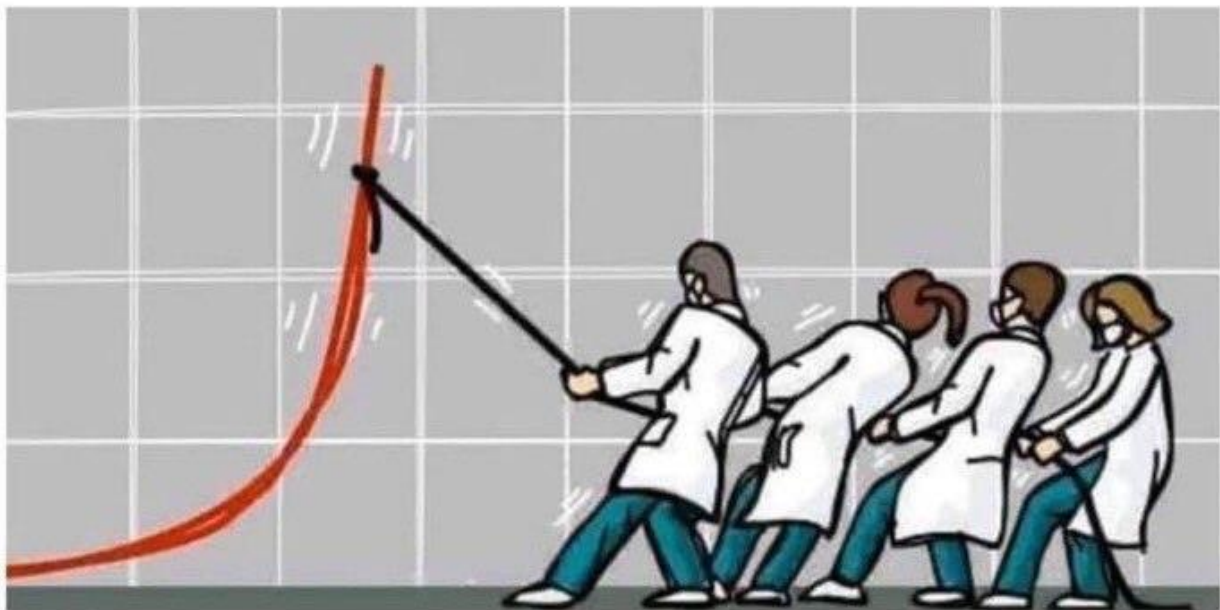




COVID-19

APLANANDO LA CURVA

Los casos español y chileno



Fuente: Internet

¿Cuándo se alcanzará el “peak” de contagiados?

Autor: Felipe Collado Lizama
Doctor en Matemáticas Aplicadas

Barcelona, Abril, 2020

Documento dedicado a:

1. Chari, mi mujer, que está dejando la piel cada día como enfermera de un hospital español.
2. A mis colegas matemáticos chilenos dedicados a la modelación, para invitarlos a que hagan un esfuerzo parecido al realizado en este breve estudio, sensiblemente mejorable.
3. A mis amigos de “letras”, que deben estar pasándolo mal tratando de entender la curva exponencial y a mi amigo Nelson Muñoz, quien insistió en darle a este análisis una estructura suficientemente formal para que circulara públicamente en Chile.

Este documento, hecho en muy poco tiempo, se alimenta de numerosas fuentes y no pretende ser original. Sin embargo, es un modelo matemático que puedes ser útil para contrastar con datos sobre los cuales se están tomando las decisiones.

Contenido

1. Introducción	4
2. El modelo analítico de Gompertz	9
3. Los datos de la epidemia de Chile y de España	11
4. Propiedades de la función de Gompertz.....	16
5. Previsiones para la pandemia de coronavirus en Chile	18
5.1. Escenario de modelamiento con datos hasta el 28/03/2020	19
5.2. Escenario de modelamiento con datos hasta el día 31/03/2020	21
5.3. Conclusiones	23

1. Introducción

En estos tiempos que corren, estamos siendo sometidos a fuertes tensiones psicológicas, pues nadie estaba preparado para esta plaga de dimensiones planetarias, con este nuevo coronavirus al que se conoce en ámbitos científicos como SARS-CoV-2 y que se transmite a los humanos desde animales (el nombre COVID-19 hace realmente referencia a la enfermedad, no al virus).

En el escenario actual, cada uno de nosotros se convierte en un héroe (anónimo eso sí) ayudando a combatir la curva de crecimiento, contribuyendo a frenarla, aplanarla, laminarla, etc., etc.

A todos se nos ha hecho bastante familiar figuras como la siguiente:

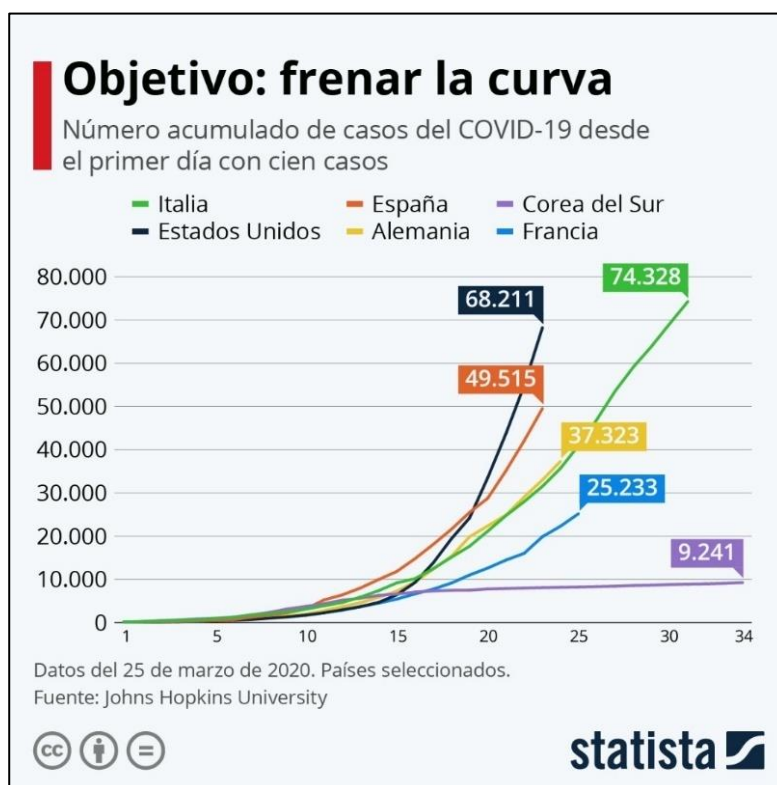


Figura 1. Curvas de casos de COVID-19 en diferentes países del mundo
Fuente: <https://es.statista.com>.

Sobre este virus es poco lo que se sabe hasta hoy, pero todos sabemos que:

1. Se debe huir como del hambre de la curva italiana.
2. Se debe buscar parecerse lo más posible a la curva seguida por Corea del Sur.

3. Un crecimiento exponencial de la curva de contagiados es un desastre.

En España, la curva odiada es la italiana. En Chile, ese rol lo juega la curva española.

La situación se ve menos dramáticas, al menos aparentemente, con la versión a escala logarítmica de las curvas:

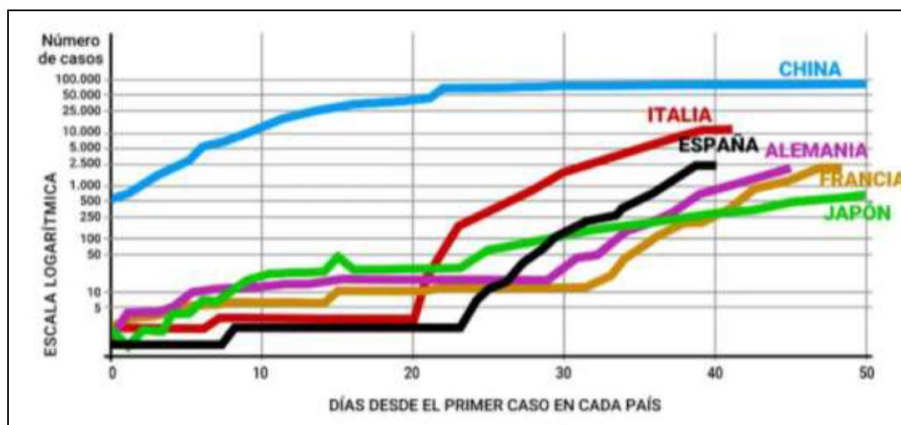


Figura 2. Curvas a escala logarítmica de casos de COVID-19 en diferentes países del mundo para el día 13 de marzo de 2020

Fuente: <https://es.statista.com>

Confieso que me cuesta leer adecuadamente estas curvas. Por eso, creo que no todo el mundo entiende la Figura 2, situación que podría darse también para un análisis comparativo entre España y Chile. Pero, vamos por partes:

Primero, veamos qué significa que una curva muestre un crecimiento exponencial, para lo cual nos serviremos exclusivamente de las curvas de los casos de COVID-19 registrados tanto en Chile como en España.

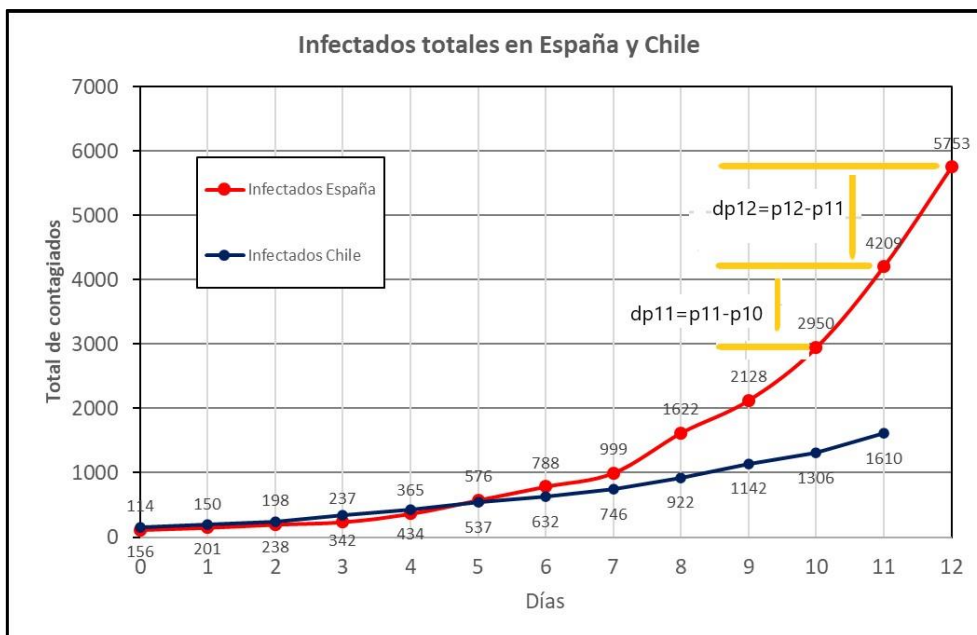


Figura 3. Curvas de casos de COVID-19 en Chile y España
 Fuente: Elaboración propia con casos oficiales de ambos países

A primera vista, se ve que ambas curvas presentan una forma convexa (como si fuesen la parte inferior de una gran circunferencia). Se observa también fácilmente que, para la curva española, los incrementos diarios de contagios son cada vez más grandes. Así, por ejemplo, el incremento diario entre el día 12 y el 11, dp_{12} es claramente mayor que el incremento diario entre el día 11 y el 10, dp_{11} , es decir:

$$dp_{12} > dp_{11}$$

Como este comportamiento es sistemático, y no se restringe a un solo intervalo, decimos que la curva española tiene o presenta un crecimiento exponencial.

La curva chilena también presenta un comportamiento exponencial, pero a un ritmo mucho más lento. Cuantificar esos ritmos es muy relevante, pues de ellos depende en gran medida, el comportamiento del proceso a lo largo de todo su desarrollo.

El hecho de que las curvas presenten un comportamiento exponencial (incremento en un periodo sistemáticamente mayor que el observado en el anterior), nos indica que el comportamiento matemático del fenómeno nos conduce a buscar curvas exponenciales del estilo:

$$P(t) = K * b^{rt}$$

Donde la variable temporal aparece en el exponente de la expresión.

La Figura 4 muestra que, para el periodo estudiado, ambas curvas pueden envolver sendas curvas exponenciales.

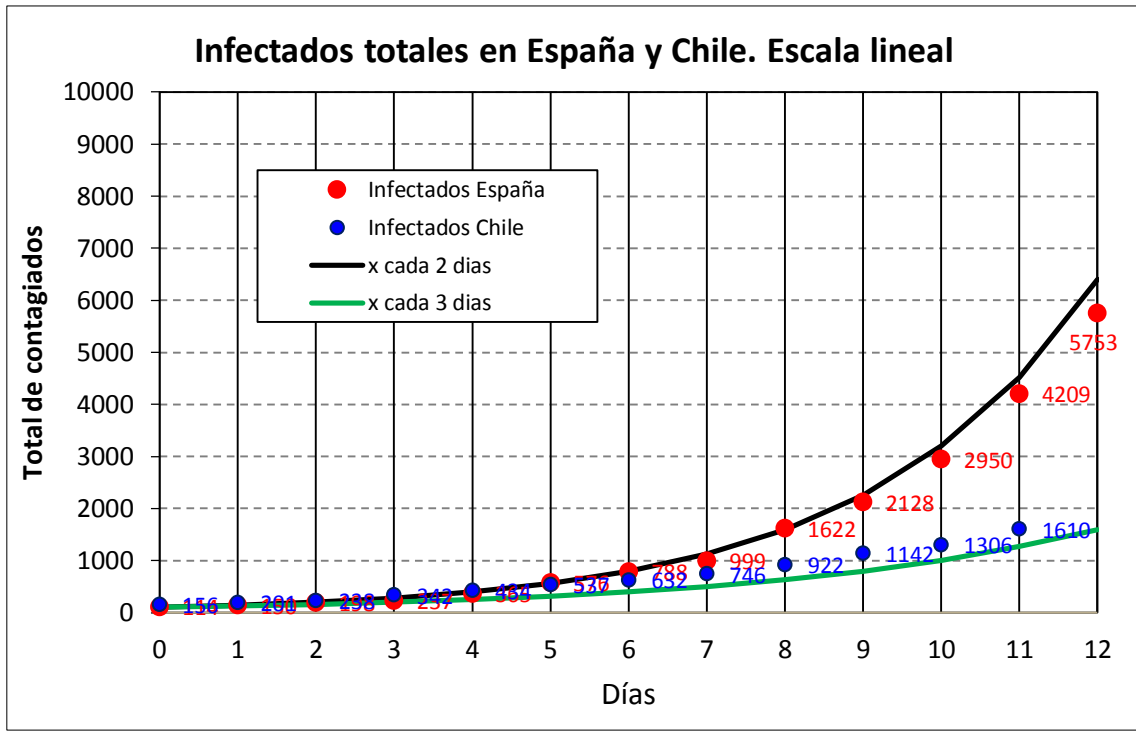


Figura 4. *Infectados totales en España y Chile.*

En la Figura 4, junto a las curvas de datos de ambos países, también se han graficado sendas curvas teóricas, una verde y otra negra, a modo de referencia. La línea verde, correspondiente a la curva que, comenzando en 100, duplica sus valores cada tres días (esto se expresa matemáticamente por la expresión $P(t) = 100 \cdot 2^{t/3}$); Análogamente, la línea negra corresponde a la curva que comenzando en 100, duplica sus valores cada dos días (que se expresa como $P(t) = 100 \cdot 2^{t/2}$).

A primera vista, puede verse que tanto la curva chilena como la española están entre las curvas verde y negra y que envuelven los datos observados a partir del día 5. Con esto, hemos dado un paso adelante: conocemos los ritmos de contagio para ambos casos, es decir, cada cuánto tiempo se duplican.

Una observación más detallada permite darnos cuenta que la curva española se separa a medio camino de la de Chile, lo que significaría que la curva verde es más favorable.

Dado que ya sabemos que las curvas de interés presentan un comportamiento de tipo exponencial, podemos intentar una transformación de la función **P** para que su representación resulte más fácil de interpretar. Es por ello que introducimos la escala logarítmica. Sabemos que si a las funciones exponenciales les aplicamos una transformación logarítmica, éstas se comportan como líneas rectas (que en particular puede ser el logaritmo neperiano **ln** que usamos a continuación). Formalmente:

$$\text{Si } P(t) = K * e^{rt}, \text{ entonces } \ln P(t) = \ln K + r * t \text{ (e=2,71828....)}$$

Más allá de la formalidad matemática, lo más importante aquí es darnos cuenta que cuando la variable **P(t)** es una exponencial con tasa de crecimiento **r**, entonces **ln P(t)** se comporta como una línea recta con pendiente **r**. Apliquemos esto a nuestras curvas:

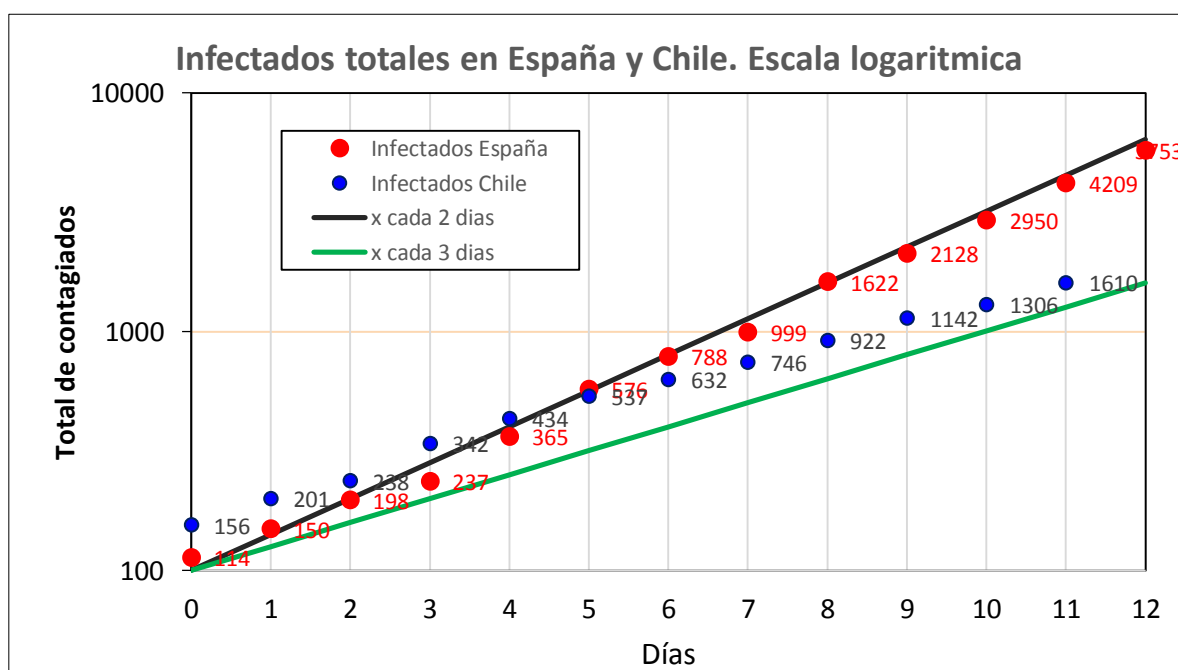


Figura 5. *Infectedos totales en España y Chile.*

La Figura 5 muestra que las dos líneas envolventes (la verde y la negra) presentan un comportamiento perfectamente rectilíneo. Respecto de las curvas, puede verse con mucha claridad que la curva española mantiene una tasa de crecimiento muy cercana a la de la línea negra, con duplicación de los contagiados cada 2 días. La curva chilena mantiene al principio una tasa de crecimiento muy cercana a la línea negra, y a mitad del periodo, la tendencia cambia hacia la línea verde, donde los contagiados pasan a duplicarse de cada 2 a 3 días.

2. El modelo analítico de Gompertz ¹

Un modelo analítico, matemático, es una herramienta práctica que utilizamos los matemáticos para reproducir lo mejor posible un fenómeno físico y debe ser capaz de capturar la esencia del fenómeno estudiado.

Existen modelos matemáticos utilizados para resolver problemas epidemiológicos muy sofisticados que resuelven complejas ecuaciones y requieren de un esfuerzo computacional relevante. Ese no es nuestro caso. El modelo matemático que utilizaremos aquí es bastante elemental, basado en una expresión analítica que depende de no más de tres parámetros de ajuste, que ha sido implementado en una simple hoja Excel

Experimentalmente se ha comprobado que la mayor parte de las poblaciones crecen según una función similar a la sigmoidea, típica del modelo logístico. Asimismo, se ha constatado que, en muchas ocasiones, la tasa de crecimiento no llega a su máximo cuando se alcanza la mitad de carga del sistema, lo que aconseja construir un modelo más general que el logístico.

En el caso del COVID-19, al inicio de una epidemia se espera un aumento exponencial de casos y un consiguiente crecimiento explosivo de la población contagiada desde un periodo al siguiente. Este comportamiento no es más que la fase inicial de un modelo de crecimiento sigmoideo.

El modelo de crecimiento sigmoideo más conocido fue propuesto por el matemático belga Pierre François Verhulst alrededor del año 1830 y, por ello, se le suele llamar función de Verhulst o función logística. No obstante, para numerosos procesos de crecimiento biológico se suele utilizar el modelo propuesto poco antes por el matemático inglés Benjamin Gompertz (1825). Dicho modelo, es muy útil para estudiar la relación entre la edad y el incremento de la mortalidad en humanos, ampliamente utilizada en estudios de biología.

¹Este apartado profundiza en el modelo matemático utilizado para realizar las proyecciones. Es solo para lectores con una base matemática mínima y no es imprescindible para comprender el resto del documento.

El modelo también es muy utilizado en epidemiología para tratar problemas de infección. En este caso, para una población inicial p_0 , el problema de determinar el tamaño de la población P en cualquier instante t viene dado por el problema de valor inicial (ver <http://matema.ujaen.es/>):

$$P'(t) = -r P(t) \ln [P(t)/ K], \text{ con } P(0) = p_0$$

Que tiene por solución:

$$P(t) = K \exp [A e^{-r t}], \text{ con } A = \ln [p_0/ K].$$

Donde K es el número que refleja el máximo de casos que se van a alcanzar. La asíntota superior y r es la tasa constante de crecimiento.

El máximo crecimiento se obtiene cuando $P''(t) = 0$, instante que cumple $P(t) = K/e$.

En este informe utilizaré la función de Gompertz para analizar los datos de la expansión del COVID-19. Las propiedades de esta función se explican más adelante.

3. Los datos de la epidemia de Chile y de España

Tabla 1. Datos de contagios de Covid-19 en España al 27 de marzo.

Fuente: <https://www.dsn.gob.es>. Departamento de Seguridad de España

Date	Confirmed	
	New	Total
1/03/2020	23	73
2/03/2020	46	119
3/03/2020	31	150
4/03/2020	48	198
5/03/2020	39	237
6/03/2020	128	365
7/03/2020	65	430
8/03/2020	159	589
9/03/2020	410	999
10/03/2020	623	1622
11/03/2020	380	2002
12/03/2020	966	2968
13/03/2020	1241	4209
14/03/2020	1544	5753
15/03/2020	2000	7753
16/03/2020	1398	9151
17/03/2020	2027	11178
18/03/2020	2538	13716
19/03/2020	3431	17147
20/03/2020	2833	19980
21/03/2020	4946	24926
22/03/2020	3 646	28 572
23/03/2020	4 517	33 089
24/03/2020	6 584	39 673
25/03/2020	7 937	47 610
26/03/2020	8 578	56 188
27/03/2020	7 871	64 059
28/03/2020	8 189	72 248
29/03/2020	6 549	78 797
30/03/2020	6 398	85 195
31/03/2020	9 222	94 417

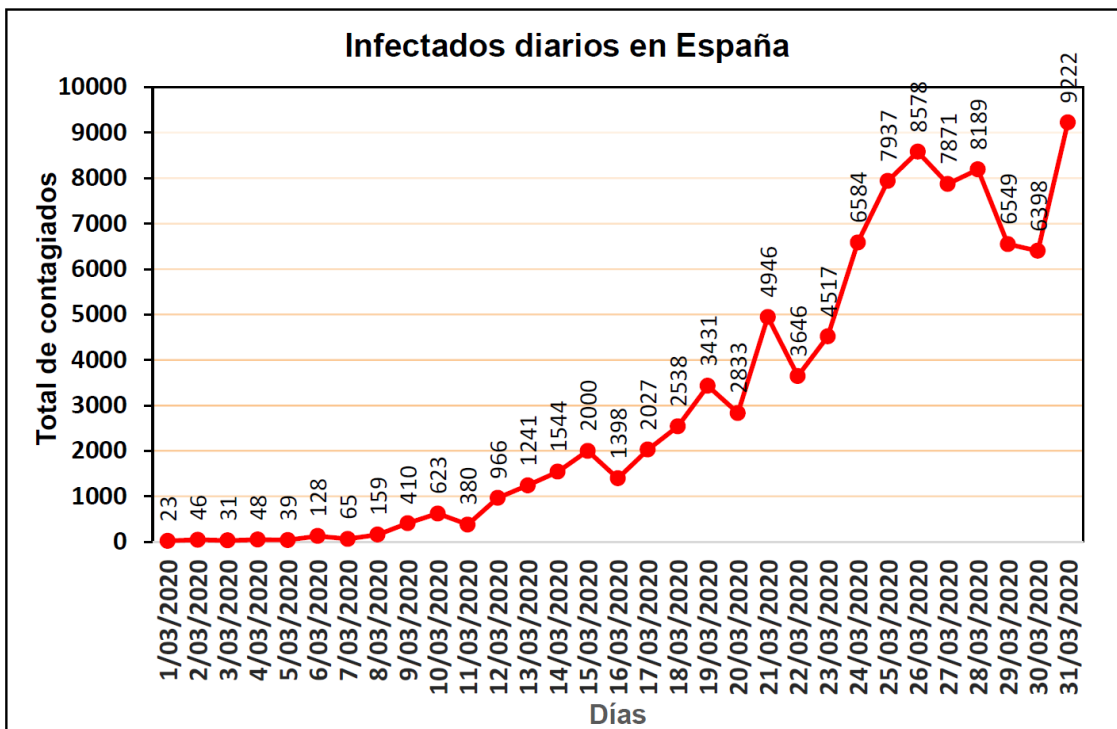


Figura 6. Infectados diarios en España.

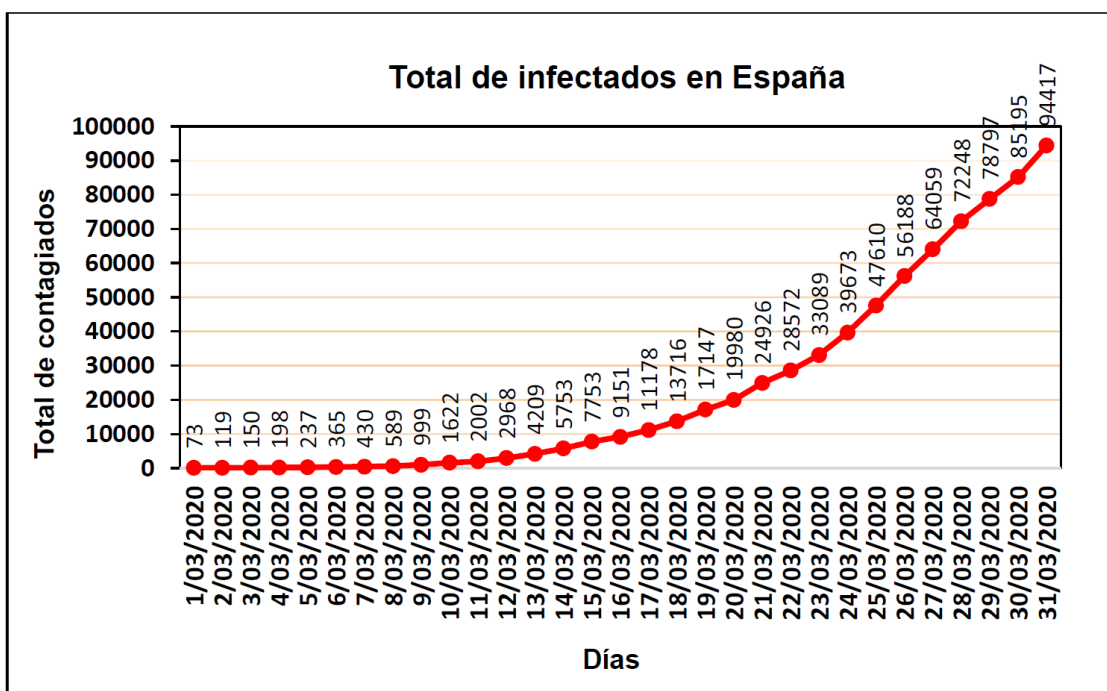


Figura 7. Infectados totales en España.

Tabla 2. Datos de contagios de Codiv-19 en Chile al 31 de marzo.*Fuente: Conferencia diaria del Ministerio de Salud*

Date	Confirmed	
	New	Total
1/03/2020	0	0
2/03/2020	0	0
3/03/2020	1	1
4/03/2020	2	3
5/03/2020	1	4
6/03/2020	1	5
7/03/2020	2	7
8/03/2020	3	10
9/03/2020	3	13
10/03/2020	4	17
11/03/2020	6	23
12/03/2020	10	33
13/03/2020	10	43
14/03/2020	18	61
15/03/2020	14	75
16/03/2020	81	156
17/03/2020	45	201
18/03/2020	37	238
19/03/2020	104	342
20/03/2020	92	434
21/03/2020	103	537
22/03/2020	95	632
23/03/2020	114	746
24/03/2020	176	922
25/03/2020	220	1142
26/03/2020	164	1306
27/03/2020	304	1610
28/03/2020	299	1909
29/03/2020	230	2139
30/03/2020	310	2449
31/03/2020	289	2738

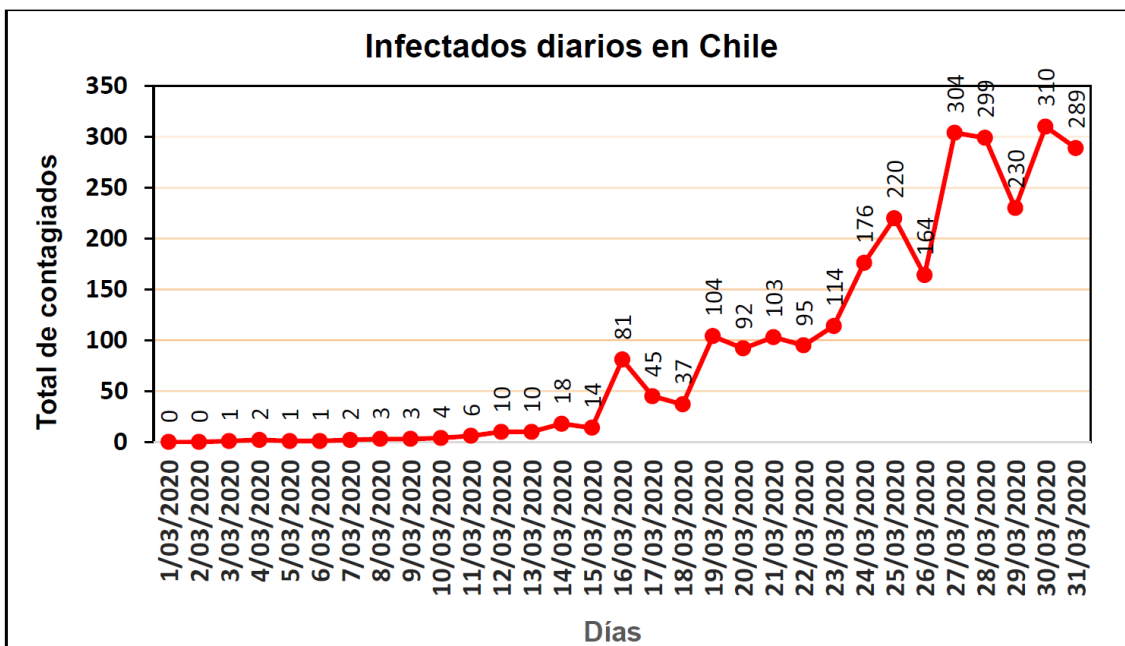


Figura 8. Infectados diarios en Chile.

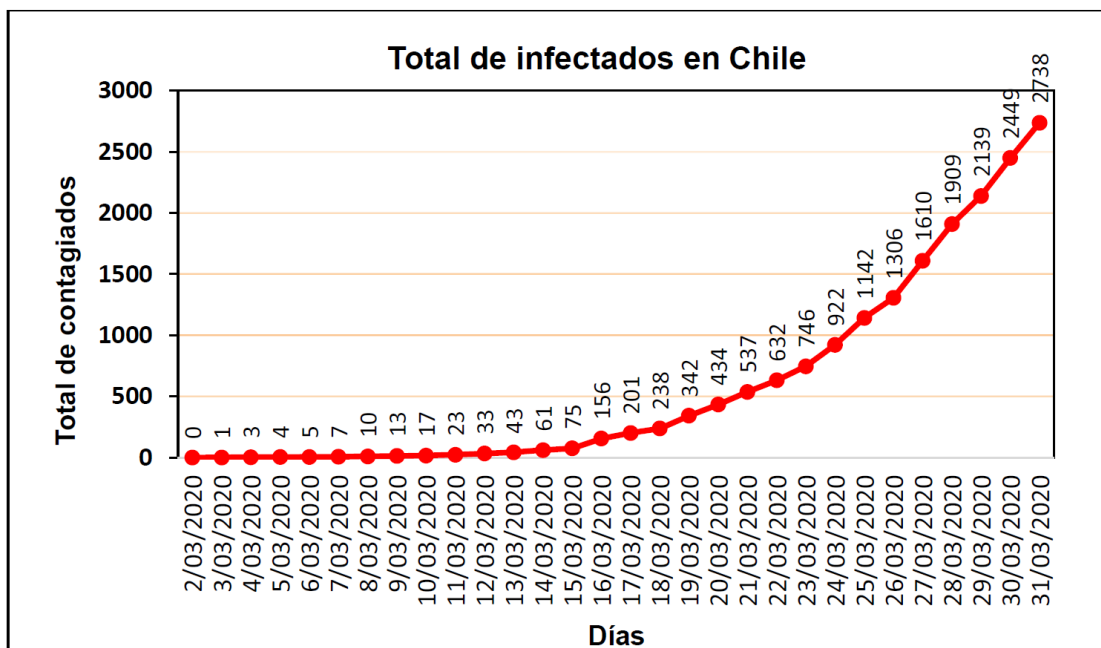


Figura 9. Infectados totales en Chile.

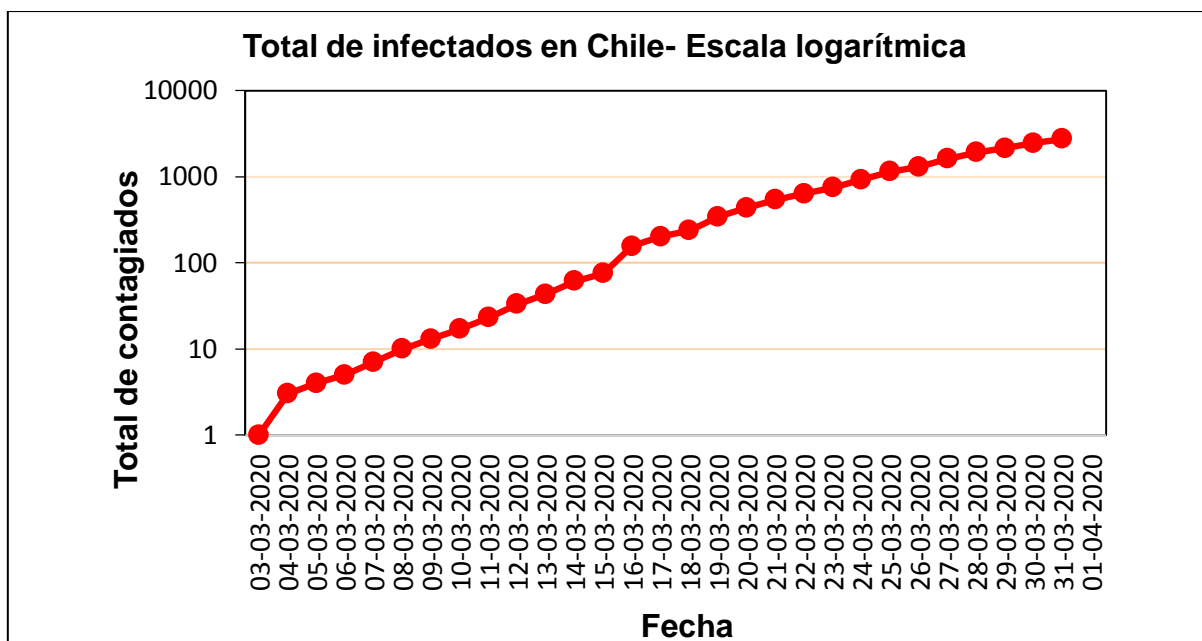


Figura 10. *Infectados totales en Chile. Escala logarítmica.*

En la figura 10, a escala logarítmica, se observa que a mediados de mes existe un quiebre en la pendiente. Por dicha razón se presenta a continuación sendos ajustes para ambos tramos.

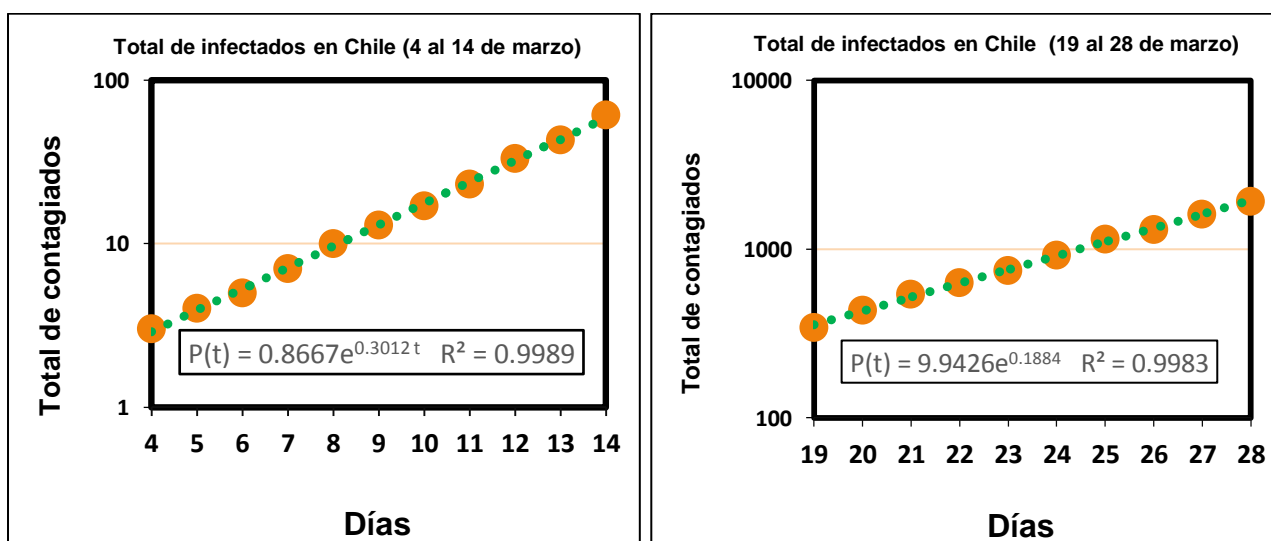


Figura 11. *Infectados totales en Chile. Cambio de tendencia experimentado por los datos a mediados de mes.*

En la Figura 11 se observa claramente que ambos tramos presentan un comportamiento perfectamente lineal.

4. Propiedades de la función de Gompertz

Enumero a continuación las principales propiedades que, a mi entender, tiene la función de Gompertz y que permiten su uso para el caso estudiado:

1. La función de Gompertz es una función en forma de '**S**', muy similar a la función logística, pero se diferencia de ella en que es asimétrica. El crecimiento es más rápido al principio de la curva que al final, lo que la hace muy apropiada para describir el crecimiento biológico o la expansión del virus.
2. La función de Gompertz es la solución a la ecuación diferencial que describe los cambios en la población (**P**) con el paso del tiempo (**t**), en función de su capacidad de crecimiento intrínseca (**r**, constante) y la máxima población **K** que el ecosistema puede soportar, y se denomina "capacidad de carga" (ver "El futuro de la pandemia según las matemáticas", <https://www.rankia.com/>)
3. La propiedad de la función de Gompertz consistente en $P(t) = K/e$ ($e=2,7181$) tiene una interpretación de relevancia. $P = K/e$ quiere decir que antes de alcanzar la mitad del total de contagios que finalmente van a producirse, la función $P'(t)$ asociada a los nuevos casos, alcanza su máximo y comienza a descender.
4. El descenso en el número de casos es más lento que el ascenso (**Figura 12**). Esta es una de las principales diferencias con la función de Verhulst (logística), que es simétrica. Esto respondería a que: Al inicio la población se contagia rápidamente sin ningún tipo de control, luego se establecen las medidas de mitigación, entrando en la zona de nivelación, finalmente, decae a una velocidad inferior, debido a los controles.

Un ejemplo de la función de Gompertz obtenida para el día 29 de marzo en España se presenta a continuación.

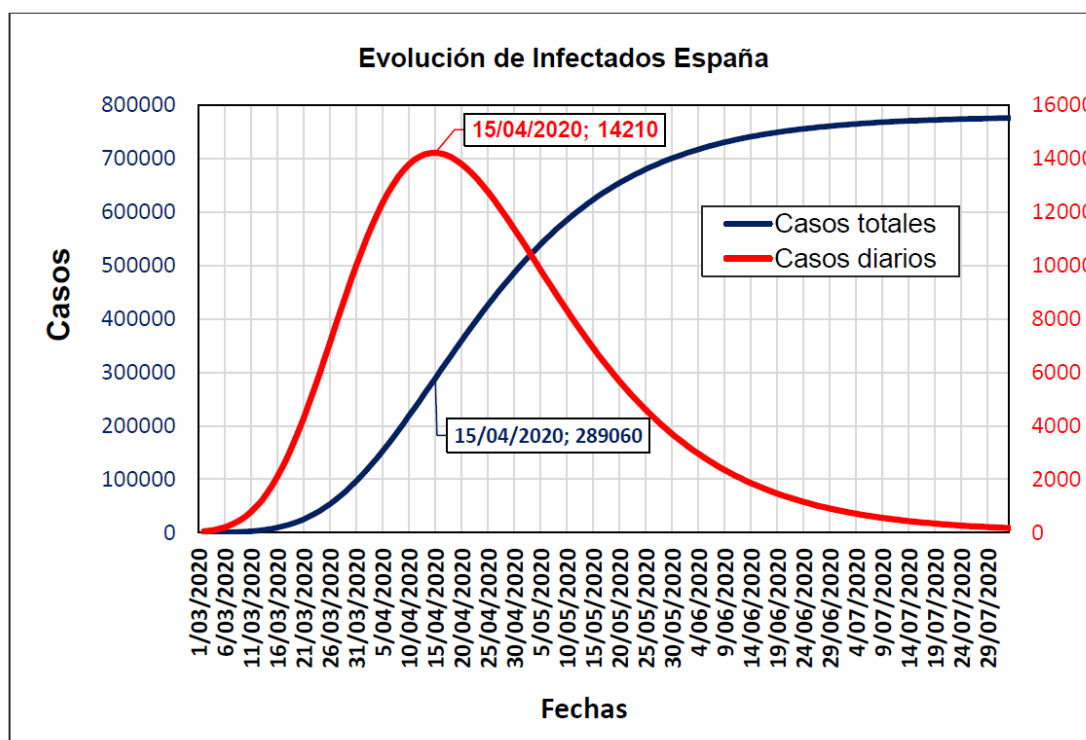


Figura 12. Características de la función de Gompertz para una capacidad de carga K de 779.004 y una constante de crecimiento r de 0,05, con una P_0 de 119 en el primer día. El “peak” de nuevos casos se alcanza en el día 15 de abril de 2020 con 14.210 casos al día.
Fuente: Elaboración propia.

Es importante destacar que las medidas que se toman para frenar al coronavirus afectan a los individuos contagiados y, por consiguiente, a los valores de K y de r . Por lo tanto, afectan la curva final de Gompertz a la que se ajusta la epidemia.

Estos valores pueden ser comparados con los obtenidos para España por la Universidad de Valencia en su informe “Modelización Epidemiológica del COVID-19 22/03/2020” (<https://covid19.webs.upv.es>), con una previsión del número de casos de 800.000 infectados.

No ayuda a la comprensión de los datos el hecho que en España desde el 11 de marzo haya cambiado el criterio para hacer los tests: actualmente ya no se realizan tests a quienes presentan síntomas leves.

5. Previsiones para la pandemia de coronavirus en Chile

Aunque los modelos matemáticos pueden realizar previsiones precisas del comportamiento del virus, no debe perderse de vista que hay múltiples factores que pueden influir en el desarrollo de la epidemia y que estos modelos no pueden prever. Algunos aspectos como:

- Las medidas individuales que hacen de barrera para la transmisión, como son el lavado de manos y la reducción de los contactos físicos.
- Las medidas de contención adoptadas por los gobernantes del país.
- El comportamiento del propio virus.
- Múltiples parámetros de las condiciones sociales y/o climatológicas de cada entorno.

No obstante, los modelos matemáticos son una herramienta de referencia para hacer previsiones y sobre esta base, anticipar decisiones.

A continuación, presentaré la curva que mejor ajusta los datos de que dispongo hasta hoy, tratando de responder y aportar luz en un lenguaje lo más comprensible posible, a las preguntas que tanto se hace la gente hoy: **¿Hasta cuándo crecerá el contagio? ¿Cuánto va a durar esta pesadilla? y ¿hasta cuándo se prolongará la necesidad de mantener las actuales medidas de confinamiento?**

En estricto rigor, la pregunta del millón es algo a lo que todavía nadie puede responder con absoluta rigurosidad. Como aproximación, se puede fijar el objetivo de generar una metodología que sirva para hacernos una idea de las cifras que podemos manejar y tomar las mejores decisiones posibles, con la información que disponemos.

La previsión sería el escenario que cabría esperar luego de poner las barreras a la circulación del virus, medidas extraordinarias que se están aplicando para que a corto plazo no colapse el sistema de salud, dado que cerca de un 20% de los afectados pueden requerir ingreso hospitalario y un 5% Unidad de Cuidados Intensivos (UCI).

Dado que la previsión va cambiando a medida que se dispone de una mayor cantidad de información de contagiados, para entender mejor la evolución de la epidemia en Chile he considerado conveniente mostrar la previsión en base a los datos públicos disponibles en dos días diferentes: 28 y 31 de marzo.

Los resultados entregados por el modelo para ambas fechas se son los siguientes:

5.1. Escenario de modelamiento con datos hasta el 28/03/2020

Las previsiones resultantes de ajustar los datos de contagiados disponibles entre los días 16 y 28 de marzo son los siguientes:

Resultados

- Se puede predecir que, para este escenario, el número total de personas finalmente contagiadas (capacidad de carga **K**) es de 159.631 personas.
- La constante de crecimiento **r** encontrada es de 0,037, con una **P₀** de 156 contagiados en el primer día.
- El peak de nuevos casos se alcanzaría en torno al día 7 de mayo del 2020, con 2.191 casos al día.
- La epidemia duraría hasta fines de agosto.

Gráficas

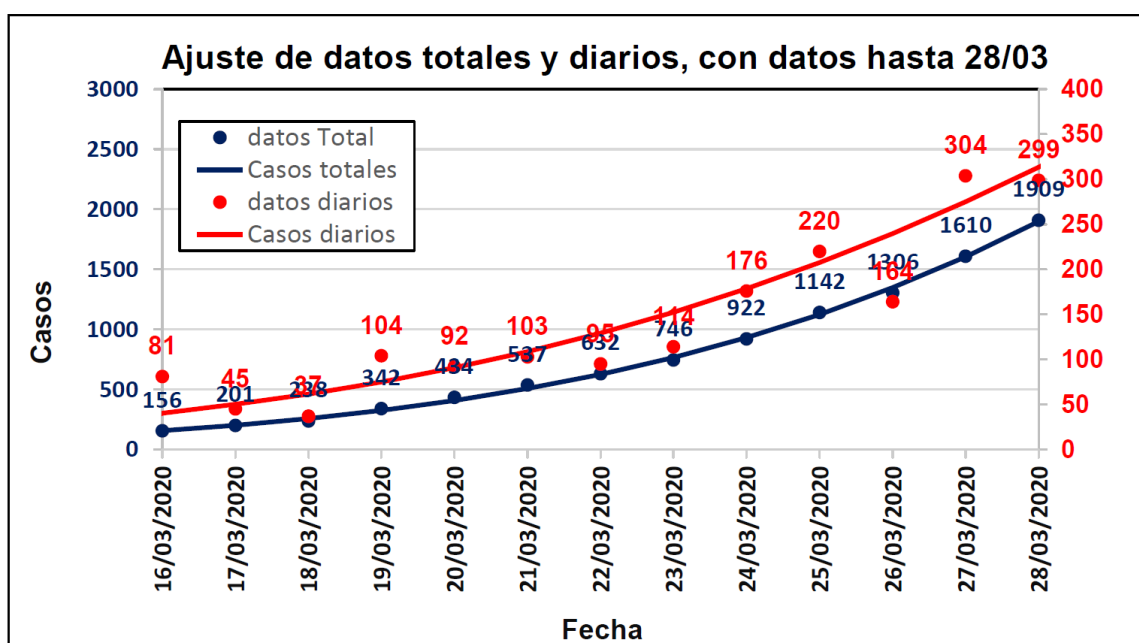


Figura 13. Ajuste de datos de casos totales y diarios para el día 28/03/2020.
Fuente. Elaboración propia

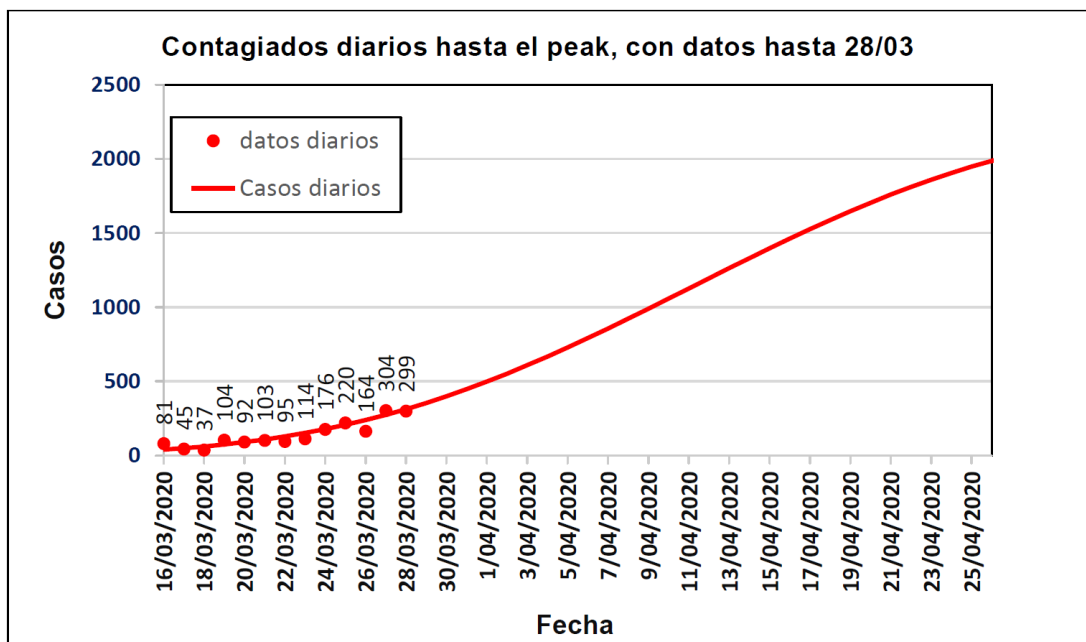


Figura 14. Ajuste de datos de casos diarios disponibles al día 28/03/2020. Fuente: Elaboración propia

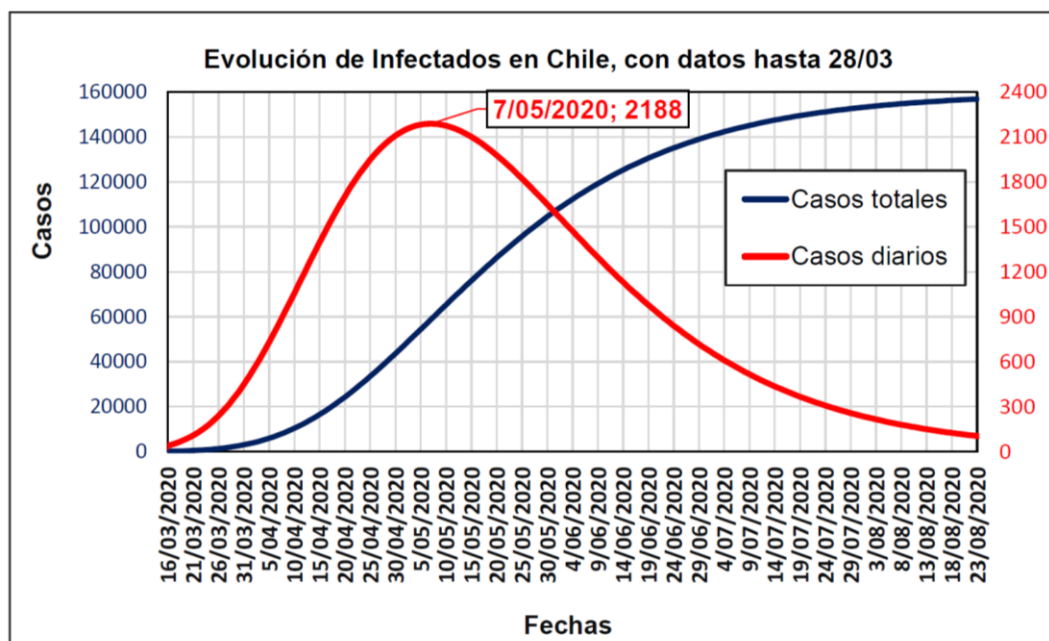


Figura 15. Función de Gompertz obtenida con la evolución de datos totales y diarios disponibles al día 28/03/2020. Fuente: Elaboración propia.

5.2. Escenario de modelamiento con datos hasta el día 31/03/2020

Las previsiones resultantes de ajustar los datos de contagiados disponibles entre los días 16 y 31 de marzo son las siguientes:

Resultados

- Para este escenario, el número total de personas finalmente contagiadas (capacidad de carga K) sería de 31.289 personas.
- La constante de crecimiento r encontrada es de 0,052, con una P_0 de 156 contagiados el primer día.
- El peak de nuevos casos se alcanzaría en torno al día 17 de abril, con 601 personas contagiadas diarias.
- La epidemia duraría hasta fines de julio.

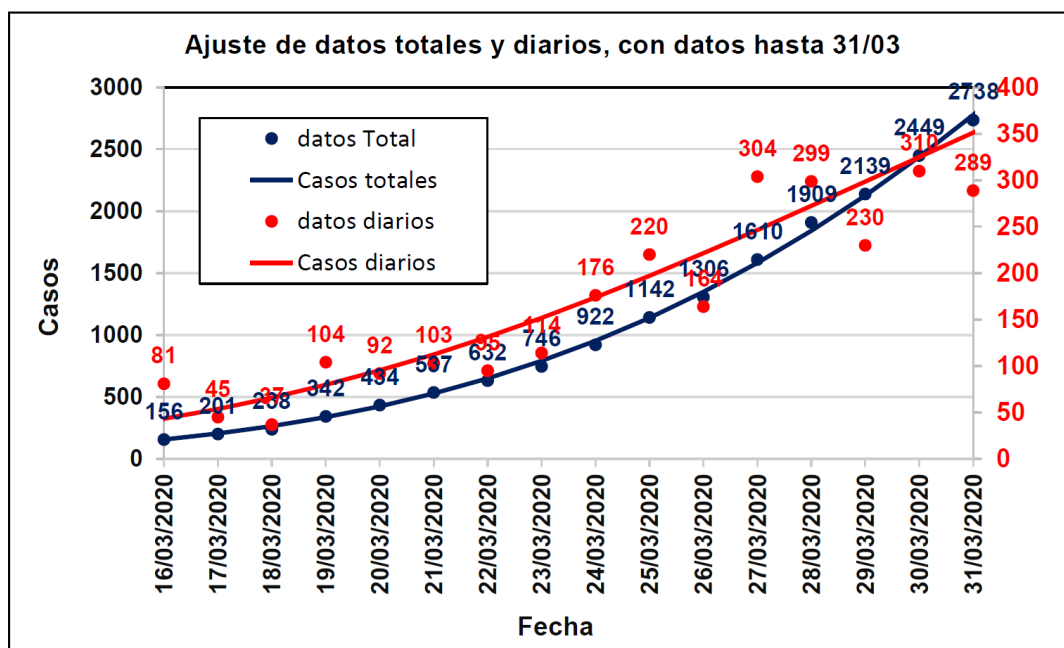


Figura 16. Ajuste de datos totales y diarios para el día 31/03/ 2020.
Fuente: Elaboración propia.

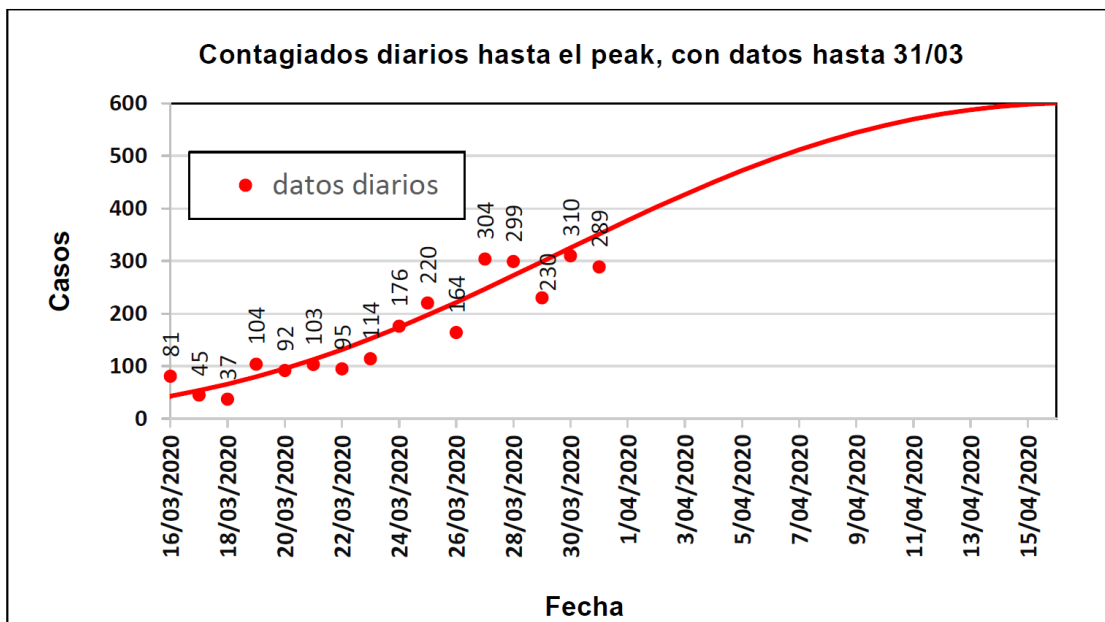


Figura 17. Ajuste de datos de casos diarios disponibles al día 31/03/2020. Fuente: Elaboración propia.

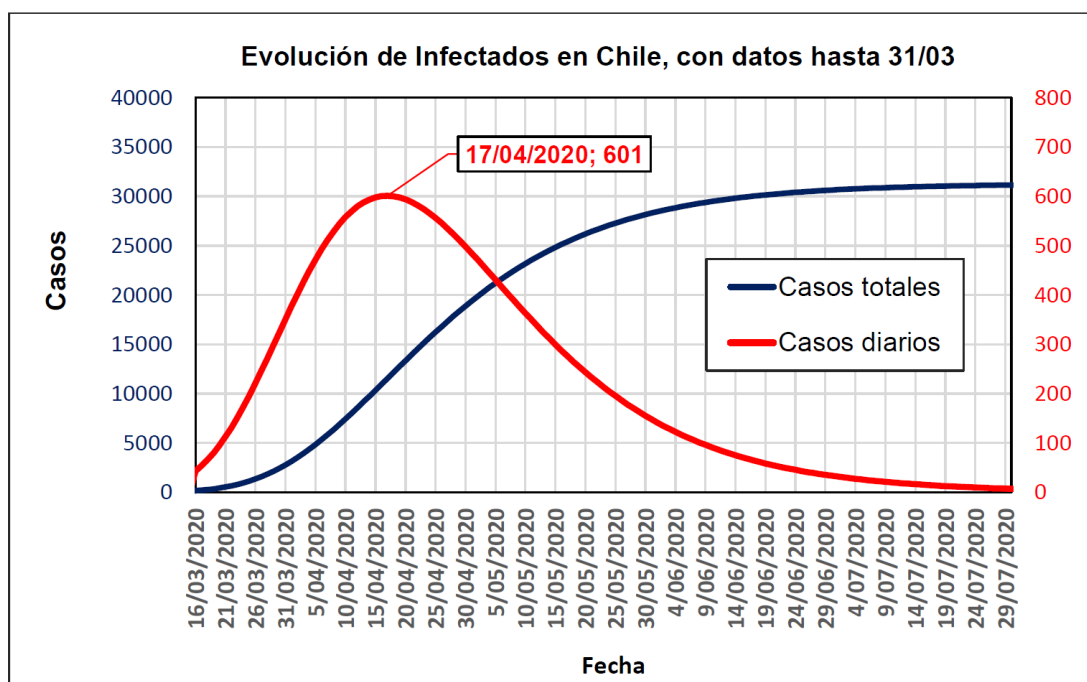


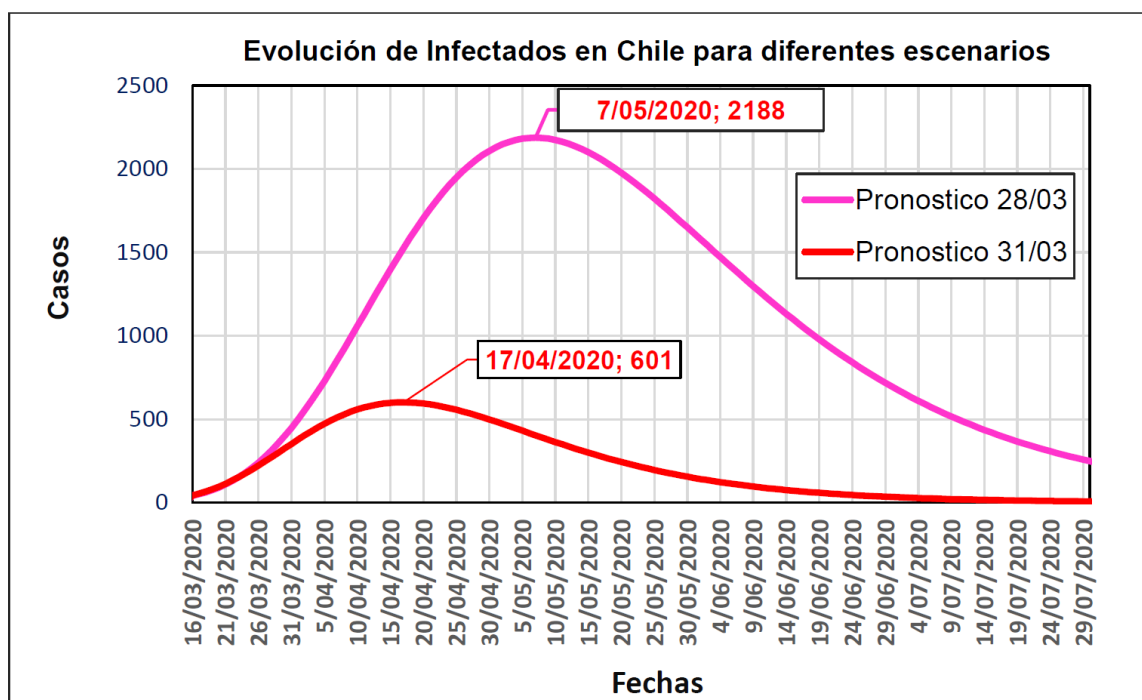
Figura 18. Función de Gompertz obtenida con la evolución de datos totales y diarios disponibles al día 31/03/2020. Fuente: Elaboración propia.

5.3. Conclusiones

1. Estimar **K**, es decir, el número de casos que finalmente habrá en Chile, sin habernos aproximado lo suficiente al máximo de la curva de “nuevos casos”, está lleno de incertidumbre. Sin embargo, la mejor política pública es evaluar la tendencia día a día.

Asumiendo lo discutibles que puedan ser los supuestos adoptados, en base a este modelo se puede inferir que, en base a los datos disponibles hasta el 31 de marzo del 2020, los casos de contagios por el COVID-19 seguirían aumentando hasta llegar a los 31.289 infectados, aproximadamente y que la curva de casos nuevos alcanzaría su máximo en torno al 17 de abril de 2020.

2. El modelo de Gompertz indica que el virus se está comportando de acuerdo a la teoría y avanza de una manera esperable en Chile. Aun cuando se debe esperar los datos de nuevos casos en los próximos días, la velocidad con la que crecerá el número de nuevos contagiados de coronavirus alcanzará un máximo para luego disminuir lenta pero progresivamente, tal como está ocurriendo en países asiáticos como China y Corea del Sur.
3. El número total de contagiados depende radicalmente de los datos disponibles. Si asumimos que los datos al 31 de marzo son los correctos, Chile debe esperar un máximo de contagiados en el orden de los 31.000 personas, y esto debería ocurrir en torno al 17 de abril de 2020. Sin embargo, si por alguna razón los datos al día 28 de marzo representan mejor la realidad del contagio, el peak esperable es de 160.000 personas, en torno al día 7 de mayo de 2020 (Figura siguiente).

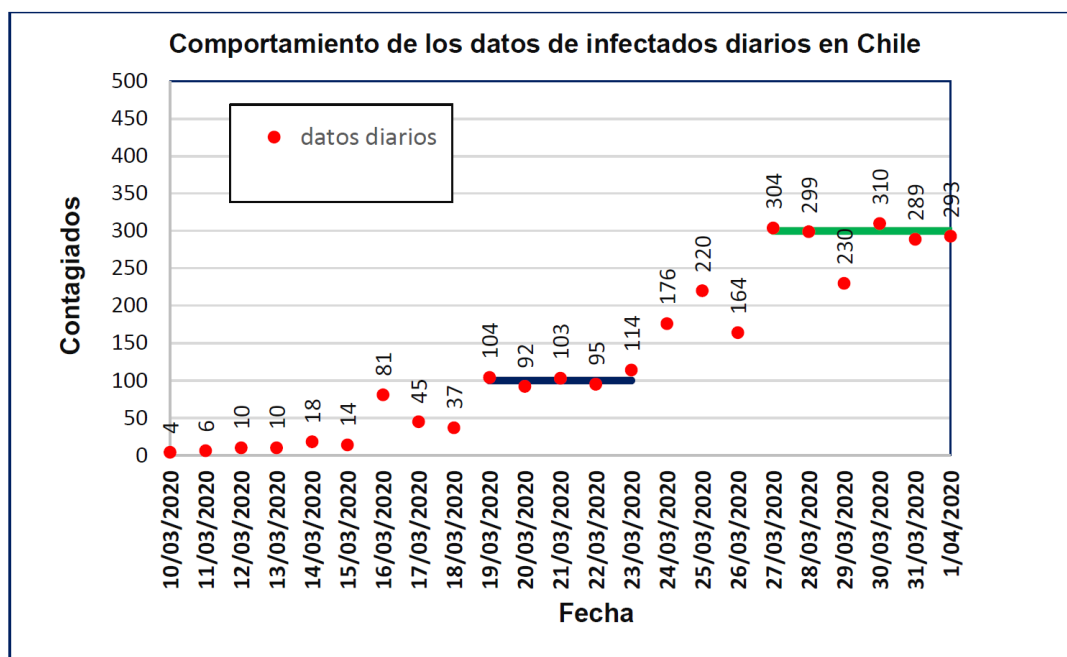


4. La reducción de casos contagiados y la duración de la epidemia será una extraordinaria noticia. Sin embargo, se debe evitar realizar pronósticos demasiado halagüeños que relajen los esfuerzos realizados hasta ahora, puesto que se podría estar manifestando la existencia de un error sistemático en la información básica aportada por el Ministerio de Salud de Chile.

Las declaraciones del Ministro de Salud respecto de los datos de contagiados en Ñuble no ayudan a mejorar la confianza en las previsiones. *"Hay un incremento en la Región de Ñuble significativo"..."Al abrir el laboratorio en la ciudad de Chillán, se produce un brusco aumento de casos que estaban atrasados y no reportados en el Hospital Grant Benavente y que se hicieron en el laboratorio de Chillán. Eso explica que, en vez de 20 o 25 casos que estábamos notificando para esa región, tengamos hoy día 82".*

Fuente: Emol.com-<https://www.emol.com/noticias/Nacional/2020/04/02/981870/Nuble-explosivo-aumento-casos.html>

5. Más allá de las limitaciones propias de cualquier metodología, el patrón de la curva de casos contagiados diarios es algo notable, como se puede ver en la siguiente figura.

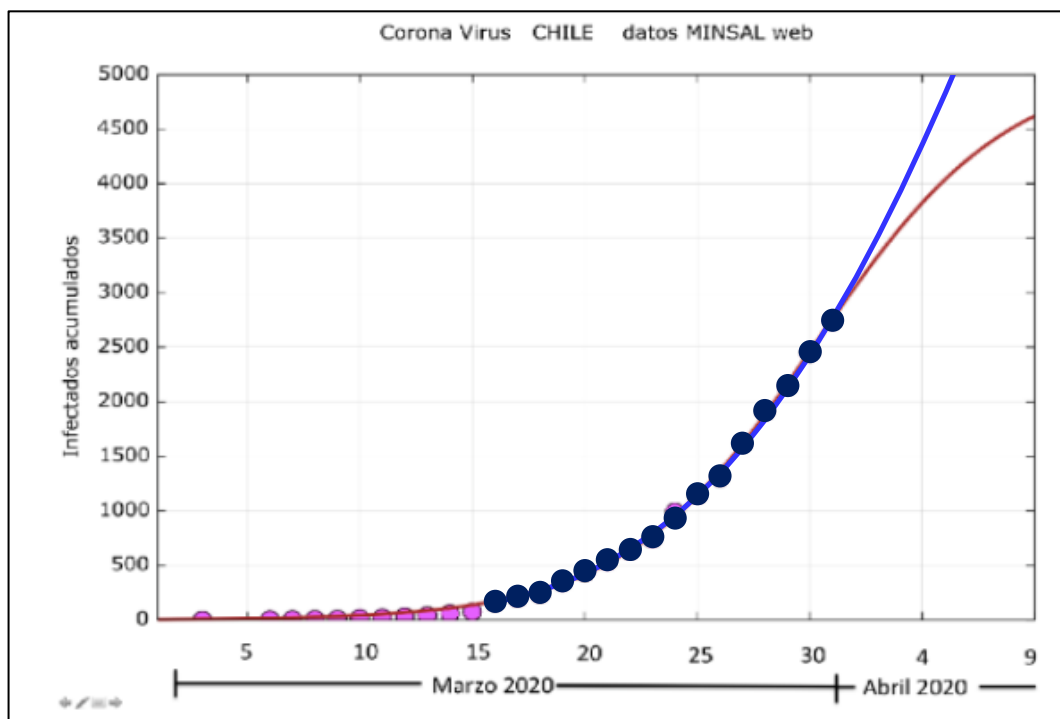


Esta gráfica evidencia una meseta en torno a los “100 casos” generada por los datos entre el 19 y 23 de marzo y una segunda meseta en torno a los “300 casos”, entre los días 27 de marzo y el 2 de abril del 2020.

La existencia de la meseta de los “300 casos”, con 5 registros diarios consecutivos, con valores relativamente constantes, estaría indicando un aplanamiento de la curva de contagios y/o que se está alcanzando el peak.

6. Las dos previsiones presentadas en este informe, tiene implicancias profundas en el impacto que tendrá esta pandemia en la población Chilena. En ambos casos, (160.000 vs 31.000 contagiados) el sistema de salud del país requerirá de, al menos, un 5% de Unidades de Cuidados Intensivos disponibles sólo para los contagiados con el COVID-19.
7. Respecto a la herramienta matemática utilizada, es importante señalarse que:
 - Se debe calcular y asociar un nivel de confianza al modelo, considerando no sólo las múltiples variables involucradas, si no también, los distintos criterios que han coexistido en la toma de los tests.
 - Se debe mantener abierta la posibilidad de que la distribución Gompertz no sea la función más adecuada para explicar los datos, pudiendo existir otras opciones. Como por ejemplo, comparo la curva de ajuste obtenida en este estudio (con datos hasta el 31/03) con la presentada en el artículo de prensa

“Que tan confiables son las estadísticas chilenas y mundiales sobre el coronavirus” (<https://www.elmostrador.cl/destacado/2020/04/03/>, obtenida por un grupo de colegas chilenos mediante el uso de una curva también perteneciente a la familia sigmoide, pero algo distinta, pues obtienen resultados diferentes para la misma información de base.



La curva roja, presentada en el artículo de referencia, también corresponde a una función sigmoide. La nuestra se ha superpuesto, y aparece señalada en azul. Aunque no se explicitan demasiados detalles, es evidente que la previsión del grupo de estudio chileno es más alentadora, pues al ser más plana prevé un número menor de contagiados y anticipa el momento en que se alcanzará el peak.

8. Se debe tener claro que, sólo si se llega al punto de máxima, se podrían ir relajando las medidas de prevención y confinamiento, “sin prisas, pero sin pausas” como dicen en España. A partir de este momento, se debería continuar con controles mucho más intensivos sobre los focos y nuevos casos, que es lo que ya está haciendo China y Corea del Sur.