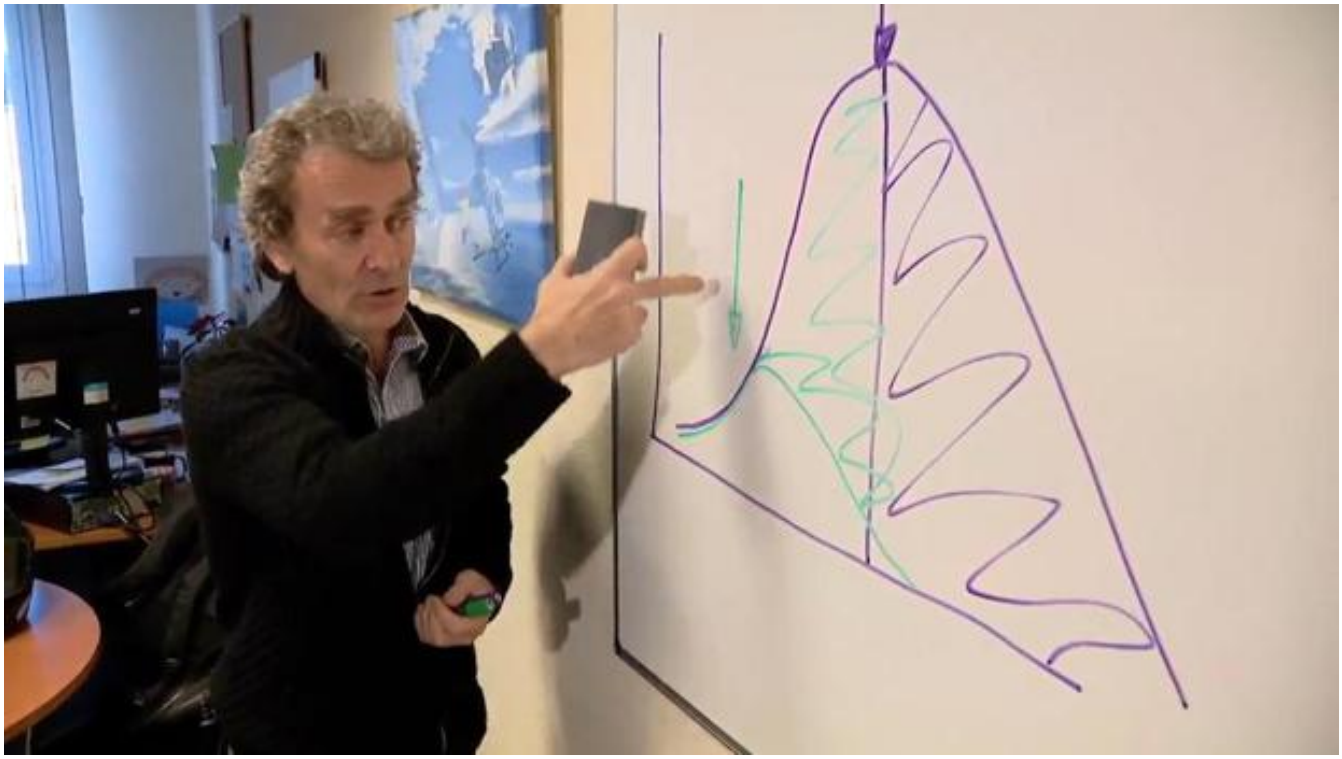
ABC, 30 de Marzo de 2020
CIENCIA - El ABCdario de las matemáticas
David Gómez-Ullate Oteiza

**La nueva entrega del ABCdario de las Matemáticas analiza el uso de los números como arma para atajar la pandemia creada por el Covid-19**



Fernando Simón explicando los datos de la curva de infectados - Archivo

En estos tiempos de crisis sanitaria por la epidemia del virus SARS CoV-2 , resulta difícil mantener la concentración en nuestra actividad matemática habitual. Pero esta **crisis no es sólo sanitaria**, sino también una crisis **logística, económica y política** de dimensiones globales. Disponer de herramientas que permitan conocer el estado actual de la epidemia y pronosticar su evolución futura es fundamental para tomar las decisiones adecuadas.

¿Son suficientes las medidas de confinamiento decretadas para contener la propagación del virus? ¿En qué ciudades se habrían de construir hospitales de campaña y con qué capacidad? ¿Qué fármacos son los más indicados para administrar a los pacientes? Y sobre todo, ¿Cuánto va a durar todo esto?

Las **matemáticas**, en su sentido más amplio, proporcionan herramientas para intentar dar respuesta a muchas de estas cuestiones. En este artículo propongo un recorrido por algunas de ellas.

## Modelos que predicen la evolución

En primer lugar, muchos de los modelos que vemos estos días para predecir la evolución de la epidemia se basan en dinámica de poblaciones, y emplean sistemas de ecuaciones diferenciales. Este tipo de modelos compartimentales, desde el modelo SIR formulado por **Ker mack y McKendrick** en 1927, son la base de la epidemiología moderna. Se basan en clasificar a las personas en compartimentos: susceptible, expuesto, infectado, recuperado, etc. y modelizan la tasa de transición de un estado a otro. Los modelos, a pesar de su sencillez, se conocen bien y se han demostrado útiles para explicar otras epidemias en el pasado. Una de las dificultades en su aplicación es que contienen parámetros que han de ser estimados a partir de los datos observados en otras situaciones, corrigiendo respecto a diferentes estructuras sociales o demográficas y en qué momento se han aplicado restricciones de movilidad. Otra dificultad es conocer las condiciones iniciales: ¿Cuántas personas infectadas, susceptibles y recuperadas hay a día de hoy en España?

La verdad es que **no tenemos datos fiables** pues podemos hacer tests a una **fracción muy pequeña de los posibles infectados**
. Por eso, solo podemos hacer estimaciones en base a los datos reportados por los usuarios de

**aplicaciones móviles**
para autodiagnóstico, o bien a partir de los datos de hospitalizaciones o defunciones (asumiendo que estos son más fiables) y relacionarlos con la tasa de mortalidad u hospitalización observada en otras regiones. La estadística nos ayuda a hacer estas estimaciones, teniendo en cuenta las correcciones por el retraso entre las fechas de infección y hospitalización o defunción, y la estratificación por edades.

Sin embargo, sería mucho más deseable tener una estimación directa del número de casos reales. Ahora mismo, sólo se están realizando tests PCR a los pacientes que ingresan en el hospital y al personal sanitario. Con la llegada de nuevos tests (esperemos que funcionen) se podrán hacer **muestreos aleatorios**
para estimar el número de personas que han contraído ya la enfermedad. Conocer estos números resulta
**esencial para diseñar las estrategias futuras**
de contención, sobre todo cuando se empiecen a levantar las
medidas de confinamiento
, pues nos permitirán estimar la inmunidad de grupo adquirida por la población. Para esto tendremos que saber también qué grado de inmunidad adquieren las personas recuperadas frente a la cepa actual del virus y sus posibles mutaciones.

## Los datos son insuficientes

Ya sea para estimación de parámetros o condiciones iniciales, resulta esencial que las autoridades pongan a disposición de la comunidad científica todos los datos de los que disponen. **Los datos agregados que se hacen públicos son claramente insuficientes**. Sin datos de calidad las predicciones de los modelos no son fiables, y las decisiones tienen más riesgo de ser erróneas.

## ¿Es útil la reclusión según las matemáticas?

Son pocos los países que aún no han impuesto restricciones a la movilidad de sus habitantes. ¿Realmente eran necesarias estas medidas?

Una limitación de los modelos compartimentales es que asumen que las **personas se mezclan de manera homogénea** en todo el territorio. Refinamientos de estos modelos asumen que esto ocurre sólo en regiones más pequeñas, cada una de ellas con sus parámetros que dependen de la **densidad de población**, e incorporan datos de movilidad entre regiones para modelizar el aspecto geográfico de la propagación. Sin embargo, cuando las medidas de confinamiento modifican sustancialmente la movilidad territorial, los parámetros estimados en condiciones normales ya no son válidos. ¿Podemos modelizar cómo la estructura de contactos condiciona la propagación de la enfermedad? Para ello existen modelos más detallados, basados en redes complejas multicapa, donde cada capa contiene la estructura de red de contactos relacionados con una actividad: por ejemplo, una capa para los contactos con personas que vemos en el trabajo, otra para los amigos y vecinos de barrio, otra para las relaciones familiares, etc.

Estas redes se construyen con **datos de movilidad real** de cada persona obtenidas por las **redes de telefonía o a través de datos GPS** de dispositivos móviles, para tener un dibujo mucho más aproximado de la realidad de los contactos humanos. Con este tipo de modelos se puede simular ya el efecto de las diferentes medidas: cierre de colegios, de comercios, de actividad laboral no esencial, etc. sobre la propagación de la epidemia. Durante estas semanas el Gobierno ha estado valorando diferentes medidas de restricción de movilidad, cada una de ellas con diferente impacto económico, hasta decretar el pasado sábado el cese de actividades no esenciales. Probablemente los asesores económicos habrán sabido estimar el **coste para la economía** de cada una de las medidas, pero para estimar la eficiencia de cada una de ellas en su contribución a la contención de la epidemia son necesarios modelos matemáticos.

Pero en esta crisis son muchas otras las disciplinas matemáticas que están contribuyendo a tareas fundamentales. Estamos viendo **hospitales desbordados** y personal sanitario realizando interminables turnos para atender a los enfermos, en muchos casos sin las medidas de protección necesarias. La organización logística y optimización de recursos humanos y materiales, turnos de operación, previsión de ingresos hospitalarios y camas disponibles, son todos ellos problemas que aborda la investigación operativa, una rama de las matemáticas que nació precisamente en tiempos de guerra. En virtud de estas previsiones y recomendaciones, muchas ciudades pueden anticiparse a la saturación de hospitales construyendo hospitales de campaña. Varios grupos especializados en este tipo de modelización para situaciones de emergencia humanitaria están proporcionando ya herramientas que ayudan a las autoridades

sanitarias a planificar sus recursos.

## La importancia del tiempo

Este tipo de crisis requiere de acciones diferentes según las **escalas de tiempo**. En lo inmediato, fundamentalmente modelos de propagación, estimaciones estadísticas y sistemas de ayuda a la decisión, además de los modelos de logística ya mencio
**nados. En algunas semanas la**
fase más cruda habrá quedado atrás, pero tendremos que convivir con esta amenaza y prepararnos mejor para el siguiente brote y conocer mejor a este nuevo enemigo.

Habremos de acelerar los plazos en el **descubrimiento de una vacuna** eficiente contra el virus, e investigar en la creación de
**nuevos fármacos**
o la identificación de fármacos existentes que puedan mitigar los efectos de la enfermedad. La topología algebraica y la optimización combinatoria sirven para estudiar los sitios de enlace en la estructura terciaria de las proteínas y orientar la búsqueda de ligandos que inhiban su actuación. Hace pocos días se ha publicado en el
**Protein Data Bank**
la estructura 3D de la proteasa principal del SARS CoV-2 para la búsqueda de candidatos que inhiban la proteína.

Existen varios medicamentos que parecen tener alguna eficiencia en el tratamiento de las infecciones por covid-19, varios antivirales como **Remdesivir** o **Lopinavir**, o medicamentos usados contra la malaria como la hidroxicloroquina. Todos ellos tienen sus ventajas y sus inconvenientes. Los equipos estadísticos trabajan intensamente en colaboración con viriólogos y biotecnólogos para acortar los plazos en los ensayos clínicos y determinar la eficiencia de tratamientos evitando riesgos de efectos secundarios.

La **ciencia de datos** y la **inteligencia artificial** también están aportando su grano de arena en esta batalla. Además de la búsqueda de fármacos eficientes ya mencionada, contribuye en la organización semántica de los miles de artículos publicados sobre covid-19, el desarrollo de técnicas de diagnóstico basadas en imagen (con precisión cercana al 95% en una radiografía de tórax), o en el diseño de aplicaciones móviles que realicen un seguimiento de nuestros contactos sociales respetando la privacidad, con las que seguramente tendremos que aprender a convivir en los próximos brotes de la epidemia.

## Acción Matemática contra el Coronavirus

Muchos de mis colegas trabajan estos días sin descanso en varios de los problemas que he mencionado. De hecho, buena parte de la comunidad de matemáticos y estadísticos está movilizada apoyando la iniciativa «**Acción Matemática contra el Coronavirus**» que promueve el
Comité Español de Matemáticas (CEMat)
.

No será una única arma la que consiga vencer la epidemia, pero con el esfuerzo combinado de toda la comunidad sin duda lo conseguiremos, aprenderemos de los errores cometidos, y esperaremos su vuelta mucho mejor preparados.

***David Gómez-Ullate Oteiza es Investigador Distinguido en la Universidad de Cádiz.***

***El ABCDARIO DE LAS MATEMÁTICAS es una sección que surge de la colaboración con la Comisión de Divulgación de la Real Sociedad Matemática Española (RSME)***