

## Coronavirus: efecto del estado de alarma en la evolución de la epidemia. Previsiones y estimaciones

### Resumen

La crisis sanitaria desencadenada como consecuencia de la pandemia ocasionada por el nuevo coronavirus SARS-CoV-2 ha supuesto la declaración de un estado de alarma con medidas de confinamiento sin precedentes. El objetivo del Gobierno de España es la salud y seguridad de los ciudadanos, conteniendo la progresión de la enfermedad mediante la prevención del contagio, la contención del virus, así como la mitigación de su impacto sanitario. No obstante, la progresión de la enfermedad COVID-19 ha supuesto un desafío a las capacidades de análisis de escenarios para la toma de decisiones apoyadas en los datos científicos que ha ido adquiriendo gran relevancia. El estudio del desarrollo de la epidemia basado en la función de Gompertz, puede proporcionar los elementos de juicio necesarios para la modulación de las medidas durante el estado de alarma, así como sobre la progresividad de su levantamiento futuro.

### Palabras clave

Confinamiento, coronavirus, COVID-19, estado de alarma, ecuación de Gompertz, inteligencia epidémica, pandemia.

**\*NOTA:** Las ideas contenidas en los *Documentos de Opinión* son responsabilidad de sus autores, sin que reflejen necesariamente el pensamiento del IEEE o del Ministerio de Defensa.

## *Coronavirus: effect of the state of alarm on the evolution of the epidemic. Forecasts and estimates*

### *Abstract*

*The unprecedented health crisis triggered by the pandemic caused by the new SARS-CoV-2 coronavirus has led to the declaration of a state of alarm with unprecedented confinement measures. The Spanish Government's objective is the health and safety of citizens, containing disease progression through the prevention of contagion, containment of the virus, as well as mitigating its health impact. However, the progression of COVID-19 disease has been a challenge to the decision-making scenario analysis capabilities supported by scientific data become highly relevant. The study of the development of the epidemic based on Gompertz's equation, can provide the elements of judgment necessary for the modulation of measures during the alarm state, as well as to mitigate gradually the limitation measures.*

### *Keywords*

*Confinement, coronavirus, COVID-19, alarm state, Gompertz equation, epidemic intelligence, pandemic.*

## Introducción

El 14 de marzo el Gobierno de España, al amparo de la Ley Orgánica 4/1981, de 1 de junio, de los estados de alarma, excepción y sitio, declaró el estado de alarma para hacer frente a la excepcional y grave situación de emergencia sanitaria que vive España como consecuencia de la pandemia ocasionada por el nuevo coronavirus SARS-CoV-2 (siglas en inglés de *Severe Acute Respiratory Syndrome*)<sup>1</sup>. En el Real Decreto se ordenaba, además de otras medidas, una reducción de la actividad en toda la nación, limitando los movimientos de la población, así como medidas de confinamiento, con el objetivo de reducir la transmisión de la epidemia en todo el territorio nacional.

El 25 de marzo el Pleno del Congreso autorizó la prórroga del estado de alarma hasta las 00:00 horas del domingo 12 abril. No obstante, y debido a que el número de casos continuaba ascendiendo de manera exponencial, el domingo 29 de marzo se anunció la limitación total de movimientos, a excepción de aquellos trabajadores de actividades consideradas esenciales, desde el 31 de marzo y hasta el 9 de abril<sup>2</sup>.

Estas decisiones pueden considerarse un indicador de que la vuelta a la normalidad será lenta y progresiva.

En este escenario resulta muy interesante y necesario conocer las posibilidades que algunas disciplinas científicas como la bioestadística, la biofísica, u otras menos conocidas como el análisis biocomputacional, la investigación operativa o la metaheurística, ofrecen para el análisis de situaciones previas y presentes, así como inferir cómo será la posible evolución de la situación, permitiendo la prospectiva y proporcionando una información solvente que ayude en el proceso de toma de decisiones.

<sup>1</sup> Real Decreto 463/2020, de 14 de marzo, por el que se declara el estado de alarma para la gestión de la situación de crisis sanitaria ocasionada por la COVID-19.

<sup>2</sup> Real Decreto-Ley 10/2020, de 29 de marzo, por el que se regula un permiso retribuido recuperable para las personas trabajadoras por cuenta ajena que no presten servicios esenciales, con el fin de reducir la movilidad de la población en el contexto de la lucha contra la COVID-19.

## Objetivo

El presente trabajo tiene por objeto exponer un análisis del desarrollo de la pandemia en nuestro país, el efecto de las medidas adoptadas, así como las posibilidades de estudiar su evolución. Dicho análisis es de carácter holístico, ya que relaciona los aspectos científicos con las medidas adoptadas.

Se han estudiado los siguientes aspectos:

- Comportamiento de la epidemia y posible efecto de las medidas.
- Previsiones de desarrollo de la epidemia en función de dichas medidas.
- Estimaciones según los datos observados en distintos escenarios.

## Metodología

Los datos oficiales del Ministerio de Sanidad sobre el número de casos diagnosticados han sufrido diversos cambios de criterio. El último ha consistido en la eliminación, a efectos estadísticos, del resultado correspondientes a las pruebas serológicas que ha dejado de contabilizarse. El presente trabajo se ha realizado siguiendo el criterio que el propio ministerio ha estado empleando hasta el día 24 de abril, y que figuraba en su web oficial en el apartado de «Situación de COVID-19 en España»<sup>3</sup>. Según este criterio, desde el estricto punto de vista analítico, todas las pruebas PCR (acrónimo en inglés de Polimerase Chain Reaction) y pruebas serológicas que han arrojado resultados positivos se deben considerar como casos acumulados de COVID-19. En lo relativo a la PCR, porque es una evidencia irrefutable de la presencia del virus. En lo que a la serología positiva se refiere, porque resulta una evidencia igualmente irrefutable de que el individuo contrajo el virus en algún momento, por lo que su resultado constituye un caso acumulado, tal y como hasta la fecha lo recogían las propias actualizaciones de COVID-19 disponibles en la página web del Ministerio de Sanidad.

<sup>3</sup> MINISTERIO DE SANIDAD. «Situación de COVID-19 en España». Fecha de la consulta 25/4/2020]. Disponible en <https://covid19.isciii.es>.

A partir de estos datos oficiales proporcionados<sup>4</sup>, se ha realizado un análisis matemático del comportamiento de la epidemia a lo largo del tiempo, así como de la influencia que ha tenido la declaración del estado de alarma y la limitación de movimientos.

En todos los estudios epidemiológicos, especialmente al principio de un brote o estallido, es fundamental poder inferir cómo se va a comportar el proceso de contagio de individuos y su velocidad. Se trata de proporcionar un valor objetivo con el que apoyar al proceso de toma de decisiones, así como evaluar el resultado de las medias adoptadas.

Para ello, se ha procedido a usar el modelo matemático de la función de Gompertz<sup>5</sup> para el número de casos confirmados por el Ministerio de Sanidad.

Las epidemias se inician lentamente, seguidas de una fase exponencial que se pone de manifiesto como un abrupto estallido del número de casos que desemboca en algún momento en una fase de estabilización, que bien podría ser aquel en el que se encontraría infectada la totalidad de los individuos de una población susceptible de serlo.

La función de Gompertz es similar a la función logística y describe un comportamiento en el que existe un lento crecimiento al principio y al final del periodo de tiempo. La diferencia con la función logística reside en que la función de Gompertz es asimétrica.

<sup>4</sup> MINISTERIO DE SANIDAD. «Resumen de la situación». [Fecha de la consulta 10/4/2020]. Disponible en <https://www.mscbs.gob.es/en/profesionales/saludPublica/ccayes/alertasActual/nCov-China/situacionActual.htm>.

<sup>5</sup> Al igual que muchos científicos, como es el caso del investigador del Grupo de Biología Computacional y Sistemas Complejos de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) Daniel López. «Modelos matemáticos prevén que la velocidad de contagio por COVID-19 disminuirá en 10 días». *La Vanguardia*. [Fecha de la consulta 2/4/2020]. Disponible en <https://www.lavanguardia.com/vida/20200312/474101526263/coronavirus-modelos-matematicos-velocidad-contagio-disminuir-10-dias.html>.

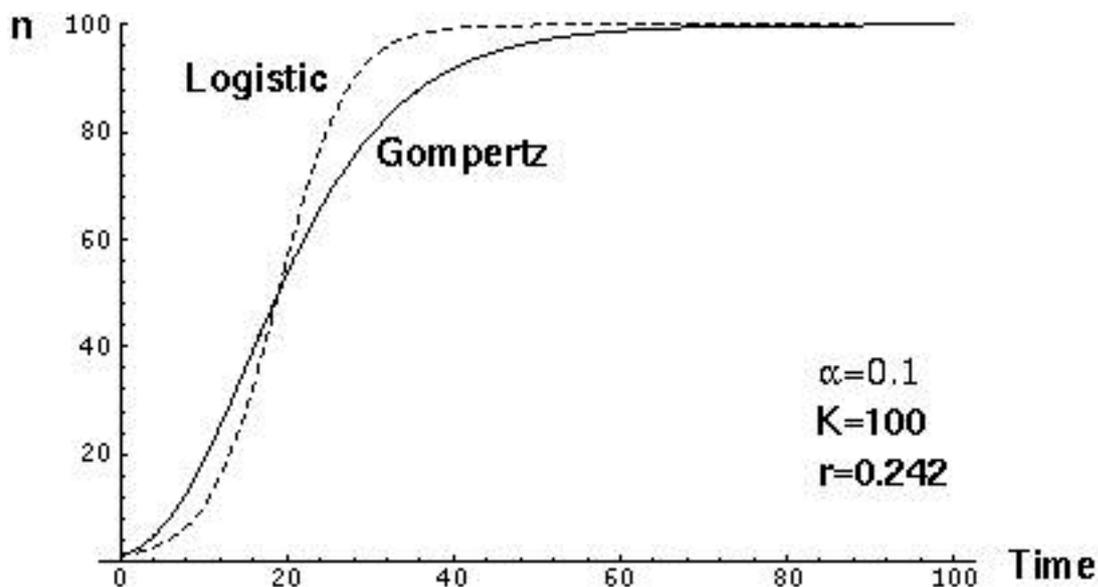


Figura 1. Comparativa de los aspectos de la función de Gompertz y la logística.  
Fuente. Benjamin Gompertz (1825).

Este modelo matemático fue desarrollado por Benjamin Gompertz en 1825 estudiando la relación entre la edad y la probabilidad de muerte en una población humana. Se basa en el supuesto *a priori* de que la resistencia de una persona a la muerte disminuye a medida que aumentan sus años y ha sido profusamente utilizada por las aseguradoras para calcular los costes de los seguros de vida<sup>6</sup>.

Para el objeto que nos ocupa, se puede formular como el poder del proceso para evitar que siga creciendo el número de infectados, estableciendo el valor máximo alcanzable de infectados, lo que dependerá de las condiciones en las que se desarrolle. En estas condiciones influyen las medidas de limitación de movimientos y distanciamiento social, cuyo efecto se va poniendo de manifiesto cada día dando lugar a un cambio en las previsiones.

<sup>6</sup> BARSZCZ, Sergio y VERNAZZA, Elena. «Aplicación de leyes analíticas de mortalidad en ciertos seguros de vida». [Fecha de la consulta 2/4/2020]. Disponible en [http://www.iesta.edu.uy/wp-content/uploads/2014/05/TJA\\_2011\\_Barszcz-Vernazza.pdf](http://www.iesta.edu.uy/wp-content/uploads/2014/05/TJA_2011_Barszcz-Vernazza.pdf).

La función de Gompertz es ideal para el estudio de procesos biológicos de crecimiento que, como las epidemias, obedecen a la dinámica de sistemas no lineales<sup>7</sup>. Permite, realizar estimaciones precisas de su comportamiento si se deja libre sin restricciones e incluso como si se interviene con medidas que lo inhiban o modulen.

Así se ha procedido a determinar sucesivas funciones de Gompertz estimadas a lo largo del desarrollo de la epidemia en el momento en el que se ponen de manifiesto los efectos de los hitos temporales:

1. Declaración del estado de alarma el 14 de marzo de 2020 con las limitaciones de movimiento y medidas de distanciamiento social. Cuyos efectos comienzan a observarse a partir del 26 de marzo, a las dos semanas desde la declaración (aproximadamente 1 periodo de incubación).
2. Endurecimiento de las medidas anteriores instaurando el confinamiento de la mayoría de la población y la limitación de cualquier actividad salvo las consideradas esenciales a partir del 31 de marzo.
3. Levantamiento de las medidas de confinamiento total a partir del 9 de abril.

### Estado estacionario

Como puede observarse en la figura, el número de casos diarios comenzó a descender a las dos semanas de la declaración del estado de alarma (1 periodo de incubación de la enfermedad).

<sup>7</sup> Como por ejemplo el crecimiento de poblaciones biológicas y microbiológicas, medida de la proliferación tumoral y supervivencia en pacientes de cáncer y, por supuesto, para la modelización del desarrollo de epidemias causadas por enfermedades infecciosas.

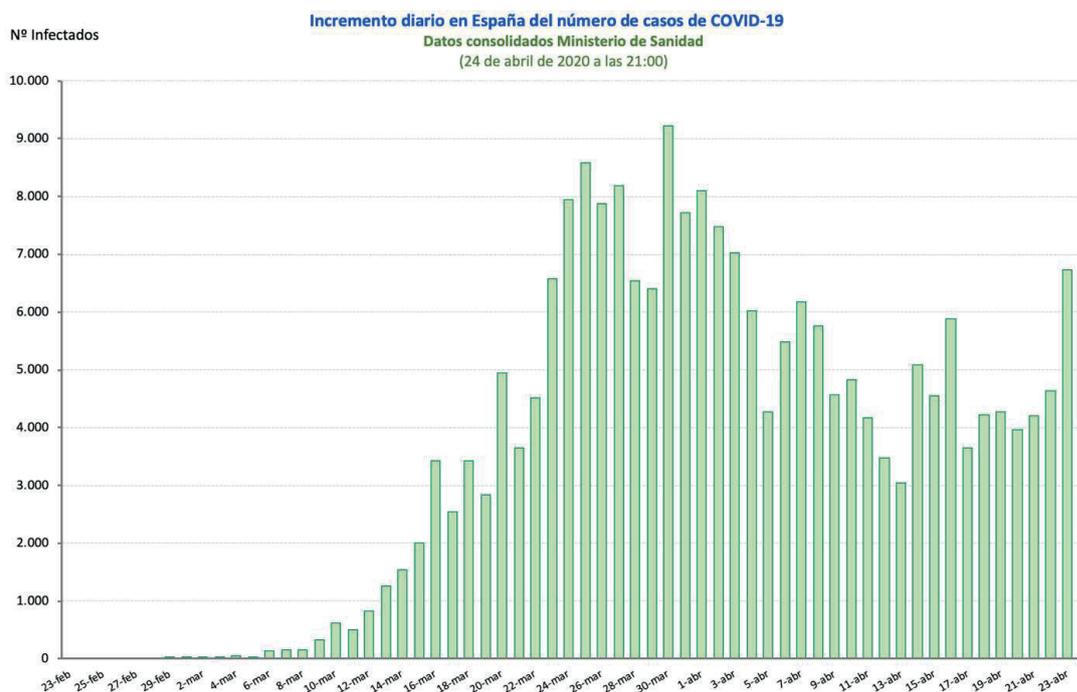


Figura 2. Incremento diario de casos de COVID-19 en España. Fuente: Elaboración propia.

Conviene en este punto mencionar un concepto central. Se trata del estado estacionario<sup>8</sup> que, en nuestro estudio, sería aquel en el que número de nuevos infectados diarios se mantendría constante. A partir de ahí existen dos posibilidades:

- Primera: decaimiento por agotamiento del proceso, el número de nuevos casos comienza a descender. Se observaría un «pico» en la serie temporal del número de nuevos casos diario seguido de una caída de dicho número.
- Segunda es que se mantuviera más o menos constante o con leves fluctuaciones (lo que se denomina estado «cuasiestacionario»).

Aunque inicialmente se observa un decaimiento, esta reducción parece haberse estancado en una zona comprendida entre los 3.000 y los 6.000 casos diarios en la que fluctúa. Sería un estado «cuasiestacionario».

<sup>8</sup> Estado en el que las variables que definen su comportamiento (variables de estado) no varían respecto del tiempo.

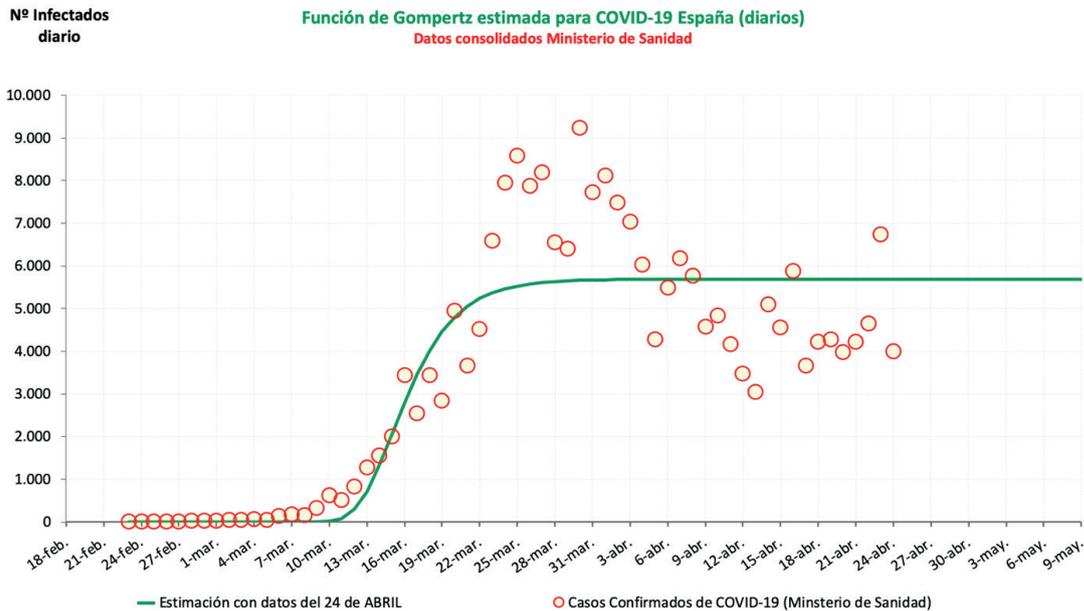


Figura 3. Ajuste por regresión a función de Gompertz del número de casos de COVID-19 detectados diariamente entre el 23 de febrero y el 18 de abril de 2020. Fuente: elaboración propia.

Esta situación tiene dos importantes derivadas. La primera es que se trata de una situación de equilibrio inestable pues, si no se consigue mantener lo suficientemente baja la transmisibilidad de la enfermedad, en cualquier momento podría producirse un rebrote en forma de estallido. La segunda es de carácter sanitario, ya que, si este estado estacionario se encuentra en unos valores elevados, se estaría sometiendo a una gran tensión al sistema sanitario, y de manera sostenida.

En esta situación la epidemia se puede mantener mucho tiempo. De hecho, no habría mayor problema si fuera lo suficientemente bajo como para no tensionar el sistema sanitario. Pero el virus causante de la COVID-19<sup>9</sup> tiene una capacidad infecciosa demasiado elevada como para que se pueda mantener este en equilibrio inestable sin que se produzca un nuevo estallido.

<sup>9</sup> La Organización Mundial de la Salud ha decidido llamar COVID-19 (acrónimo del inglés *coronavirus disease*) a la enfermedad causada por el coronavirus, y escribe esta denominación con mayúsculas y con un guion antes de los dos dígitos, en línea con códigos similares recogidos en la Clasificación Internacional de Enfermedades (ICD, por sus siglas en inglés). Hay que destacar que esta identificación se aplica a la enfermedad, no al virus, al que oficialmente el Comité Internacional de Taxonomía de Virus ha pasado a denominar SARS-CoV-2 (aunque es frecuente que se siga empleando el provisional 2019-nCoV). FUNDEU BBVA. «COVID-19, nombre de la enfermedad del coronavirus». [Fecha de la consulta 2/4/2020]. Disponible en <https://www.fundeu.es/recomendacion/covid-19-nombre-de-la-enfermedad-del-coronavirus/>.

Teniendo en cuenta lo anterior, lo primero que se debía hacer era forzar al proceso a entrar en estado estacionario cuanto antes e ir reduciendo el número contagios. Es decir, «frenar en seco» la acumulación de casos reduciendo el valor máximo de casos acumulados. Ahí es donde entraría en juego el Real Decreto-ley 10/2020, de 29 de marzo, por el que se regula un permiso retribuido recuperable para las personas trabajadoras por cuenta ajena que no presten servicios esenciales, con el fin de reducir la movilidad de la población en el contexto de la lucha contra el COVID-19.

Tras dos semanas desde la declaración del estado de alarma, las cifras de contagiados no cesaban de crecer, algo que, por otra parte, era inevitable si se atiende a los periodos de incubación del virus y que convierten cualquier cifra de infectados en un registro de lo que estaba sucediendo, aproximadamente, unas dos semanas antes<sup>10</sup>.

### Probabilidad de contagio de la población

Un aspecto fundamental a la hora de determinar el nivel de restricción de las medidas es la probabilidad de contagio de la población. Para ello, es necesario la introducción de un concepto de epidemiología que es el número básico de reproducción ( $R_0$ ), que se define como número promedio de nuevos casos generados largo en un periodo infeccioso a partir de un caso dado. Es decir, a cuántas personas contagia una que esté infectada. Cuando  $R_0 < 1$  se reduce la transmisión hasta la desaparición de la infección, mientras que si  $R_0 > 1$  se propagará entre la población, más cuanto mayor sea este número.

<sup>10</sup> «El periodo medio de incubación del nuevo coronavirus es de 5 días. Esta es la principal conclusión de la investigación publicada en *Annals of Internal Medicine*, que añade que los síntomas pueden prolongarse dentro de los 12 días siguientes. Este estudio está basado en 181 casos confirmados de COVID-19. El periodo de incubación del 95 por ciento fue entre los 4,5 a los 5,8 días, siendo la media de 5,1 días. Además, el 97,5 por ciento que desarrollen los síntomas, lo harán dentro de los 11,5 días de la exposición». «Coronavirus: síntomas iniciales hasta 5 días después del contagio». *Redacción Médica*. [Fecha de la consulta 2/4/2020]. Disponible en <https://www.redaccionmedica.com/secciones/sanidad-hoy/coronavirus-sintomas-iniciales-hasta-5-dias-despues-contagio-4776>.

Enfermedad	Transmisión	$R_0$
Sarampión	Aérea	12–18
Tos ferina	Gotitas en aire	12–17
Difteria	Saliva	6–7
Viruela	Contacto social	5–7
Polio	Ruta oral-fecal	5–7
Rubéola	Gotitas en aire	5–7
Paperas	Gotitas en aire	4–7
VIH/SIDA	Contacto sexual	2–5
SARS	Gotitas en aire	2–5
Influenza pandemia de 1918	Gotitas en el aire	2–3
Ébola	Contacto con órganos o líquidos	2–3

Tabla 1. Número básico de reproducción ( $R_0$ ) para diversas enfermedades. Fuente: disponible en <https://fundacionio.com/2020/03/08/numero-basico-de-reproduccion-r0-por-que-es-importante/>.

En el caso del virus causante de la COVID-19 se ha determinado que su valor de  $R_0$  es de 2,28<sup>11</sup>.

Número básico de reproducción ( $R_0$ ) = Tasa de ataque x contactos

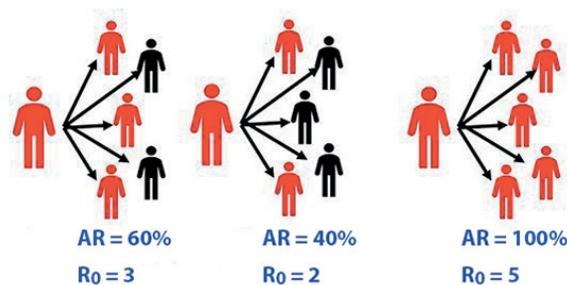


Figura 4. Representación gráfica del comportamiento de una epidemia según su  $R_0$ . Fuente: disponible en <https://espanol.medscape.com/verarticulo/5905061>.

<sup>11</sup> SHENG, Zhang y otros. «Estimation of the reproductive number of novel coronavirus (COVID-19) and the probable outbreak size on the Diamond Princess cruise ship: A data-driven analysis». *International Journal of Infectious Diseases*. [Fecha de la consulta 4/4/2020]. Disponible en [https://www.ijidonline.com/article/S1201-9712\(20\)30091-6/fulltext](https://www.ijidonline.com/article/S1201-9712(20)30091-6/fulltext).

Por otra parte, esto no impide un nuevo brote si se produce una eliminación de las restricciones, volviendo a sus valores teóricos de  $R_0$ <sup>12</sup>.

La media nacional de  $R_0$  en coronavirus, clave en el estado de alarma ya que una vez esta sea inferior a 1, podrá plantearse la posibilidad de proceder una reducción, siempre progresiva, de las medidas de confinamiento, pero con una vigilancia permanente del número real de infectados para evitar que un brote exponencial nos devolviera de nuevo a la casilla de salida.

## Resultados

Para la realización de este estudio se han utilizado los datos oficiales proporcionados por el Ministerio de Sanidad hasta el día 18 de abril. Existe controversia en cuanto a la aproximación de los datos a la realidad de la enfermedad en la población. Así, sin ánimo de ser exhaustivos y a modo de ejemplo, según un estudio del Imperial College de Londres un 15 % de la población española, alrededor de siete millones de personas, estaría infectada con el virus de la COVID-19<sup>13</sup>. No obstante, la cinética de la epidemia no se verá afectada significativamente, ya que su comportamiento podrá, en cierto modo, extrapolarse a un número de personas infectadas mayor.

<sup>12</sup> «Coronavirus: España sigue en remisión mientras el virus repunta en La Rioja». *Redacción médica*. Disponible en <https://www.redaccionmedica.com/secciones/sanidad-hoy/coronavirus-espana-sigue-en-remision-mientras-el-virus-repunta-en-la-rioja-3009>.

<sup>13</sup> «El Imperial College estima que las medidas han evitado 16.000 muertes en España». *El Mundo*. [Fecha de la consulta 8/4/2020]. Disponible en <https://www.elmundo.es/ciencia-y-salud/salud/2020/03/31/5e83234921efa0e35d8b4612.html>.

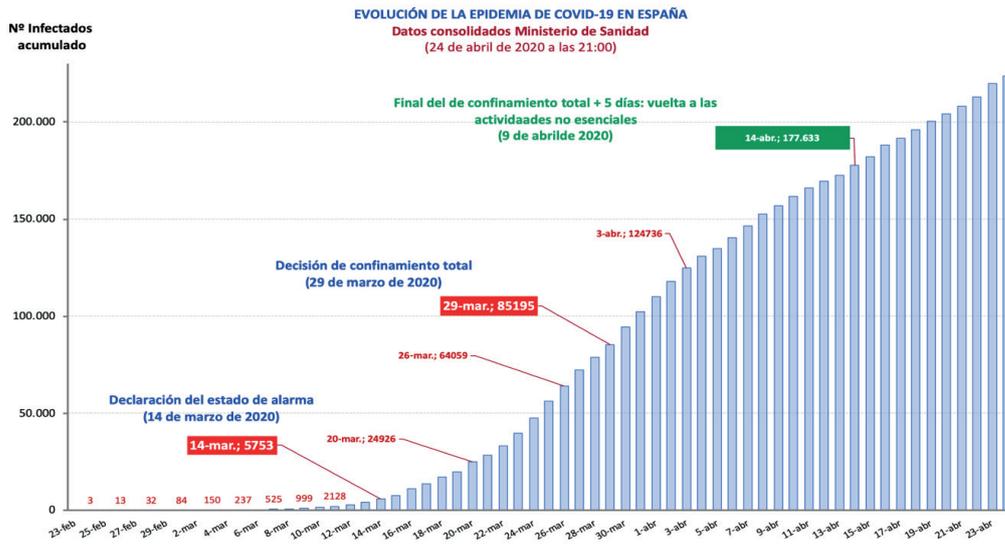


Figura 5. Gráfico de evolución de la epidemia de COVID-19 en España en 2020.  
Fuente: elaboración propia.

- **Escenario 1:** funciones de Gompertz estimadas en el momento de la declaración del estado de alarma:

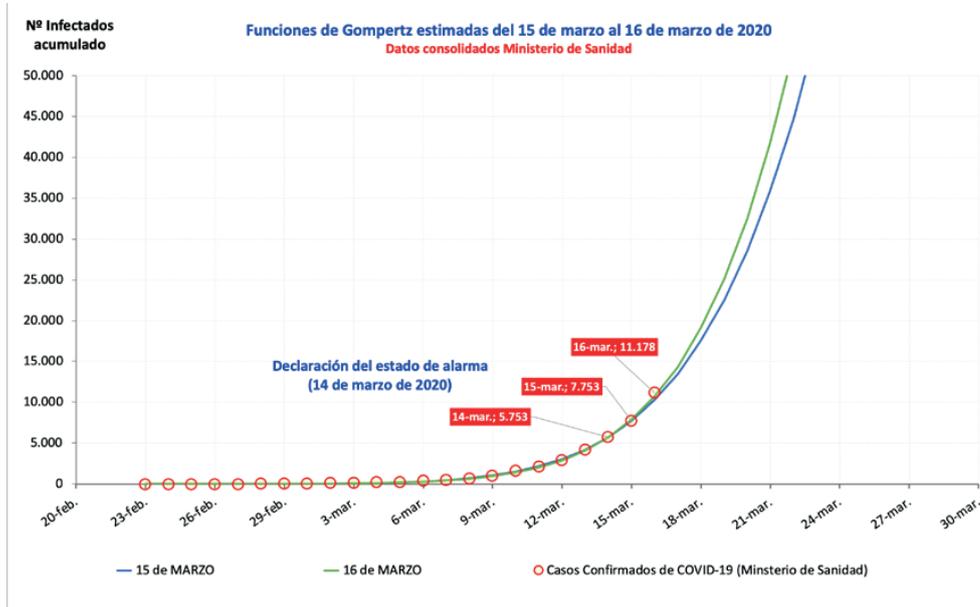


Figura 6. Gráfico de evolución de la epidemia de COVID-19 en el escenario 1.  
Fuente: elaboración propia.

En la gráfica puede observarse un fuerte crecimiento exponencial, típico del inicio de todos los procesos epidemiológicos, en el instante en el que se manifiesta un estallido y los casos prácticamente se duplicaban cada dos días. En esta cinética los valores de la carga máxima son muy elevados, dándonos una idea de la magnitud que puede alcanzar el proceso si este se desarrolla sin restricciones, observándose estimaciones de carga máxima de 6.250.919 (línea azul) y 22.565.341 (línea verde) infectados para finales del mes de junio.

Hay que señalar que es una fase temprana del proceso y la incertidumbre es elevada. No obstante, sí habría permitido estimar que para la última semana de marzo se superarían los 50.000 casos.

- **Escenario 2:** funciones de Gompertz estimadas para un proceso de evolución de la epidemia en el momento en el que se ponen de manifiesto los efectos:
  1. Declaración del estado de alarma.
  2. Medidas de confinamiento total.

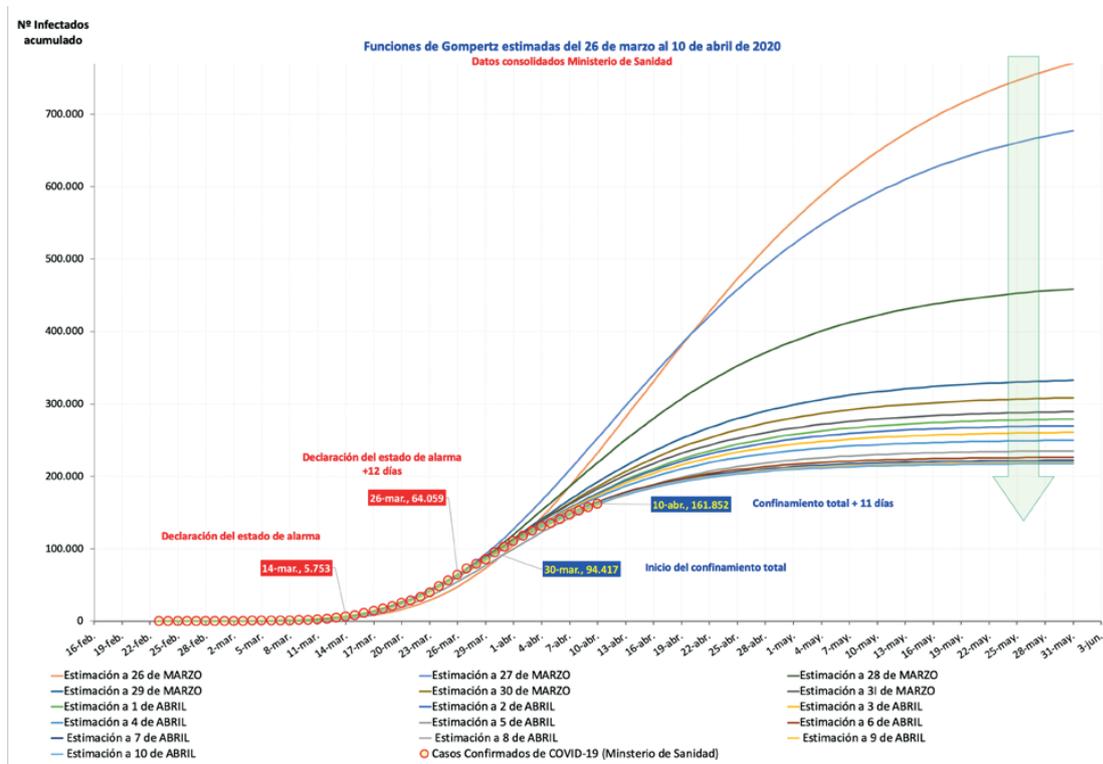


Figura 7. Gráfico de evolución de la epidemia de COVID-19 en el escenario 3.  
Fuente: elaboración propia.

En este momento, en la estimación del 26 de marzo, a los 12 días de la declaración del estado de alarma, se obtiene una gráfica en la que la carga máxima estimada (K) es de 836.888 infectados para mediados de junio. Aquí se han puesto de manifiesto los contagios ocurridos hasta la declaración del estado de alarma. Conforme van avanzando los días, en las sucesivas funciones de Gompertz estimadas cada día van disminuyendo sus valores de la carga máxima (número máximo de infectados acumulado alcanzado). Esto indica el funcionamiento de las medidas, ya que cada día que las medidas están activas, el número máximo teórico de casos que podría alcanzarse se ve disminuido al igual que la velocidad de los contagios.

Se puede estimar que, si las condiciones de evolución de la epidemia continúan con esta tónica, la «fase de estabilización» se alcanzaría a finales de abril, un valor de carga máxima entorno a los 220.000 infectados. Sin embargo, si se mantiene constante el número de contagios diario esa carga máxima diaria se irá elevando con cada día a razón diaria de ese número, con las consecuencias antes expuestas.

Como se ha señalado al hablar del estado estacionario, esta «fase de estabilización» estará sometida a fluctuaciones como consecuencia ascensos y descensos en el número de nuevos casos. Estas oscilaciones son habituales de la dinámica de los procesos biológicos.

- **Escenario 3:** funciones de Gompertz estimadas para un proceso de evolución de la epidemia al finalizar las medidas de confinamiento total.

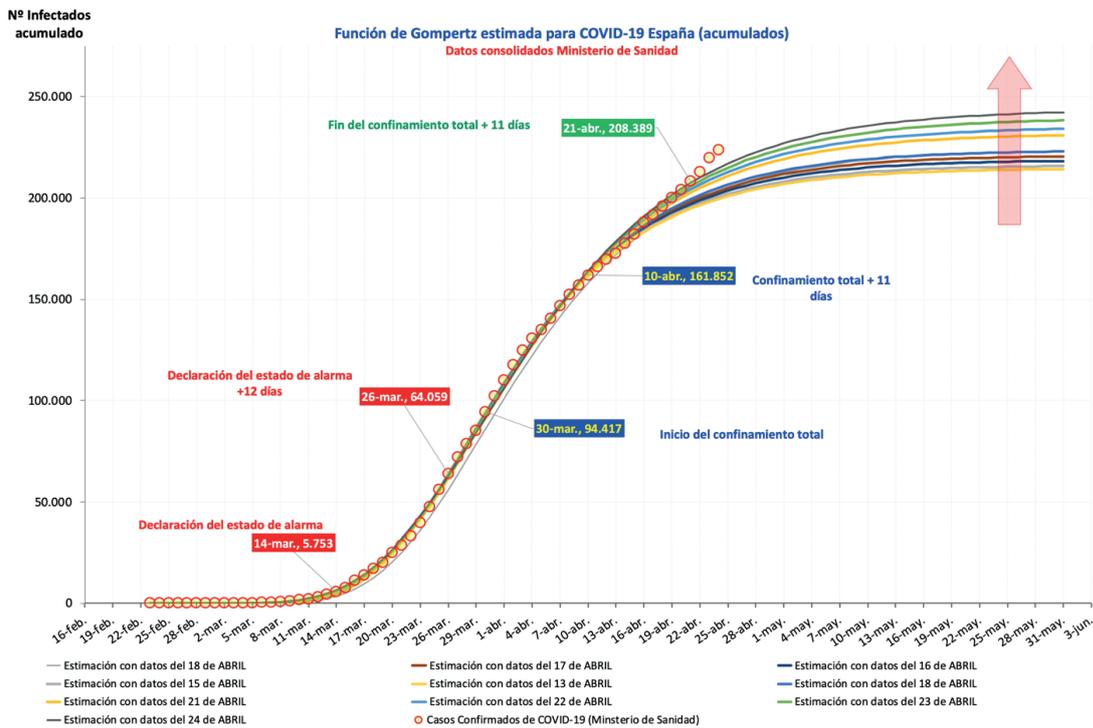


Figura 8. Gráfico de evolución de la epidemia de COVID-19 en el escenario 3.  
Fuente: elaboración propia.

Aquí puede observarse cómo las estimaciones del máximo número de infectados que se puede alcanzar va creciendo día a día. Esto es consecuencia del estado «cuasiestacionario» que oscila en torno a los 6.000 nuevos casos diarios. Este número del que costará que descienda es consecuencia de dos efectos. El primero es debido a cierto incremento en el número de pruebas realizadas (serología y PCR). En segundo lugar, al hecho de que el retorno a la actividad no esencial implica indefectiblemente un incremento de los contactos y por tanto de los contagios. Sin embargo, este estudio no pondera la contribución al incremento de estas dos variables, si bien el peso específico del mayor número de pruebas diagnósticas fuera algo mayor debido a la disciplina del distanciamiento social y otras medidas de protección como el uso de mascarillas y geles hidroalcohólicos en ese retorno a la actividad.

### ¿Era factible inferir el estallido de COVID-19?

Esta es una de las preguntas que más interés y controversia despierta. La respuesta es sencilla en cuanto a su forma, pero muy compleja a la hora de valorar su verosimilitud<sup>14</sup>.

Existe una forma intuitiva de mirar el futuro y es observando qué ha sucedido en otros lugares. Ese sería el caso de Italia con un escenario similar al nuestro, pero iniciado nueve días antes: el 15 de febrero de 2020.

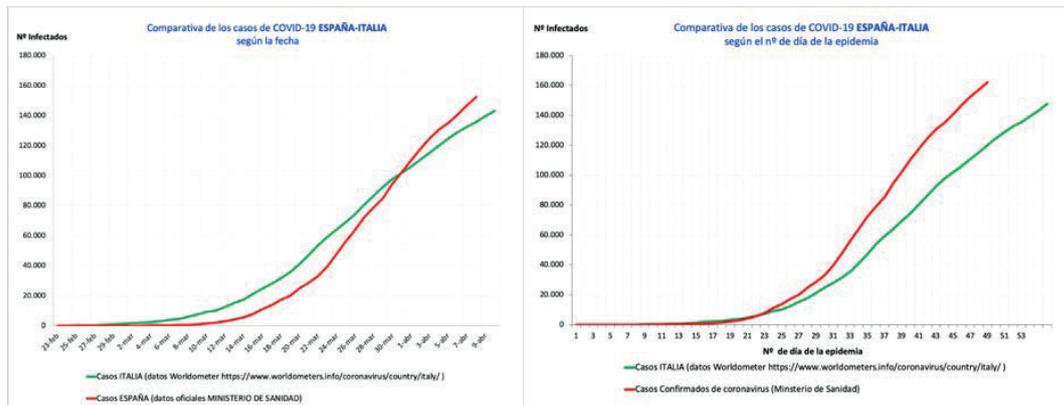


Figura 9. Gráficos comparativos de la evolución de la epidemia en España e Italia por fecha (izqda.) y por número de día (dcha.). Fuente: elaboración propia.

En los gráficos anteriores, puede observarse cómo el crecimiento del número de casos observados en España es superior al de Italia según el número de días de la epidemia.

Por otra parte, se han realizado estimaciones para varios días. Los datos para Italia se han obtenido de la página web Worldometer<sup>15</sup> y se ha llevado a cabo el mismo análisis de regresión no lineal ajustando los datos a la función de Gompertz para los días 6 de marzo y 7 de abril, con el siguiente resultado:

<sup>14</sup> Se podría emplear el teorema de Bayes, que describe la probabilidad de ocurrencia de un suceso basándose en el conocimiento previo de las condiciones relacionadas con ese suceso. El doctor Manuel de León, del Instituto de Ciencias Matemáticas (ICMAT) lo explica de la siguiente manera: «La información acerca de un determinado fenómeno tras el análisis de los datos (distribución *a posteriori*), se obtiene actualizando los conocimientos previos (distribución *a priori*) con los nuevos datos (información que vamos obteniendo de las muestras). SINC CIENCIAS. «Un modelo, un teorema y teoría de juegos contra el coronavirus». [Fecha de consulta 4/4/2020]. Disponible en <https://www.agenciasinc.es/Reportajes/Un-modelo-un-teorema-y-teoria-de-juegos-contra-el-coronavirus>.

<sup>15</sup> WORLDOMETER. [Fecha de consulta 9/4/2020]. Disponible en <https://www.worldometers.info/coronavirus/country/italy/>.

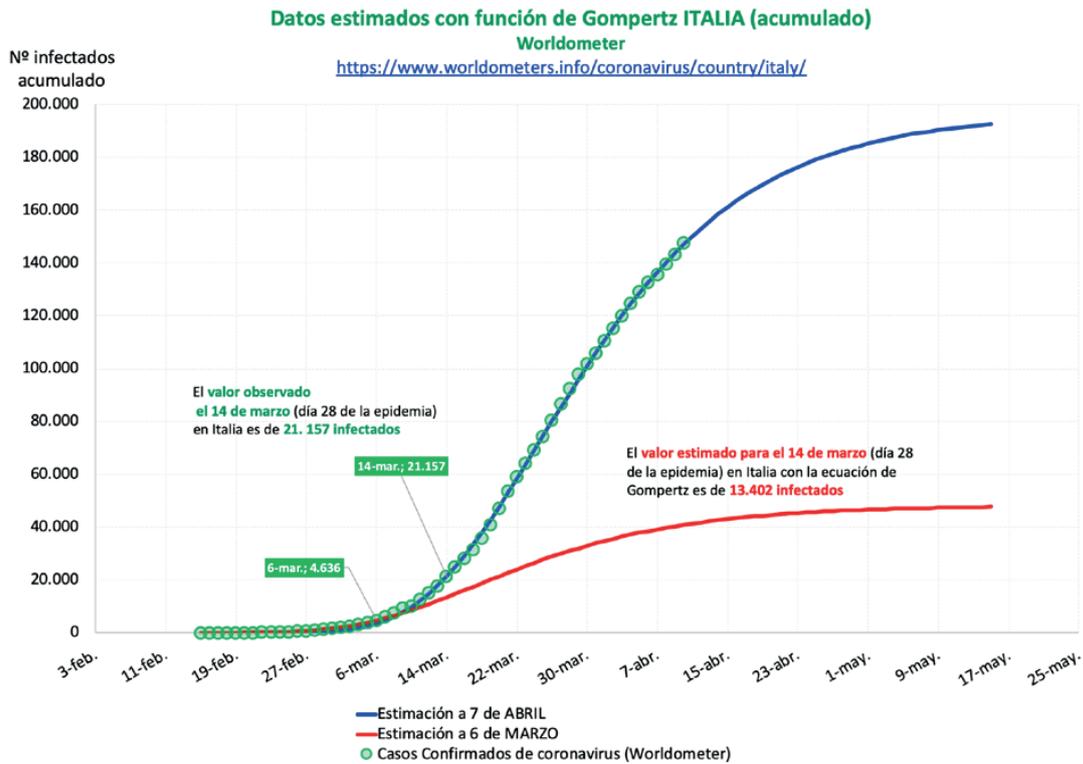


Figura 10. Gráficos de la función de Gompertz para Italia obtenidos con los datos disponibles a 6 de marzo (rojo) y a 7 de abril (azul). Fuente: elaboración propia.

El 6 de marzo en Italia es el primer día en el que existía una serie de datos acumulados suficiente como para iniciar un análisis por este método, obteniéndose una estimación en la que el número de casos se iba a multiplicar por 3 en una semana. La realidad es que se acabó multiplicando por más de 4, pasando de los 4.636 a los 21.157 infectados. Podría concluirse que en la fase más temprana hay una infraestimación del valor real alcanzable. Esto es debido a que el inicio de estos procesos es lento, aunque la fase exponencial que la sigue es muy difícil de frenar una vez iniciada debido al desfase consecuencia del tiempo de incubación.

La disyuntiva es si se pueden tomar decisiones basadas en unas predicciones con un comportamiento que, aunque conocido, tiene mucha incertidumbre a muy corto plazo. Ahí es donde entraría en juego una correcta valoración del riesgo que en este caso es multiplicativo y sistémico. Para ello, habría que apoyarse en técnicas de ayuda a la decisión basadas en análisis metaheurísticos que pertenecen a la rama de las matemáticas de la investigación operativa y a las que se incorporarían este tipo de

análisis. Estas técnicas son habitualmente empleadas en el proceso de toma de decisiones tanto en el Ministerio de Defensa como en los cuarteles generales de los ejércitos, que disponen de gabinetes de investigación militar operativa en los que se trabaja con modelos matemáticos y de simulación, para ofrecer las soluciones óptimas a cuestiones complejas<sup>16</sup>.

### Capacidades de alerta epidemiológica

La Estrategia de Seguridad Nacional de 2017 (ESN)<sup>17</sup> tiene entre sus desafíos la seguridad contra pandemias y epidemias, con el objetivo de adoptar planes de preparación y respuesta ante riesgos sanitarios. Para alcanzarlo dispone de cuatro líneas de acción de las que dos de ellas, sin estar específicamente dirigidas a un brote epidémico como el de COVID-19 surgido, proporcionan una serie de directrices de actuación en el nivel preventivo:

- Revisar y actualizar periódicamente los planes de preparación y respuesta existentes ante riesgos específicos.
- Promover el desarrollo de un plan nacional genérico de preparación y respuesta ante riesgos biológicos con una aproximación multisectorial.
- Establecer los mecanismos necesarios para la coordinación de las Fuerzas Armadas, fuerzas y cuerpos de seguridad del Estado, los responsables judiciales y las autoridades de salud pública para dar una respuesta eficaz ante ataques intencionados con agentes infecciosos.
- Adaptar la red de hospitales de tratamiento de casos confirmados de ébola para responder ante cualquier enfermedad infecciosa de alto riesgo.

<sup>16</sup> «Apoyo científico al mando. La investigación militar operativa aporta soluciones matemáticas para la toma de decisiones». *Revista española de Defensa*. [Fecha de consulta 4/4/2020]. Disponible en <https://www.defensa.gob.es/Galerias/gabinete/red/2018/red-356-investigacion-operativa.pdf>.

<sup>17</sup> DEPARTAMENTO DE SEGURIDAD NACIONAL. *Estrategia de Seguridad Nacional 2017: Un proyecto compartido de todos y para todos*. [Fecha de consulta 4/4/2020]. Disponible en [https://www.dsn.gob.es/sites/dsn/files/Estrategia\\_de\\_Seguridad\\_Nacional\\_ESN%20Final.pdf](https://www.dsn.gob.es/sites/dsn/files/Estrategia_de_Seguridad_Nacional_ESN%20Final.pdf).

- Ampliar y mantener los sistemas de vigilancia y control de introducción de vectores exóticos en puntos de entrada y de vectores autóctonos, además de extender el *Plan nacional de preparación y respuesta frente a enfermedades transmitidas por vectores* a todos los vectores de interés.
- Desarrollar y mejorar entre los departamentos ministeriales involucrados los protocolos para evitar la entrada en el país de animales o mercancías que puedan contener patógenos de riesgo, así como para garantizar la atención adecuada a personas que accedan al país con enfermedades infecciosas de alto riesgo.
- Reforzar las capacidades de respuesta de equipos de intervención de sanidad exterior ante incidentes sanitarios en fronteras.

Asimismo, la ESN considera «necesario, además de reducir la vulnerabilidad de la población, desarrollar planes de preparación y respuesta ante amenazas y desafíos sanitarios, tanto genéricos como específicos, con una aproximación multisectorial que asegure una buena coordinación de todas las administraciones implicadas tanto a nivel nacional como internacional»<sup>18</sup>.

Aunque como puede observarse es una filosofía orientada a la respuesta a crisis, en el análisis de las tendencias en el ámbito de la seguridad frente a pandemias y epidemias del *Informe Anual de Seguridad Nacional 2018*<sup>19</sup>, el último publicado por el Departamento de Seguridad Nacional, se incluye el incremento en los viajes internacionales observado en los últimos años y que estos pueden suponer un peligro de difusión de pandemias y epidemias.

Igualmente, en dicho informe, entre las realizaciones del ámbito de no proliferación y armas de destrucción masiva se encuentra un instrumento cuya estructura, *a priori*, podría ser empleada con este fin anticipador. Se trata de la Red de Laboratorios de Alerta Biológica (RE-LAB), regulada por la Orden PCI/1381/2018, de 18 de diciembre y que fue creada en el año 2009 como una infraestructura científico-técnica formada por una serie de laboratorios especializados en microbiología, cuya finalidad es «el apoyo operativo al Sistema de Seguridad Nacional ante riesgos y amenazas por agentes biológicos y cuya dirección se encomienda al Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, a través

<sup>18</sup> Ibídem.

<sup>19</sup> DEPARTAMENTO DE SEGURIDAD NACIONAL. *Informe Anual de Seguridad Nacional 2018*. [Fecha de consulta 4/4/2020]. Disponible en <https://www.dsn.gob.es/es/documento/informe-anual-seguridad-nacional-2018>.

del Instituto de Salud Carlos III. Una infraestructura compuesta por diferentes órganos, instituciones y laboratorios de referencia, en sus diferentes ámbitos de actuación del territorio nacional, con objeto de dar una respuesta rápida a situaciones de emergencia producidas por incidentes con agentes biológicos (agentes biológicos vivos y agentes de espectro medio-toxinas y biorreguladores), como las ocurridas en la primera década del siglo XXI. Este tipo de amenaza reúne una serie de características, tales como la dificultad de detección e identificación de gran parte de los agentes biológicos antes de que aparezcan los síntomas del mal provocado y la enorme potencialidad de la mayoría de estos para ocasionar graves daños con efectos multiplicativos por contagio»<sup>20</sup>.

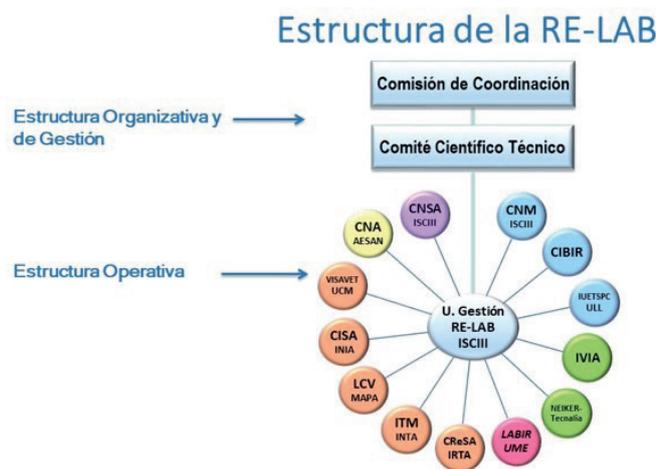


Figura 11. Estructura de la Red de Laboratorios de Alerta Biológica (RE-LAB). Fuente: ISCII.

No obstante, esta red está dirigida a la mitigación de los riesgos que entrañaría tanto la dispersión intencionada de agentes biológicos por parte de actores no estatales como su liberación accidental, constituyendo un importante elemento en la coordinación y respuesta frente a este tipo de amenazas. Sus funciones se llevan a cabo en el ámbito de la seguridad biológica, en especial en todo lo relacionado con la detección e

<sup>20</sup> Orden PRE/305/2009, de 10 de febrero, por la que se crea la Red de Laboratorios de Alerta Biológica «RE-LAB». [Fecha de consulta 4/4/2020]. Disponible en <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2009-2734>.

identificación de agentes biológicos en las áreas de salud humana, sanidad ambiental, seguridad alimentaria, sanidad animal y sanidad vegetal<sup>21</sup>.

De entre las funciones que la RE-LAB desempeña destacan dos que podrían proporcionar cierta inteligencia epidemiológica:

- Creación y mantenimiento de una red informática para interconexión de datos y compartición de información entre los laboratorios que componen la RE-LAB, integrando en red la detección e identificación de riesgos, la planificación y preparación de respuestas y el desarrollo de las intervenciones que corresponda a cada uno de los departamentos con competencias sectoriales en las áreas anteriormente mencionadas.
- Apoyo y coordinación de los medios científico-técnicos necesarios para la toma de decisiones de la autoridad competente en cada caso, en las situaciones de alerta y emergencia por agentes biológicos.

Como se observa no parece que tenga en cuenta las capacidades que proporciona la investigación operativa, ya que para ello sería necesario que en la RE-LAB se incluyera laboratorio, centro de investigación, departamento universitario u organismo público, con suficiente capacidad como para proporcionar una auténtica inteligencia epidemiológica basada en el análisis de escenarios.

En España existe una Red Nacional de Vigilancia Epidemiológica (RENAVE) desde 1995 cuyo «propósito es proporcionar la información necesaria para el control de las enfermedades transmisibles en la población»<sup>22</sup>. Sin embargo, esta conexión se encuentra incardinada en el sistema de atención sanitaria en sus distintos niveles administrativos.

En el Instituto de Salud Carlos III se encuentra el Centro Nacional de Epidemiología (CNE) que «tiene como meta generar información y nuevas evidencias para la toma de decisiones en salud pública. El CNE trabaja al servicio de la salud pública, contribuyendo al control de enfermedades y riesgos en colaboración con las comunidades autónomas,

<sup>21</sup> INSTITUTO DE SALUD CARLOS III. Red de Laboratorios de Alerta Biológica. [Fecha de consulta 5/4/2020]. Disponible en <https://www.isciii.es/QuienesSomos/CentrosPropios/relab/Organizacion/Paginas/EstructuraOrganizativaGestion.aspx>.

<sup>22</sup> Real Decreto 2210/1995 por el que se crea la Red Nacional de Vigilancia Epidemiológica. BOE n.º 21, 24/1/1996.

el Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar Social y el resto de la administración general del Estado con competencias sanitarias»<sup>23</sup>. Sus objetivos son:

- Mejorar el nivel de salud de la población mediante la vigilancia en Salud Pública, el estudio epidemiológico de las enfermedades y riesgos, la cuantificación de su impacto y la monitorización de su evolución.
- Investigación de los factores que comprometen la salud de los ciudadanos.
- Formación de expertos en epidemiología y salud pública.



Figura 12. Estructura de la RENAVE. Fuente: ISCIII.

Como puede observarse el actual sistema está enfocado, a la alerta ante liberación de agentes biológicos y, por otro, al control epidemiológico desde el punto de vista de la salud pública, tanto en su vertiente preventiva como asistencial.

<sup>23</sup> CENTRO NACIONAL DE EPIDEMIOLOGÍA. [Fecha de consulta 5/4/2020]. Disponible en <https://www.isciii.es/QuienesSomos/CentrosPropios/CNE/Paginas/default.aspx>.

No obstante, no parece que las potentes capacidades matemáticas de las que disponen multitud de grupos de investigación estén incorporadas, al menos formalmente, a la red de vigilancia epidemiológica, que cuando esta crisis se supere deberá, sin duda, crecer en envergadura, constituyendo, más que una red, un auténtico sistema de vigilancia epidemiológica. En este sistema, los análisis holísticos de cuantas informaciones pudieran indicar la aparición y posterior evolución de un brote epidémico deberán tener un papel central, proporcionando inteligencia basada en análisis de los datos que pudieran guardar relación, por extraña que pudiera parecer, con un posible brote epidémico.

### Sobre la inteligencia epidemiológica

Según el Centro de Coordinación en Alertas y Emergencias Sanitarias (CCAES): «La inteligencia epidemiológica es el proceso de detección, filtrado, verificación, análisis, evaluación e investigación de aquellos eventos o situaciones que puedan representar una amenaza para la salud pública. La finalidad de las actividades de inteligencia epidemiológica es producir información temprana y verificada sobre situaciones o eventos relevantes para la salud pública y que puedan requerir una acción, incluyendo medidas de prevención y control, con el objetivo de que dichas acciones se tomen lo más rápidamente posible con información de calidad»<sup>24</sup>.

Engloba dos componentes:

1. Vigilancia basada en recolección, análisis e interpretación de datos estructurados provenientes de sistemas de vigilancia.
2. Vigilancia basada en la captura, filtrado y verificación de información sobre eventos que pueden tener una repercusión en salud pública provenientes de diferentes fuentes oficiales y no oficiales.

<sup>24</sup> CENTRO DE COORDINACIÓN EN ALERTAS Y EMERGENCIAS SANITARIAS (CCAES). [Fecha de consulta 5/4/2020.] Disponible en <https://www.mscbs.gob.es/profesionales/saludPublica/ccayes/home.htm>.

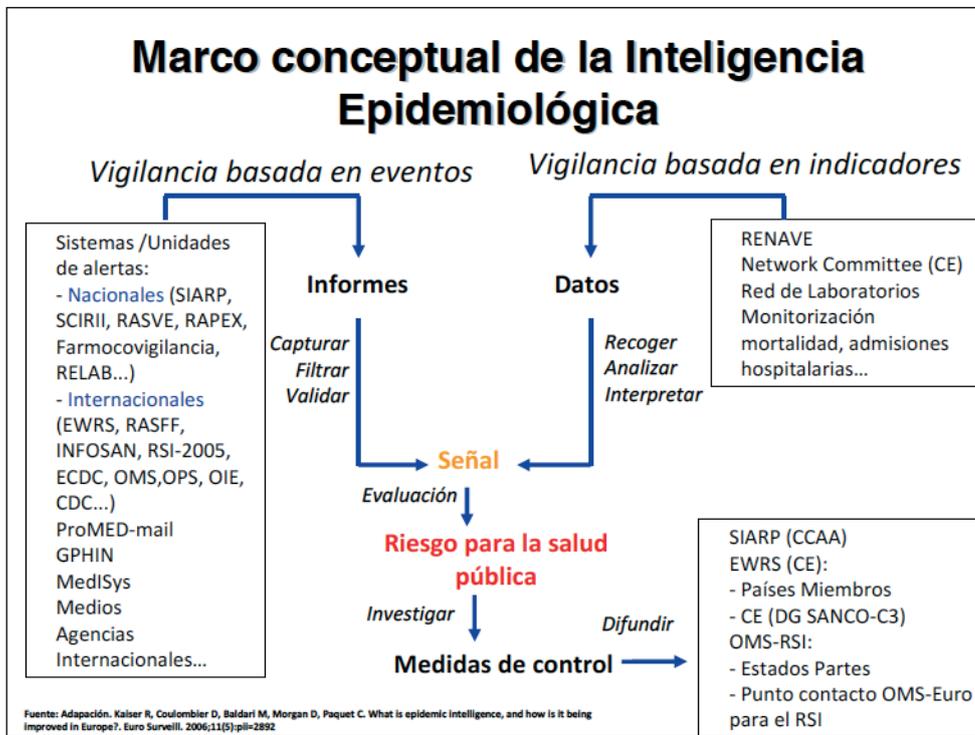


Figura 13. Marco conceptual de la inteligencia epidemiológica. Fuente: ISCIII.

En todo este proceso son de destacar una serie de acciones que se llevan a cabo, como es la búsqueda específica de información relativa a eventos y señales o alertas abiertas en seguimiento y posterior filtrado para decidir cuáles de esos eventos pueden constituir potenciales riesgos para la salud pública. Los eventos para tener en cuenta son cualquiera de los que:

- Supongan un cambio en la ocurrencia de una enfermedad respecto al número de casos, el mecanismo de transmisión, la gravedad y mortalidad o el patrón epidemiológico.
- Aquellos con potencial de transmisión entre comunidades autónomas.

Como puede comprobarse parece concebido para la detección de un brote epidémico ya surgido, aunque tampoco ha sido suficiente para la detección de «una variación no habitual de la curva de evolución de los casos de gripe»<sup>25</sup> acaecida durante el mes de febrero.

En lo relativo al análisis y evaluación de señales se lleva a cabo un estudio del posible impacto, con el objeto de determinar las acciones a seguir, si necesitan y si pueden o no esas señales constituir una alerta:

- Aumento repentino o inesperado en la incidencia o gravedad de una enfermedad con riesgo de propagación.
- Enfermedades emergentes.
- Cambio del patrón epidemiológico.
- Detección de nueva cepa.
- Cualquier evento que requiera de una acción rápida y coordinada (de autoridades nacionales e internacionales) para su contención.
- Enfermedades sujetas a declaración urgente a la OMS por el Reglamento Sanitario Internacional.

No existe un criterio basado en el análisis y la prospectiva de situaciones que, constituyendo una situación de alerta, pudieran inferir posibles escenarios como lo ha sido en el caso del SARS-CoV-2.

A pesar de ser un nuevo agente causal, existía cierto grado de experiencia con el brote surgido en Asia en 2003 de síndrome respiratorio agudo grave conocido como SARS causado por el coronavirus SARS-CoV.

---

<sup>25</sup> «Simón reconoce que en febrero se pudieron diagnosticar casos de coronavirus como gripes». *Heraldo*. [Fecha de la consulta 24/4/2020]. Disponible en <https://www.heraldo.es/noticias/nacional/2020/04/15/simon-reconoce-febrero-diagnosticar-casos-gripe-1369760.html>.

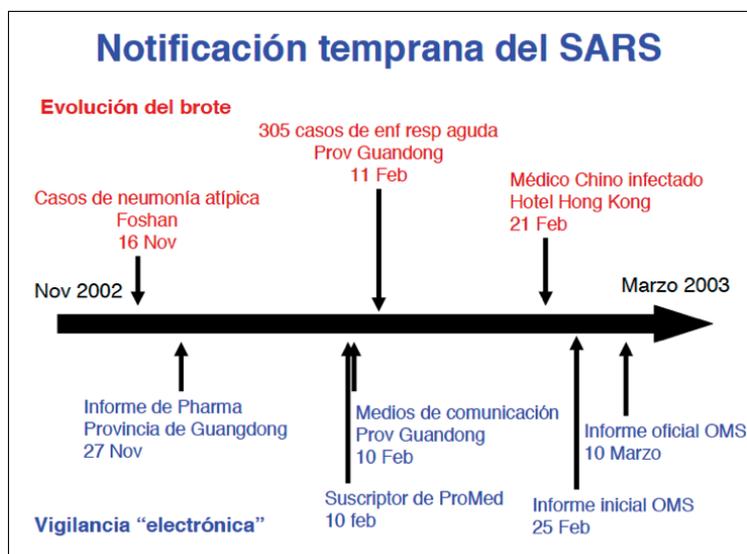


Figura 14. Línea temporal de vigilancia «electrónica» de la epidemia de SARS de 2003.  
Fuente: ISCIII.

Las lecciones aprendidas se basaron en la necesidad de una monitorización y seguimiento en tiempo real y disposición de una información científica y sanitaria de calidad. Y aquí reside un importante talón de Aquiles en que se trata de una concepción de la seguridad frente a epidemias basada, fundamentalmente, en la vigilancia, sin unas auténticas capacidades de prospectiva que proporcionen posibles escenarios de difusión de una epidemia.

No es, en principio, un sistema concebido para la anticipación de posibles escenarios, sino a la detección y respuesta ante riesgos epidemiológicos que por su capacidad de propagación constituyan un riesgo potencial.

## Conclusiones

- La utilización de modelos matemáticos, como los basados en la función de Gompertz, son una herramienta útil para predecir y analizar la evolución de procesos epidémicos que ayuden en la toma de decisiones para una respuesta adecuada y medible.
- La evolución del escenario epidemiológico desde la aplicación del estado de alarma ha sido positiva. No obstante, se observa un retraso en la manifestación del efecto de las medidas que coincide con, al menos, un periodo de incubación, razón por la cual se observó una escalada tan fuerte a partir del 26 de marzo en el que se pusieron de manifiesto los contagios acaecidos durante la semana de la declaración del estado de alarma. Conforme han ido avanzando los días, se observa cómo se ha reducido el número máximo infectados acumulado que, y basándonos exclusivamente en los datos oficiales del Ministerio de Sanidad, estimamos que será de unas 220.000 personas para el final de la última prórroga del estado de alarma el próximo 26 de abril. Sin embargo, esta cifra podría elevarse si durante el retorno a las actividades no esenciales a partir del 13 de abril no se extreman las medidas de autoprotección y de distanciamiento social que tan buenos resultados han dado inicialmente.
- Tras el retorno a las actividades no esenciales a partir del 13 de abril y el mayor número de pruebas diagnósticas, se ha evidenciado un estancamiento en el descenso del número de casos y un aumento del número máximo de casos estimado que rondaría los 250.000 infectados para la primera quincena de mayo. Este extremo dependerá de la cantidad de pruebas diagnósticas que se realicen.
- Los brotes epidémicos como el de la COVID-19 constituyen desafíos para la Estrategia de Seguridad Nacional, y por tanto requieren actuaciones encaminadas a potenciar el análisis de escenarios y las capacidades de alerta, así como la incorporación de procedimientos de inteligencia epidemiológica.

- El actual modelo de inteligencia epidemiológica está concebido para la detección y respuesta ante riesgos epidemiológicos que por su capacidad de propagación constituyan un riesgo potencial para la salud. No parece ser que incorpore las capacidades que la investigación operativa, como el análisis biocomputacional o la metaheurística que, de la misma manera que lo hacen los gabinetes de investigación operativa de las Fuerzas Armadas, proporcionen los elementos de juicio necesarios para el proceso de toma de decisiones en diferentes escenarios posibles.
- A modo de reflexión final cabe decir que antes de la respuesta sanitaria se necesita la suficiente capacidad de anticipación, para que dicha respuesta sea más temprana aún, evitando el estrés del sistema sanitario, incluso su eventual colapso.
- Las herramientas que proporcionan las matemáticas a partir de la investigación operativa están disponibles y constituirían una auténtica defensa adelantada ante las futuras pandemias y epidemias.

*Joaquín Mariano Pellicer Balsalobre\**

Capitán de la Guardia Civil  
Licenciado en Biología y Bioquímica  
Máster en Paz, Seguridad y Defensa por el IUGM

*David Parra Pecharromán\*\**

Capitán de la Guardia Civil  
Doctor en Veterinaria  
Máster en Ciencias Policiales, Univ. Alcalá de Henares