima incidencia diaria

$$t_{maxL} = \frac{\ln(\gamma_1)}{\gamma_2} \quad (10)$$

- Cuantos casos se estiman para el tiempo  $t_{maxL}$

$$h(t_{maxL}) = \frac{\gamma_0 \gamma_1 \gamma_2 e^{(-\gamma_2 t_{maxL})}}{(1 + \gamma_1 e^{-\gamma_2 t_{maxL}})^2} \quad (11)$$

- Estimar el numero de casos acumulados al tiempo  $t_{max}$ , esto se estima como  $H(t_{maxL})$

# Modelo Normal

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

Introducción

Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión

El modelo normal es la distribución normal acumulada con modificaciones, este modelo asume que los casos acumulados siguen una función de error gaussiana parametrizada, la cual esta definida como:

$$N(t) = \frac{p}{2}(\Psi(\alpha(t - \beta))) = \frac{p}{2} \left( 1 + \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\alpha(t-\beta)} \exp(-\tau^2) d\tau \right) \quad (12)$$

Donde:

- la función  $\Psi$  es la función de error gaussiana (escrita explícitamente arriba).
- $\frac{p}{2}$  es el valor de crecimiento máximo, o bien, la estimación de cuantos casos se esperan para el final de la pandemia.
- $\alpha$  es un parámetro de crecimiento.
- $\beta$  es el tiempo en el que la tasa de aumento es máxima.

# Datos de interés para la pandemia

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

Introducción

Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión

- La derivada de la ec. (12) nos arroja la curva que modela el número casos diarios confirmados en el tiempo  $t$ , la cual es:

$$n(t) = \frac{p\alpha}{2\sqrt{\pi}} \left( e^{-\frac{1}{2}\alpha^2(t-\beta)^2} \right) \quad (13)$$

- Para estimar el tiempo  $t$  en el cual se encuentre la incidencia máxima de casos diarios, basta con estimar el parámetro  $\beta$ .
- Cuantos casos se estiman para el pico

$$n(\beta) = \frac{p\alpha}{2\sqrt{\pi}} \quad (14)$$

- Estimar el numero de casos acumulados al tiempo  $t = \beta$ , esto se estima como  $N(\beta)$

# Contenido

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

Introducción

Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión

1 Introducción

2 Teoría

3 Resultados

4 Comparación de los modelos

5 Conclusión



En esta sección veremos los modelos resultantes para cada uno de los países seleccionados, los cuales son:

- 1 México
- 2 Egipto
- 3 Rusia
- 4 Brasil
- 5 Alemania

# México

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

Introducción

Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión

	Modelo		
	<i>Gompertz</i>	<i>Logístico</i>	<i>Normal</i>
Parámetros	$\alpha = 1046175$	$\gamma_0 = 731650$	$p = 1510456$
	$\beta = 11.36096$	$\gamma_1 = 261.2094$	$\alpha = 0.02194987$
	$\kappa = 0.01627938$	$\gamma_2 = 0.03812863$	$\beta = 147.9341$
Casos acumulados al final de la pandemia	1046175	731650	755228
Fecha del pico	2020-07-26	2020-07-23	2020-07-25
Casos acumulados estimados para el pico	383113	366092	378050
Fecha del 95% de avance en la pandemia	2021-01-25	2020-10-08	2020-10-08

# México, Modelo Gompertz para casos acumulados

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

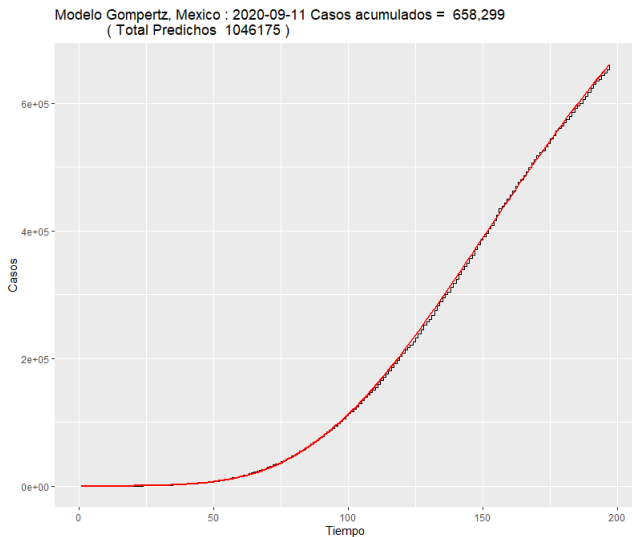
Introducción

Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión



# México, Modelo Gompertz para casos diarios

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

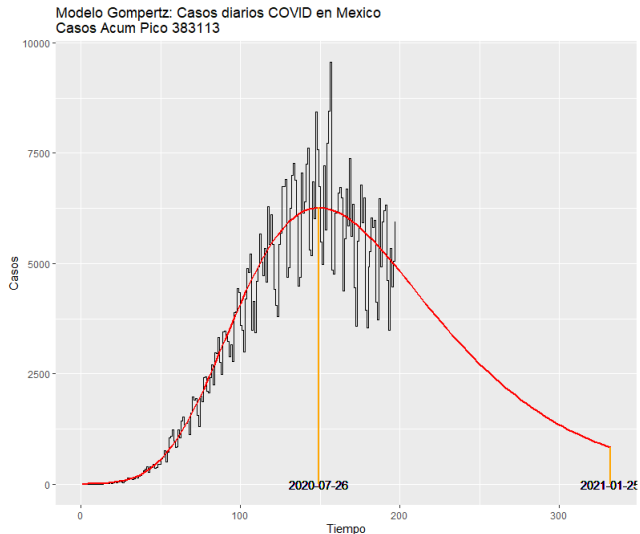
Introducción

Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión



# México, Modelo Logístico para casos acumulados

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

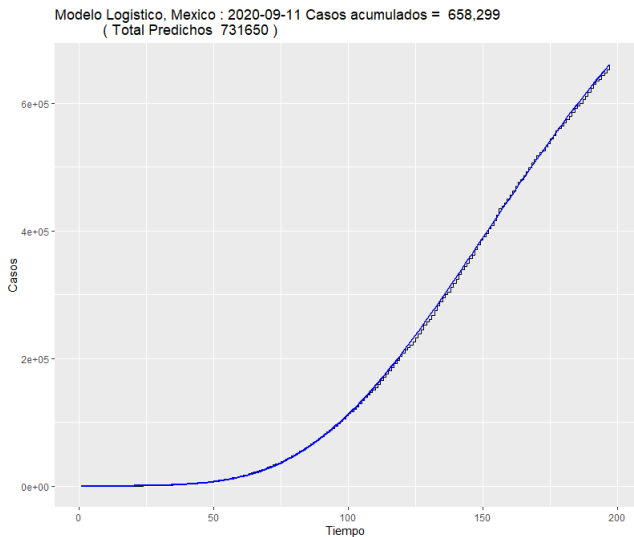
Introducción

Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión



# México, Modelo Logístico para casos diarios

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

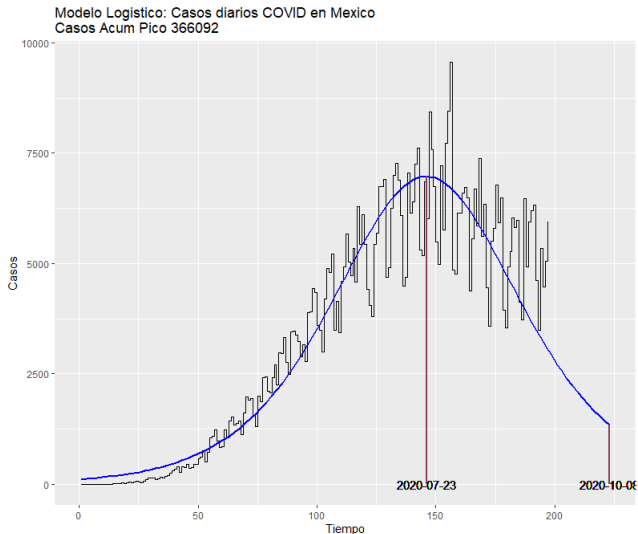
Introducción

Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión



# México, Modelo Normal para casos acumulados

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

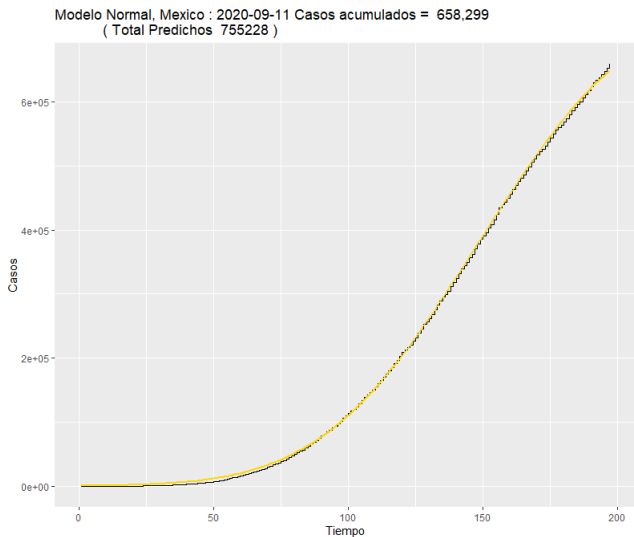
Introducción

Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión



# México, Modelo Normal para casos diarios

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

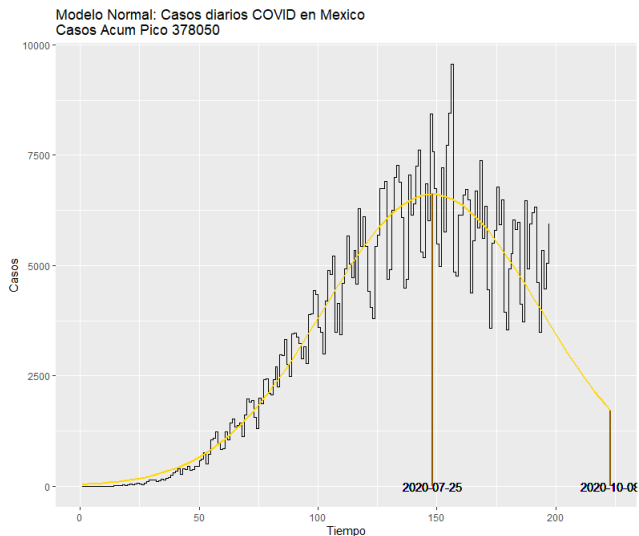
Introducción

Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión





# Egipto

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

Introducción

Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión

	Modelo		
	<i>Gompertz</i>	<i>Logístico</i>	<i>Normal</i>
Parámetros	$\alpha = 104630.3$	$\gamma_0 = 99820.28$	$p = 197865.6$
	$\beta = 87.88444$	$\gamma_1 = 2407.838$	$\alpha = 0.03722599$
	$\kappa = 0.03853526$	$\gamma_2 = 0.06205153$	$\beta = 125.0506$
<b>Casos acumulados al final de la pandemia</b>	104630	99820	98933
<b>Fecha del pico</b>	2020-06-09	2020-06-18	2020-06-18
<b>Casos acumulados estimados para el pico</b>	38263	49160	49392
<b>Fecha del 95% de avance en la pandemia</b>	2020-08-25	2020-08-05	2020-08-01

# Egipto, Modelo Gompertz para casos acumulados

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

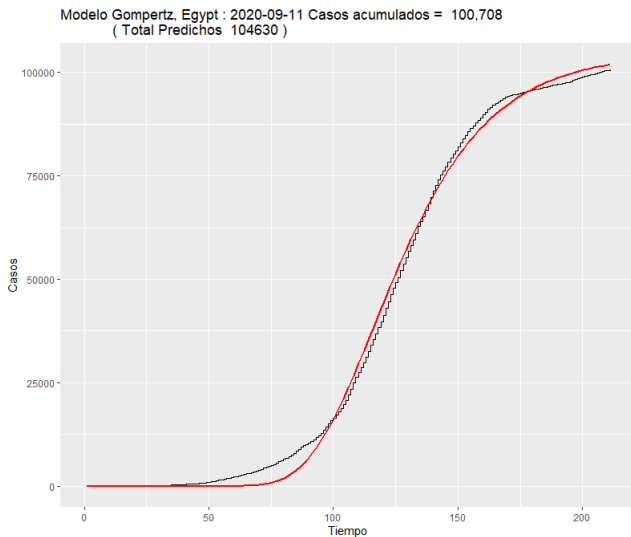
Introducción

Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión



# Egipto, Modelo Gompertz para casos diarios

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

Introducción

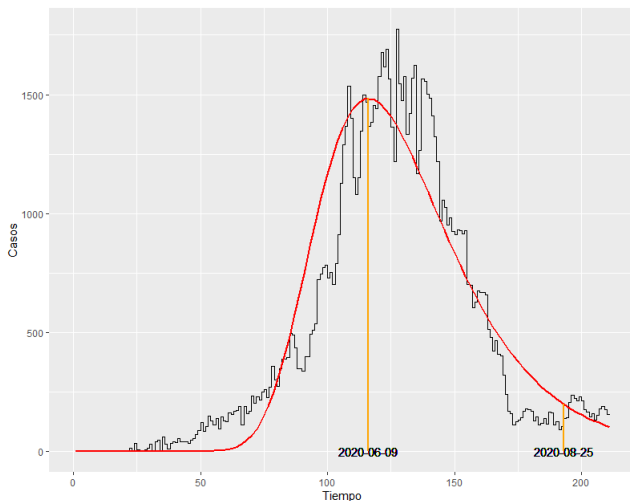
Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión

Modelo Gompertz: Casos diarios COVID en Egypt  
Casos Acum Pico 38263



# Egipto, Modelo Logístico para casos acumulados

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

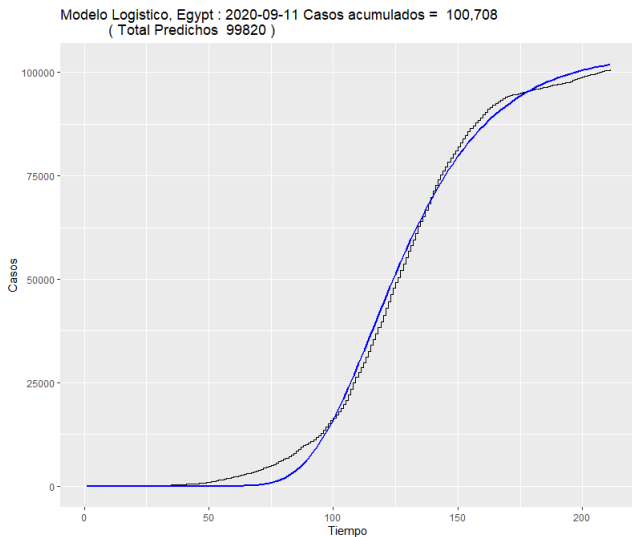
Introducción

Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión



# Egipto, Modelo Logístico para casos diarios

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

Introducción

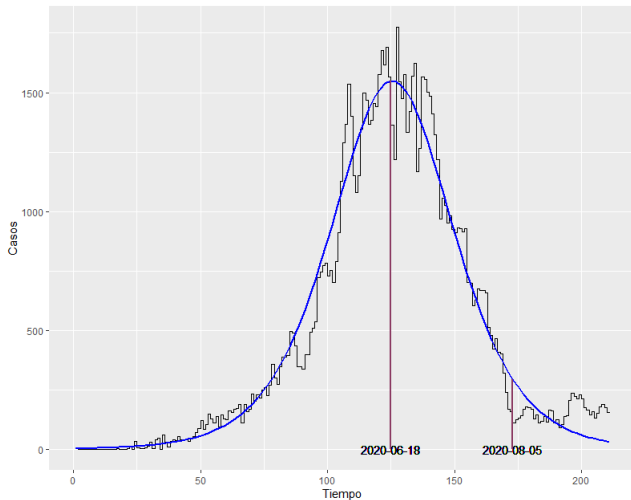
Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión

Modelo Logístico: Casos diarios COVID en Egypt  
Casos Acum Pico 49160



# Egipto, Modelo Normal para casos acumulados

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

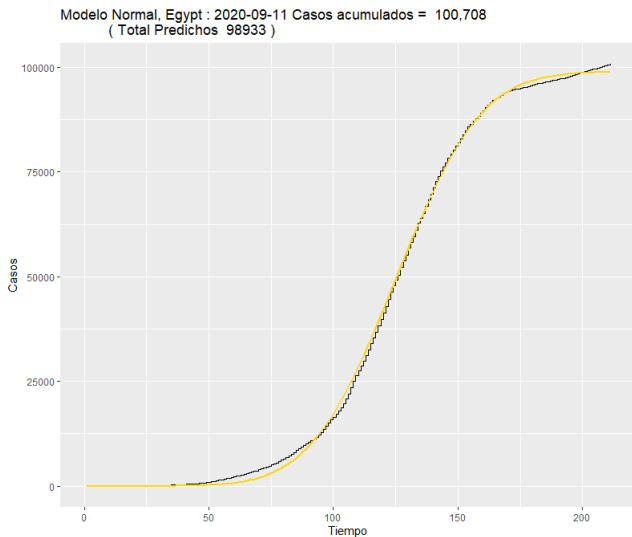
Introducción

Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión



# Egipto, Modelo Normal para casos diarios

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

Introducción

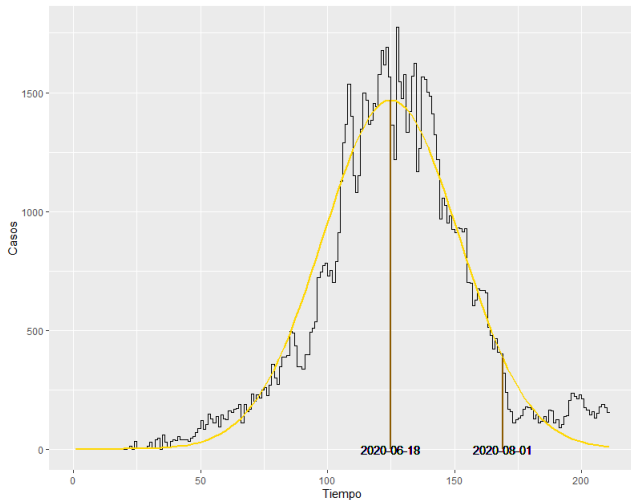
Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión

Modelo Normal: Casos diarios COVID en Egypt  
Casos Acum Pico 49392



# Rusia

## COVID-19 y Modelos No lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

Introducción

Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión

	Modelo		
	<i>Gompertz</i>	<i>Logístico</i>	<i>Normal</i>
Parámetros	$\alpha = 1110127$	$\gamma_0 = 1000001$	$p = 1993877$
	$\beta = 17.48475$	$\gamma_1 = 249.8297$	$\alpha = 0.0241385$
	$\kappa = 0.02300265$	$\gamma_2 = 0.04064987$	$\beta = 135.7528$
<b>Casos acumulados al final de la pandemia</b>	1110127	1000001	996939
<b>Fecha del pico</b>	2020-06-03	2020-06-15	2020-06-15
<b>Casos acumulados estimados para el pico</b>	404717	501901	500842
<b>Fecha del 95% de avance en la pandemia</b>	2020-10-11	2020-08-26	2020-08-22



# Rusia, Modelo Gompertz para casos acumulados

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

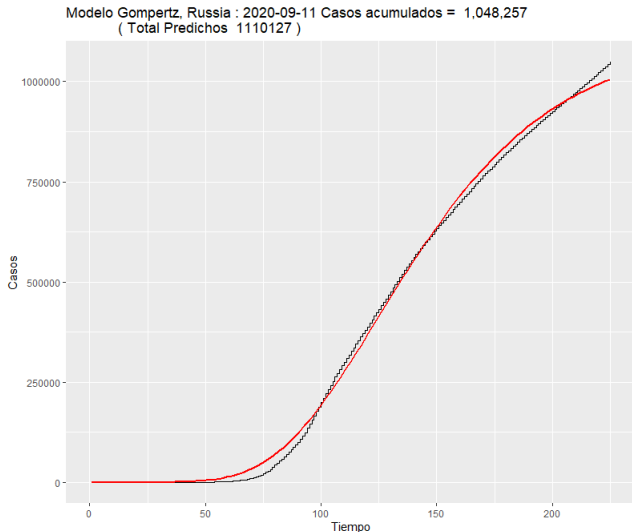
Introducción

Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión



# Rusia, Modelo Gompertz para casos diarios

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

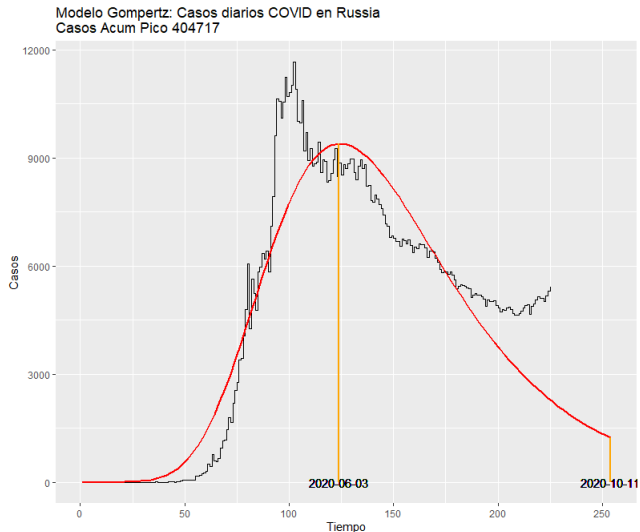
Introducción

Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión



# Rusia, Modelo Logístico para casos acumulados

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

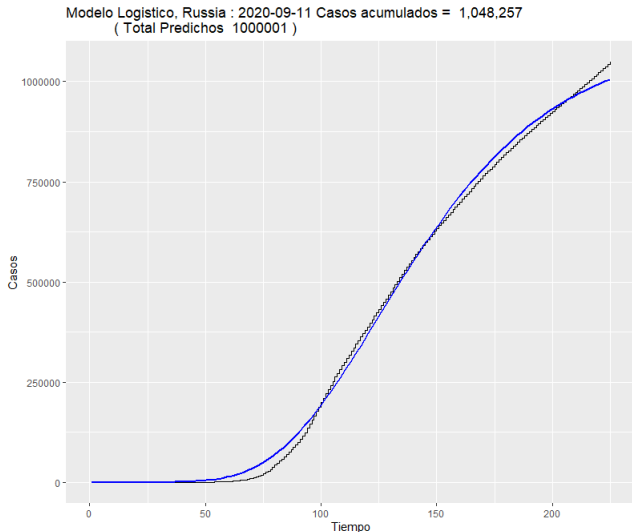
Introducción

Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión



# Rusia, Modelo Logístico para casos diarios

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

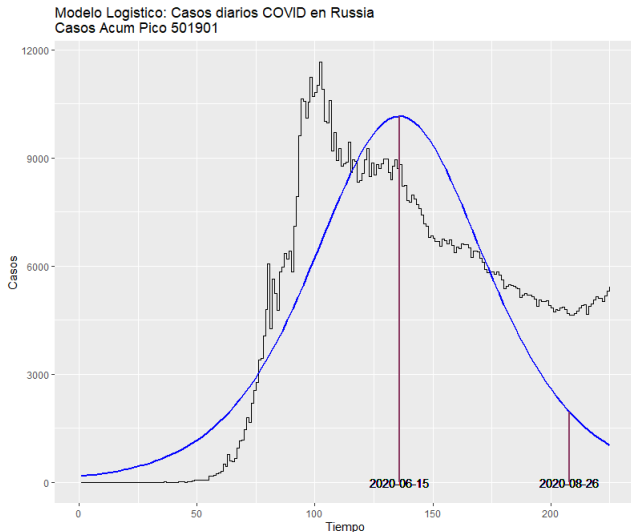
Introducción

Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión



# Rusia, Modelo Normal para casos acumulados

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

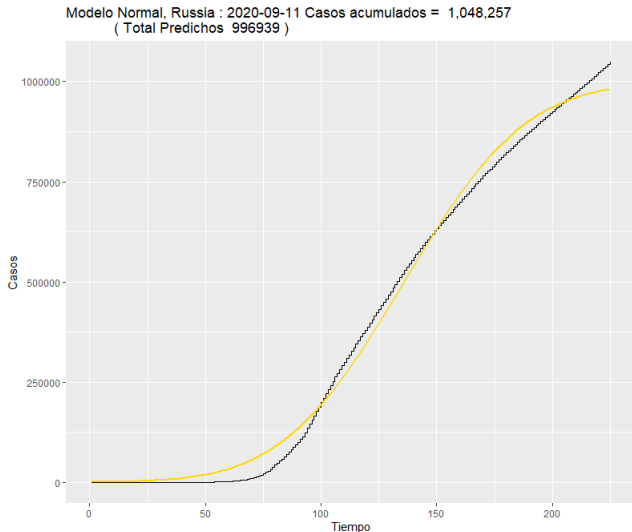
Introducción

Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión



# Rusia, Modelo Normal para casos diarios

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

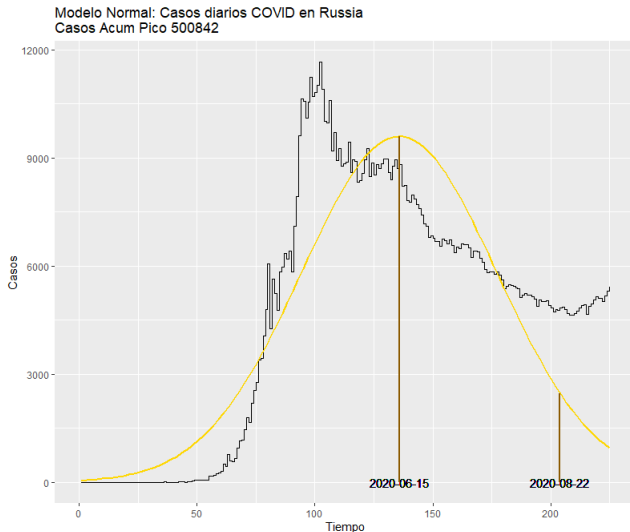
Introducción

Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión



# Brasil

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

Introducción

Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión

	Modelo		
	<i>Gompertz</i>	<i>Logístico</i>	<i>Normal</i>
Parámetros	$\alpha = 7088709$	$\gamma_0 = 4852805$	$p = 10085787$
	$\beta = 12.47444$	$\gamma_1 = 335.9201$	$\alpha = 0.0220306$
	$\kappa = 0.01618119$	$\gamma_2 = 0.03843174$	$\beta = 153.7158$
Casos acumulados al final de la pandemia	7088709	4852805	5042894
Fecha del pico	2020-07-31	2020-07-26	2020-07-29
Casos acumulados estimados para el pico	2609312	2409805	2534044
Fecha del 95% de avance en la pandemia	2021-01-31	2020-10-11	2020-10-11

# Brasil, Modelo Gompertz para casos acumulados

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

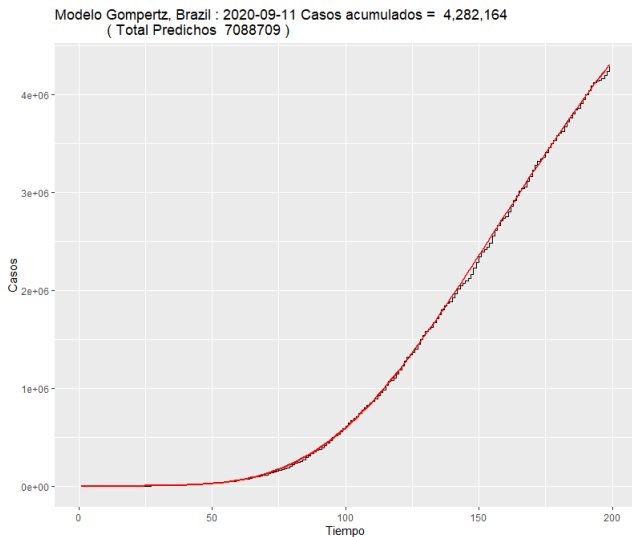
Introducción

Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión





# Brasil, Modelo Gompertz para casos diarios

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

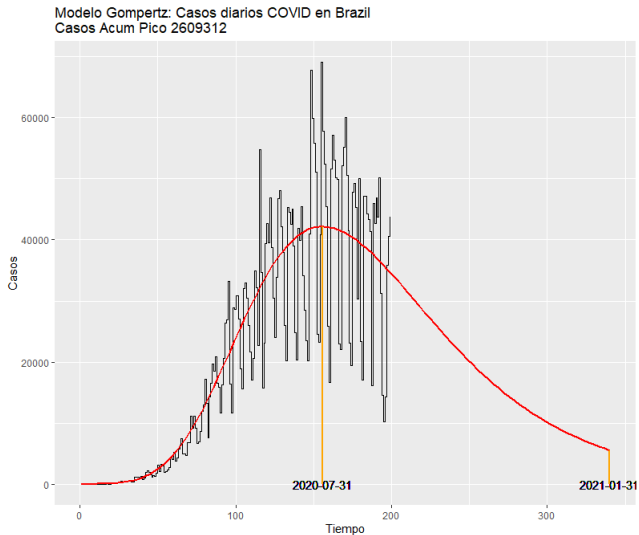
Introducción

Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión



# Brasil, Modelo Logístico para casos acumulados

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

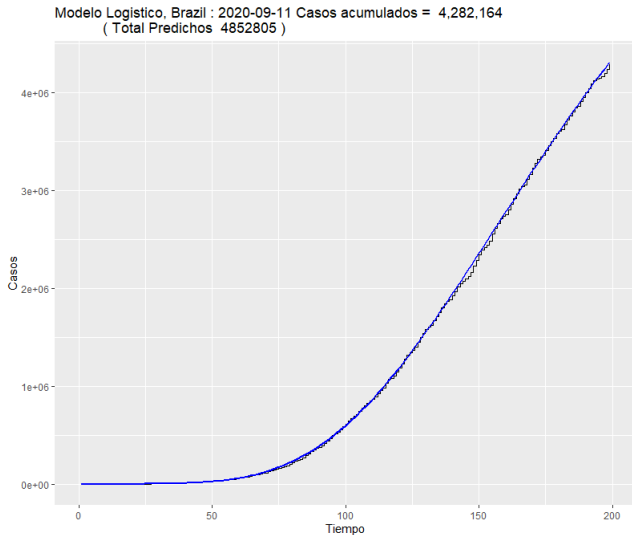
Introducción

Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión



# Brasil, Modelo Logístico para casos diarios

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

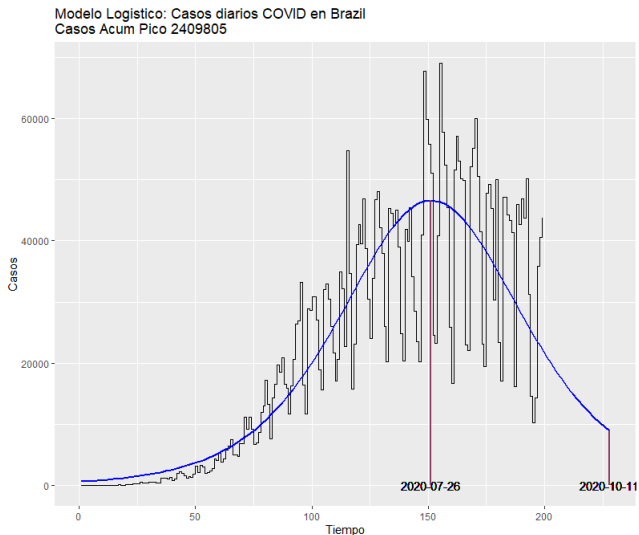
Introducción

Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión



# Brasil, Modelo Normal para casos acumulados

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

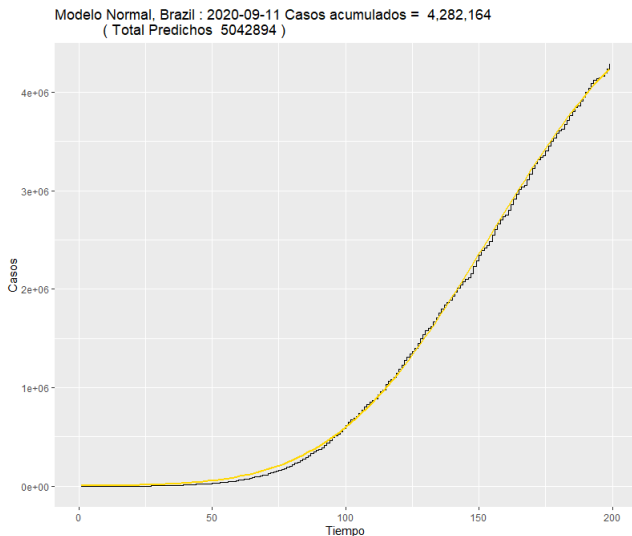
Introducción

Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión



# Brasil, Modelo Normal para casos diarios

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

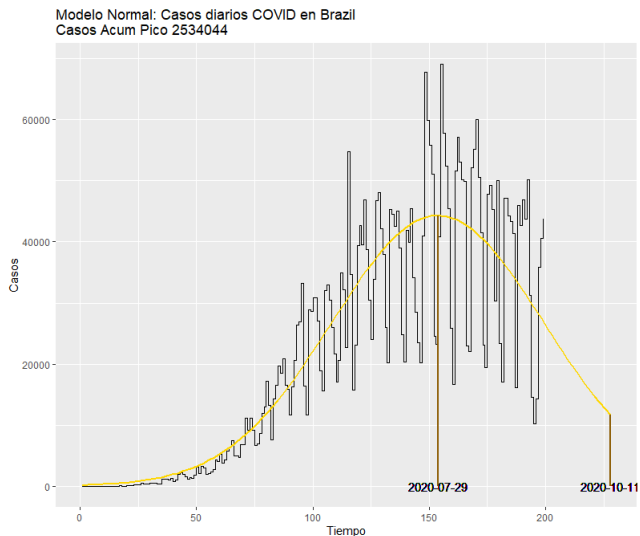
Introducción

Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión



# Alemania

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

Introducción

Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión

	Modelo		
	<i>Gompertz</i>	<i>Logístico</i>	<i>Normal</i>
Parámetros	$\alpha = 215464.3$	$\gamma_0 = 209292.1$	$p = 417016.1$
	$\beta = 17.20218$	$\gamma_1 = 195.1534$	$\alpha = 0.04191388$
	$\kappa = 0.04194959$	$\gamma_2 = 0.06923798$	$\beta = 76.16083$
<b>Casos acumulados al final de la pandemia</b>	215464	209292	208508
<b>Fecha del pico</b>	2020-04-04	2020-04-12	2020-04-12
<b>Casos acumulados estimados para el pico</b>	79862	104034	103693
<b>Fecha del 95% de avance en la pandemia</b>	2020-06-14	2020-05-25	2020-05-21

# Alemania, Modelo Gompertz para casos acumulados

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

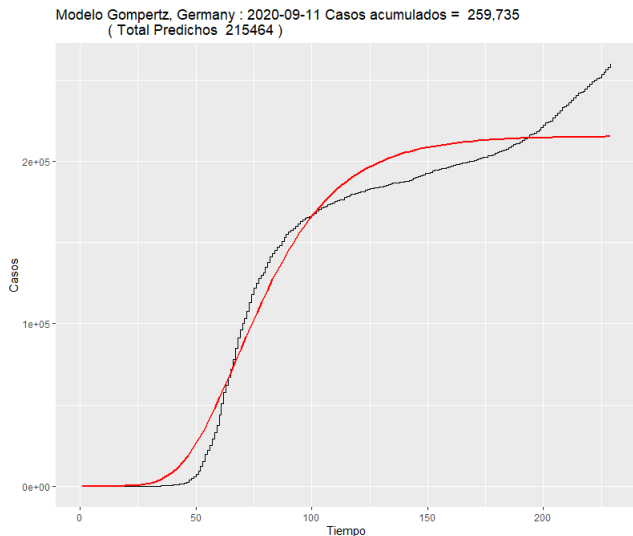
Introducción

Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión



# Alemania, Modelo Gompertz para casos diarios

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

Introducción

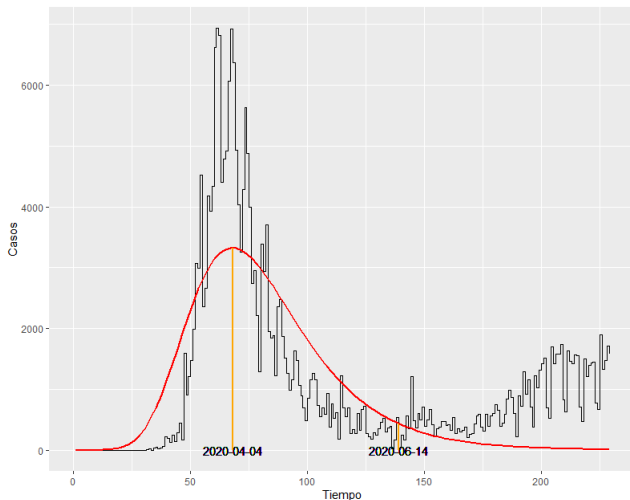
Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión

Modelo Gompertz: Casos diarios COVID en Germany  
Casos Acum Pico 79862





# Alemania, Modelo Logístico para casos acumulados

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

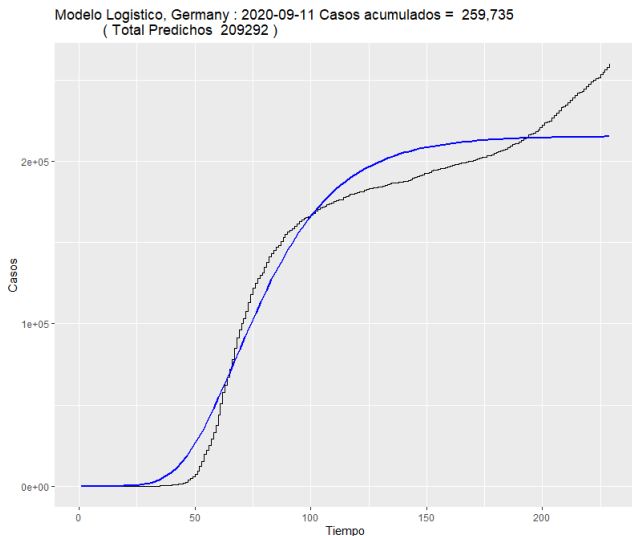
Introducción

Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión



# Alemania, Modelo Logístico para casos diarios

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

Introducción

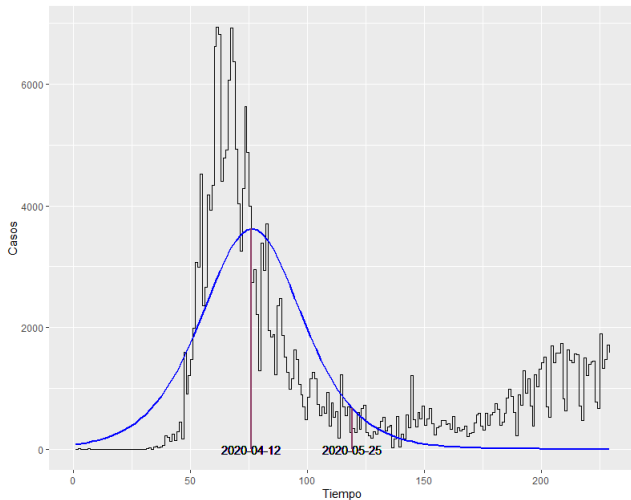
Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión

Modelo Logístico: Casos diarios COVID en Germany  
Casos Acum Pico 104034



# Alemania, Modelo Normal para casos acumulados

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

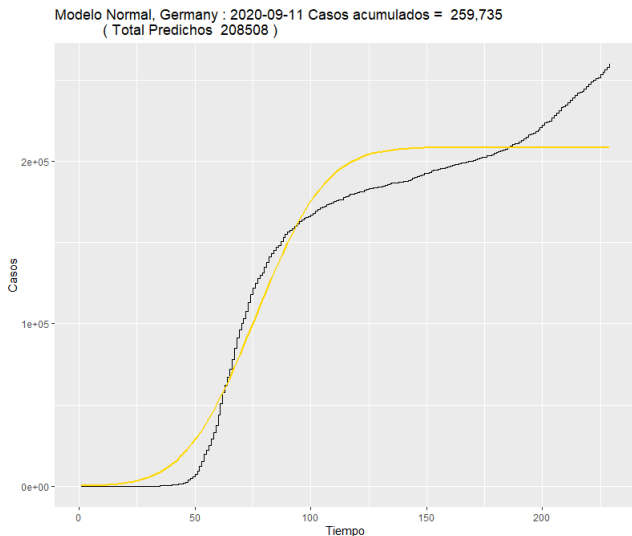
Introducción

Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión



# Alemania, Modelo Normal para casos diarios

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

Introducción

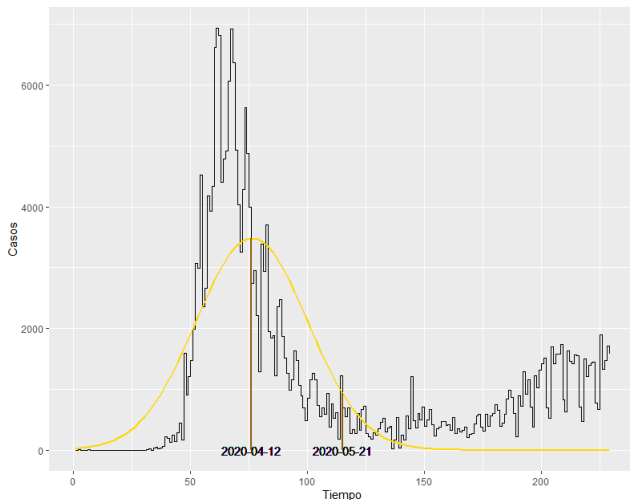
Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión

Modelo Normal: Casos diarios COVID en Germany  
Casos Acum Pico 103693



# Contenido

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

Introducción

Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión

1 Introducción

2 Teoría

3 Resultados

4 Comparación de los modelos

5 Conclusión

La comparación de modelos a través de procesos estocásticos es una tarea muy complicada, aun mas si los modelos tienen diferente tipo de parámetros; Por tal motivo se optó por realizar la comparación de los modelos midiendo el MSE de los casos acumulados con los casos predichos por el modelo.

		Modelo		
		<i>Gompertz</i>	<i>Logístico</i>	<i>Normal</i>
Métricas del error	<i>MSE</i>	4929030	49934247	8537168
	<i>RMSE</i>	2220.142	7066.417	2921.843
	<i>MAE</i>	1625.118	6250.701	2443.945

# Egipto

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

Introducción

Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión

		Modelo		
		Gompertz	Logístico	Normal
Métricas del error	MSE	4512989	277487	931420.8
	RMSE	2124.38	526.7704	965.1014
	MAE	1680.521	414.5745	752.739



# Rusia

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

Introducción

Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión

		Modelo		
		<i>Gompertz</i>	<i>Logístico</i>	<i>Normal</i>
Métricas del error	MSE	244663284	1031991531	752250183
	RMSE	15641.72	32124.62	27427.18
	MAE	12384.46	27771.95	22894.85

# Brasil

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

Introducción

Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión

		Modelo		
		Gompertz	Logístico	Normal
Métricas del error	MSE	272160709	3143640103	907970244
	RMSE	16497.29	56068.17	30132.54
	MAE	10991.82	50541.51	25270

# Alemania

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

Introducción

Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión

		Modelo		
		<i>Gompertz</i>	<i>Logístico</i>	<i>Normal</i>
Métricas del error	MSE	210275104	292430804	303170363
	RMSE	14500.87	17100.61	17411.79
	MAE	11382.71	13903.18	13864.07

# Contenido

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

Introducción

Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión

1 Introducción

2 Teoría

3 Resultados

4 Comparación de los modelos

5 Conclusión

# Conclusión

COVID-19 y  
Modelos No  
lineales

Sarai E  
Gómez Ibarra

Introducción

Teoría

Resultados

Comparación  
de los modelos

Conclusión

Nótese que el modelo Gompertz es el que tuvo un mejor desempeño en la mayoría de los países, por tanto, es recomendable usar el modelo Gompertz como primera opción para la modelación de la pandemia, en cambio también es importante hacer uso de los demás modelos mencionados ya que cada país tiene un comportamiento distinto ante la situación, estas variaciones pueden ser efecto de muchas cosas, como las medidas preventivas, el tiempo que duro la cuarentena, las bases económicas, entre otras cosas.



Prats, C. et al. (2020) Analysis and prediction of COVID-19 for different regions and countries. Daily report 27-03-2020. UPC, BioComSC, CMCiB, IGTP.



IHME COVID-19 forecasting team (2020). Forecasting COVID-19 impact on hospital beddays, ICU-days, ventilator days and deaths by US state in the next 4 months. Report.



Huet, S. et al. (2004). Statistical Tools for Nonlinear Regression. Springer.



Michael H. Kutner, Christopher J. Nachtsheim. (2005). Applied Linear Statistical Models. New York: McGraw-Hill Irwin.



Cornejo-Zúñiga, Ó.; Rebolledo-Vega, R. (2016).  
Estimación de parámetros en modelos no lineales:  
algoritmos y aplicaciones. Revista EIA, 13(25), enero-junio,  
pp. 81-98. [Online]. Disponible en: DOI:  
<http://dx.doi.org/10.14508/reia.2016.13.25.81-98>



Organización Mundial de la Salud (2020). Preguntas y  
respuestas sobre la enfermedad por coronavirus  
(COVID-19), de Organización Mundial de la Salud Sitio  
web: <https://www.who.int/es/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public/q-a-coronaviruses>