

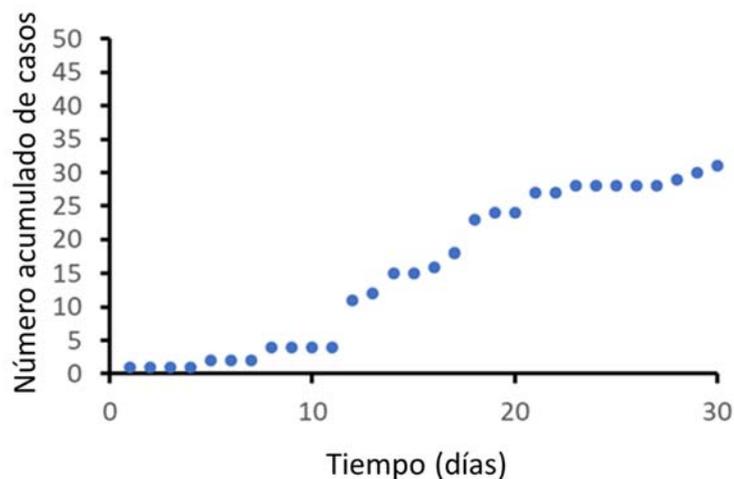
COVID-19: algunas gráficas para entender lo que está pasando

*Un documento para que los profesores de ciencias y matemáticas
puedan explicar la epidemia a sus estudiantes,
o para las personas con ganas de entender que está pasando.*

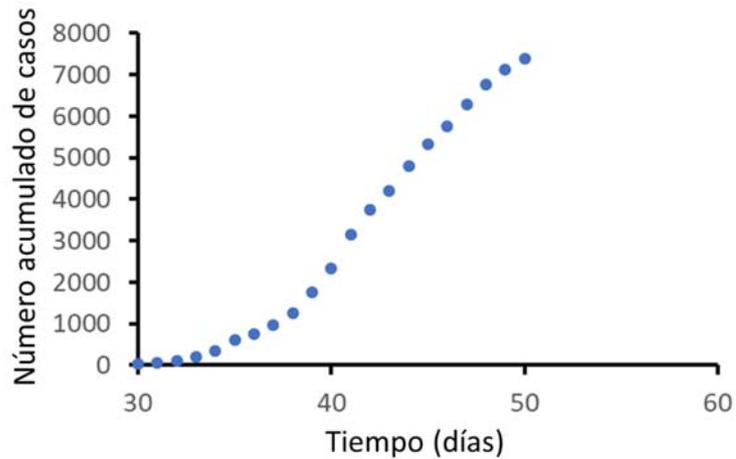
La pandemia que estamos viviendo nos está provocando problemas importantes. Por lo tanto, es importante poder entender cómo será la evolución del número de casos en los próximos días y semanas. En este documento proponemos revisar la evolución de la epidemia en Corea del Sur dado que allí el proceso comenzó antes y nos sirve para ver el tipo de comportamiento previsible. Utilizaremos algunas gráficas para entender cada una de las ideas que queremos transmitir. El primer caso en Corea fue diagnosticado el 20 de enero de 2020, este será el día 1 en todas las gráficas.

1 Miremos inicialmente como ha evolucionado el número de casos a lo largo del tiempo:

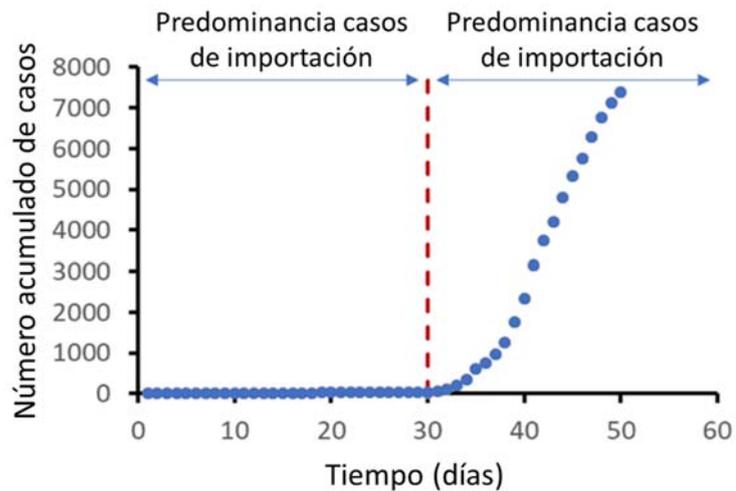
Podemos dividir la evolución en dos etapas. Una primera donde el número de casos son predominantemente de importación, personas que han llegado infectadas de otros países:



Y una segunda etapa donde predominan los contagios locales:



Hay que fijarse en el eje de ordenadas, que es muy diferente en las dos gráficas. Hemos separado las dos etapas para poder mostrar lo que estaba ocurriendo durante los 30 primeros días. Si se muestra a la vez:

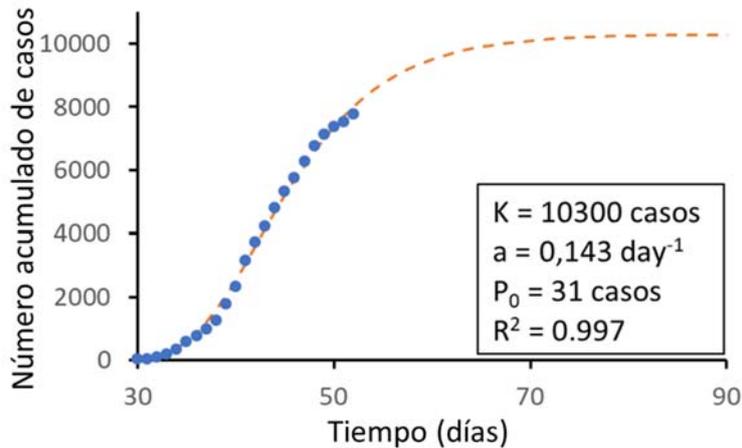


2. ¿Podemos prever cómo seguirá evolucionando?

Hemos comprobado que la función de Gompertz reproduce bastante correctamente el comportamiento a lo largo del tiempo del número total de casos acumulados. La función de Gompertz es similar a la función logística y otras funciones que se utilizan para describir el crecimiento de sistemas (por ejemplo, el crecimiento de la población de un país o el crecimiento de un tumor). Es una función sigmoideal que tiene tres parámetros: el valor inicial (N_0), el valor máximo (K) y un parámetro que determina la velocidad de crecimiento (a). La función es:

$$N(t) = K e^{-\ln\left(\frac{K}{P_0}\right) \cdot e^{-at}}$$

Ajustar una función significa encontrar los valores de los parámetros que hacen que el comportamiento de la función se acerque lo máximo posible a los valores experimentales. R^2 es un coeficiente que mide si el ajuste es bueno o no, cuanto más cercano sea a 1 mejor es el ajuste.



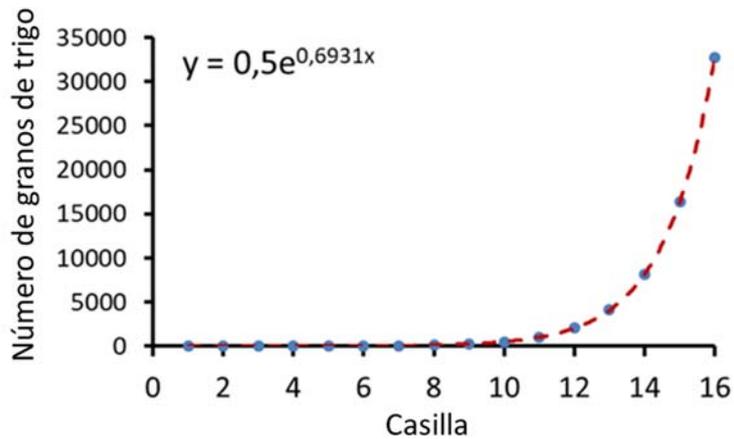
En la figura, la línea discontinua muestra la previsión de la función de Gompertz. Observamos que la previsión indica que el crecimiento seguirá siendo muy importante hasta el día 70, aproximadamente. En Corea están haciendo un buen control; por tanto, el hecho de que el número de casos siga aumentando no significa que la epidemia esté descontrolada. La previsión hay que revisarla cada día, ya que sólo es válida a corto plazo. Al añadir un punto podemos volver a realizar el ajuste y así mejorar nuestra previsión. Los modelos matemáticos de sistemas complejos no son una bola de cristal! Ayudan a entender y prever, pero no son totalmente deterministas.

3. ¿El número de casos crece exponencialmente? No!!!

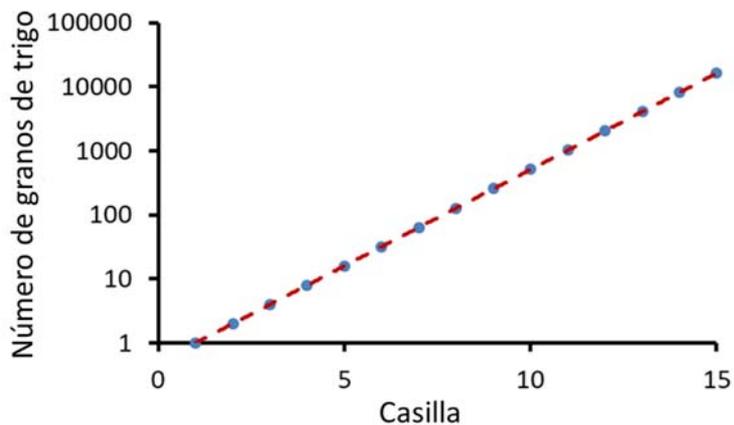
Seguramente todo el mundo recuerda el mito del origen del ajedrez: el creador del juego pidió para pagar su trabajo 1 grano de trigo por la primera casilla, 2 por la segunda, 4 por la tercera, y así sucesivamente.



Parecía inicialmente un precio muy bajo para un juego tan entretenido, pero realmente nadie podría llegar a pagar un precio tan alto! En la última casilla se debería colocar 2^{64} granos, que corresponde aproximadamente a $9 \cdot 10^8$ granos (un 9 seguido de 18 ceros, 9 millones de millones de millones de granos de trigo!). De hecho, esto corresponde a un crecimiento exponencial: 2, 4, 8, 16, 32, 64, ...En la figura siguiente hemos representado el número de granos de trigo a colocar en las 16 primeras casillas:

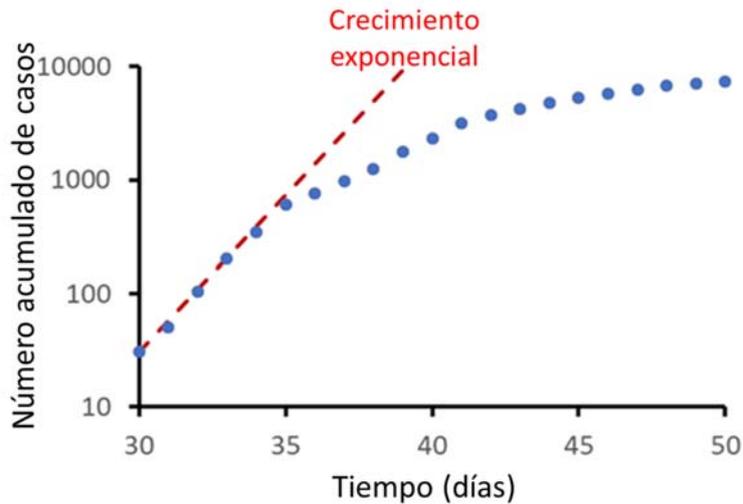


La línea discontinua es la función exponencial que se ajusta perfectamente a este conjunto de puntos. Otra forma de representar una función exponencial es representar el logaritmo de los valores o utilizando un eje logarítmico, como en la figura siguiente:



Fijaros que en el eje de las y la distancia de 1 a 10, de 10 a 100, de 100 a 1000,... es siempre la misma. Vemos que, al representar una función exponencial utilizando el eje de ordenadas con una escala logarítmica, el resultado es una recta.

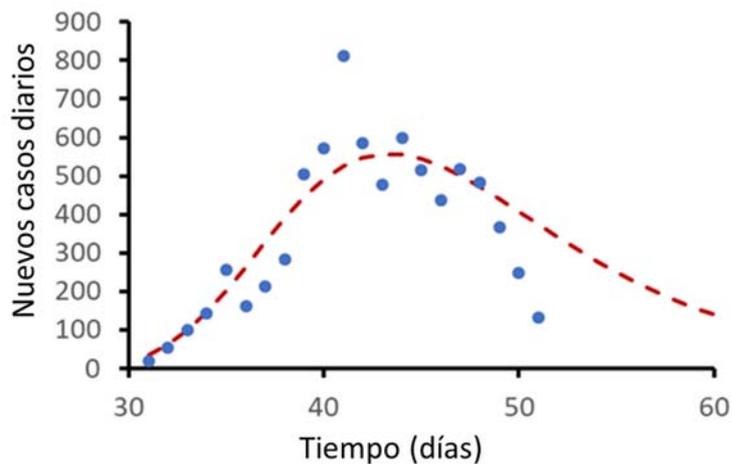
Vamos a comprobar si la epidemia de Covid-19 en Corea del Sur sigue un crecimiento exponencial. Al representar el número acumulado de casos utilizando una escala logarítmica observamos que, a pesar de los primeros puntos pueden parecer que obedecen un comportamiento exponencial, el comportamiento a lo largo del tiempo no lo es.



De hecho, el número de casos crece más lentamente que un crecimiento exponencial. Esta disminución en la velocidad del crecimiento se debe a las actividades de confinamiento y vigilancia para controlar la epidemia.

4. *¿Cada día se diagnostican más casos ... está descontrolado? No!!!*

En la figura siguiente representamos el número de casos nuevos encontrados cada día. Vemos que en la epidemia hay dos etapas, una primera donde el número de nuevos casos crece cada día, y una segunda donde disminuye el número diario de nuevos casos. Es la dinámica que se observa también como consecuencia del trabajo de confinamiento de personas que pueden estar infectadas y de la vigilancia de las que están enfermas.



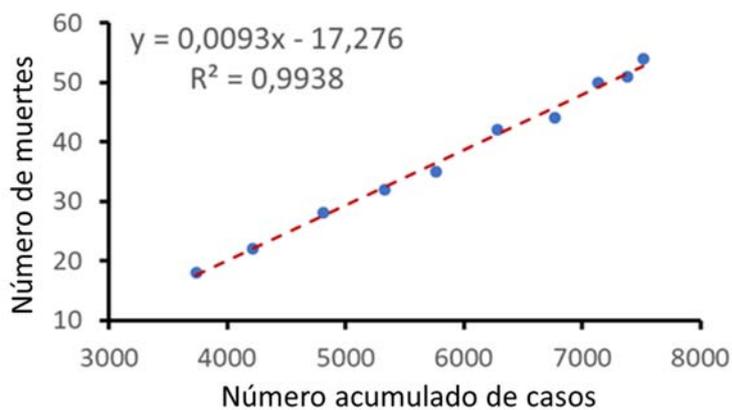
La línea discontinua es el resultado que obtenemos utilizando la ecuación de Gompertz.

Debemos ser pacientes. En Cataluña y en España también viviremos el mismo proceso, aunque ahora sea difícil de digerir que el número de casos diagnosticados sea cada vez mayor. Se están tomando medidas de contención, y la etapa de descenso acabará llegando.

5. ¿Moriremos todos? No!!!

La mortalidad en Corea es bastante baja, mueren del orden del 0,7% de los enfermos. La mortalidad en cada país puede ser diferente, depende de muchos factores: de la distribución de edades de la población, de la capacidad de la asistencia sanitaria, de la tasa de diagnósticos (sobre todo entre los casos asintomáticos y leves) ... pero, en cualquier caso, es una mortalidad pequeña. No es una epidemia que tenga que hacer descender la población. Realmente, en la mayor parte de casos es una enfermedad leve. Lamentablemente, para ancianos y enfermos con patologías previas serías, la mortalidad es superior, con un porcentaje elevado de necesidades hospitalarias. Si la epidemia es muy rápida, el número de Unidades de Cuidados Intensivos podría no conseguir tratar a todos los pacientes. De ahí que sea necesario establecer medidas para que el crecimiento de la epidemia sea lo suficientemente bajo como para conseguir que la atención hospitalaria llegue a todo aquel que lo necesite.

En la figura siguiente representamos el número de muertos en Corea frente al número acumulado de casos, y comprobamos que existe una correlación lineal.



Hemos visto como con la ayuda de las matemáticas y de representaciones gráficas podemos empezar a entender que está pasando.

6. Y para concluir...

A pesar de los problemas económicos y sociales, a pesar de los problemas de salud y la mortalidad, podemos también ver una parte positiva. Por primera vez en la historia de la humanidad vivimos una pandemia con información diaria y con buenos sistemas de control y vigilancia de salud pública. Es un privilegio vivir en el siglo XXI.

El Covid-19 nos debe servir también para recordar que no debemos olvidar a todas las demás enfermedades infecciosas que causan epidemias, algunas de ellas muy peores que el Covid-19. La tuberculosis causa un millón y medio de muertes al año, en el mundo. En Cataluña se detectan anualmente unos 1.200 casos de tuberculosis, un valor todavía muy grande. El sarampión en 2018 causó en el mundo más de 140.000 muertes y está teniendo efectos catastróficos en

algunos países como la República Democrática del Congo donde, del 31/XII/2018 al 5/II/2020, provocó 334.360 casos y 6.326 muertes. La epidemia de dengue en América Latina causó más de 3 millones de casos durante 2019. Los virus y las bacterias no entienden de fronteras. La actual epidemia de Covid-19 nos ha enseñado que la cooperación y el trabajo mutuo son totalmente necesarios para la seguridad de todos.