Seguimiento de la actividad humana durante la Covid-19

Mitma monitoriza 'constantes vitales' de nuestro país

Durante la crisis sanitaria producida por la pandemia de la covid-19, el Mitma se ha esforzado en mantener a pleno rendimiento servicios tan importantes como el Servicio de Posicionamiento en tiempo Real y la monitorización del ruido sísmico, también denominado "ruido cultural", que forma parte del ruido sísmico. Además, se han realizado análisis de las variaciones experimentadas en los diversos modos de transporte mediante la realización de diferentes mapas de apoyo. Gracias a estos trabajos se ha constatado cómo el descenso de la actividad humana ha afectado al volumen de acceso a los servicios citados como al uso de los modos de transporte.

■ *Texto: FCO. JAVIER GONZÁLEZ MATESANZ, subdirector general de Geodesia y Cartografía. JOSÉ ANTONIO LÓPEZ FERNÁNDEZ, subdirector general de Astronomía, Geofísica y Aplicaciones Espaciales (IGN)*

Estación acelerométrica dentro del recinto del Real Observatorio de Madrid

Servicio de posicionamiento en tiempo real

El Servicio de Posicionamiento en Tiempo Real (SPTR) del Instituto Geográfico Nacional (IGN) es un servicio gratuito y continuo de posicionamiento por satélite (Global Navigation Satellite System, GNSS) que proporciona correcciones a sus usuarios para obtener una precisión centimétrica en su posición en tiempo real usando los datos emitidos por los satélites de las constelaciones GNSS como el conocido GPS (Global Positioning System) o Galileo, por ejemplo. Actualmente es el único servicio público que cubre la totalidad del Estado, operando las 24 horas. Esta precisión extrema combinada con la prontitud en su obtención es especialmente útil para diversas aplicaciones; la topografía, cartografía y sistemas de información geográfica; la agricultura de precisión; la construcción, ingeniería civil y el guiado de maquinaría de obra civil; la navegación de precisión y guiado de vehículos autónomos, localización de flotas y otros sectores como investigación, medio ambiente, etc.

Este servicio se presta en todo el territorio del Estado gracias también a los datos registrados por las estaciones permanentes de las redes GNSS de las Comunidades Autónomas con las que existe un acuerdo de colaboración y de la Red Geodésica Nacional de Referencia de Estaciones Permanentes GNSS (ERGNSS). Estos datos se reciben en tiempo real en la sede central del IGN en Madrid y son procesados por un complejo programa de cálculo en una docena de servidores en línea. Finalmente, las correcciones obtenidas se diseminan a través de internet en formatos estandarizados a través de un protocolo denominado NTRIP (*Networked Transport of RTCM via Internet Protocol*).

El SPTR comenzó a prestar servicio en marzo de 2017 y es la acertada evolución de otros servicios de correcciones GNSS desplegados por el IGN desde los años 90, cuando se limitaba a correcciones GPS.

Ya en nuestros días se dispone de un servicio de correcciones más complejo, que incluye la emisión por internet con mucha más precisión. A fecha de mayo de 2020 el SPTR cuenta con casi 5.000 usuarios registrados que operan en diferentes sectores de actividad, el número de usuarios que está en continuo crecimiento desde el comienzo y que hasta la irrupción de la pandemia que padecemos, mantenía un incremento lineal, prácticamente constante.

Los dos principales sectores de usuarios son la Topografía, especialmente en levantamientos y replanteos de cualquier infraestructura civil o de edificación, y la agricultura de precisión o automatizada.

En este último caso se consigue un grado de automatización y precisión en el guiado automático de la maquinaria que, combinado con otras técnicas de sensorización de las mismas, permite tomar decisiones en tiempo real, así como geolocalizar la ocurrencia de parámetros útiles para la agricultura. Estos parámetros pueden ser tan diversos como la humedad en suelo, los caudales de fertilizante y agua empleados, la conductividad eléctrica, el pH, el tipo de suelo, etc., que posibilitan una agricultura más eficiente y ecológica, ahorrando en productos fitosanitarios y abonos, o reduciendo la cantidad de nitrógeno utilizado. En definitiva, disminuyendo costes e impacto medioambiental.

La declaración del estado de alarma el pasado 14 de marzo afectó a la utilización del servicio de forma significativa (figura 1). En la segunda quincena del mes de marzo, el número de usuarios descendió aproximadamente a la mitad, afectando principalmente a los usuarios del sector de la topografía y algo menos al de la agricultura de precisión. Tras la reactivación de las actividades no esenciales a mediados de abril se aprecia una recuperación en el número de usuarios.

Este efecto también resulta apreciable si se compara esta figura con el mismo periodo del

La precisión en el guiado automático de la maquinaria permite tomar decisiones en tiempo real, así como geolocalizar la ocurrencia de parámetros útiles para la agricultura que pueden ser tan diversos como la humedad en suelo, los caudales de fertilizante y agua empleados, la conductividad eléctrica, el pH, el tipo de suelo, etc.

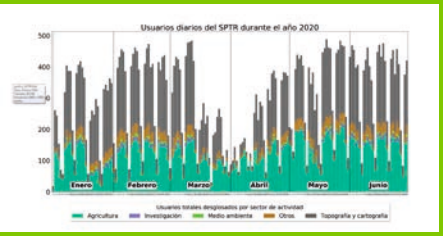

Figura 1. Usuarios diarios del SPTR en el periodo marzo-junio del 2020

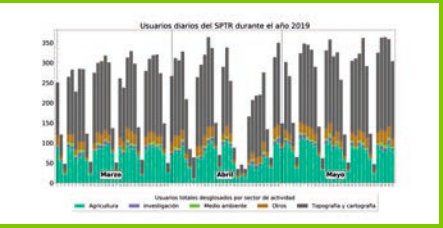

Figura 2. Usuarios diarios del SPTR en el periodo marzo-mayo del 2019

Figura 3. Variación porcentual del promedio de usuarios semanal del SPTR en el periodo marzo-mayo del 2020 respecto al lunes 16-3-2020

Figura 4. Variación porcentual del promedio de usuarios semanal del SPTR en el periodo marzo-mayo del 2019 respecto al lunes 18-3-201

El Servicio de Posicionamiento en Tiempo Real IGN es un servicio gratuito y continuo de posicionamiento por satélite

año 2019 (figura 2), donde se identifican muy claramente los fines de semana e incluso la Semana Santa.

Desde otro punto de vista y de forma resumida, se pueden observar las conclusiones anteriores en las siguientes figuras, en las que se muestra la comparación de los promedios semanales de usuarios conectados al servicio respecto a un valor de referencia, el primer lunes tras la declaración del estado de alarma el 16 de marzo de 2020 para el 2020 (figura 3). Se aprecia la bajada de usuarios y el continuo incremento posterior. Y para el 2019 se utiliza el lunes equivalente del 2019, el 18 de marzo de 2019 (figura 4). Se aprecia la bajada en la Semana Santa y el incremento progresivo de usuarios con la mejora del tiempo y el aumento de horas de sol de los días. Este incremento natural debido a las condiciones climáticas, aunque no se observa aun claramente en las cifras del 2020, sí se puede concluir de los últimos datos recolectados que no se contemplan en la gráfica.

Desde la segunda mitad de mayo y a lo largo del mes de junio se recuperaron los niveles de actividad previos a la declaración del estado de alarma, con un ligero repunte en la actividad de los usuarios del sector de la agricultura.

Actualmente, el objetivo fundamental del Área de Geodesia del IGN es seguir prestando la máxima atención y esfuerzo en el óptimo funcionamiento del SPTR, el cual se ha convertido en un servicio estratégico y fundamental de referencia a nivel nacional para un amplio colectivo de usuarios.

Monitorización de la caída del nivel de ruido sísmico (cultural)

Los sismómetros y acelerómetros de la Red Sísmica Nacio-

¿Qué es SPTR?

Es el soporte básico del Estado para el posicionamiento preciso, permitiendo obtener ésta en tiempo real con calidades centimétricas. Sectores como la agricultura de precisión han tenido un papel fundamental durante la COVID19,, en cumplimiento del Real Decreto 463/2020, por el que se declara el estado de alarma y, en consonancia con la modificación de la Orden INT/262/2020, de 20 de marzo, por la que se garantiza el abastecimiento alimentario y la producción, comercialización, transformación y distribución de productos agrícolas. Este servicio y sus infraestructuras son necesarios para estos fines, por lo que durante la vigencia del estado de alarma el Instituto Geográfico Nacional ha trabajado para garantizar la continuidad del servicio, asegurando la operatividad de las estaciones permanentes GNSS y de los servidores de procesamiento de datos, así como dando soporte a los usuarios.

Ruido cultural o antrópico. El movimiento del suelo generado por las actividades humanas

Los sismómetros se diseñaron inicialmente para medir el movimiento del suelo y poder localizar y calcular la magnitud de los terremotos que sacuden diariamente nuestro planeta. En la actualidad registran continuamente, cada centésima de segundo, las vibraciones del suelo y, entre estas vibraciones, la huella humana queda impresa en los registros sísmicos. Gran parte de las actividades cotidianas humanas (medios de transporte, motores, industria, minería, eventos multitudinarios, etc.) hacen vibrar la Tierra y este movimiento lo registran los sismómetros y acelerómetros de la Red Sísmica Nacional y del Observatorio Geofísico Central repartidos por todo el territorio español.

nal repartidos por el territorio español registran continuamente las vibraciones del terreno, con la finalidad principal de detectar, localizar y avisar de los terremotos ocurridos que puedan afectar al territorio nacional (figura 5).
El registro continuo del movimiento del suelo que no ha sido causado por un terremoto se denomina ruido sísmico o cultural. A esta señal se le llama ruido porque hasta las últimas décadas del siglo XX se desechaba por considerarse inservible. No obstante, desde principios del siglo XXI, el análisis del ruido sísmico ha supuesto una revolución en la sismología dando lugar a una gran variedad de aplicaciones: desde conocer el interior de nuestro planeta, sus cambios, monitorizar volcanes hasta estudios glaciológicos, climáticos y oceánicos.
El ruido sísmico está causado por fenómenos naturales, principalmente el oleaje de los océanos registrado incluso en estaciones alejadas de la costa, y por diversas actividades humanas, el llamado ruido antrópico o cultural. Durante el confinamiento por la pandemia de la covid-19, gran parte de las actividades humanas se paralizaron, con ellas las vibraciones que se generan y, por lo tanto, el nivel de ruido registrado en los sismómetros y acelerómetros descendió.
Mientras tanto, durante este silencio antrópico, las vibraciones generadas por los fenómenos naturales, han continuado agitando el planeta.
También se pueden apreciar diferentes fuentes en relación a su contenido frecuencial (figura 6). La parte de bajas frecuencias del espectro del ruido sísmico (por debajo e igual a 1 Hz) está dominado por señales asociadas a causas naturales, principalmente a la interacción del océano con la costa, fenómenos atmosféricos y terremotos lejanos. A altas frecuencias (por encima de 1 Hz), el ruido sísmico se produce principalmente por la actividad huma-

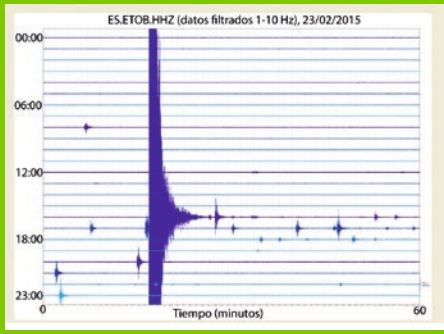

Figura 5. Registro sísmico continuo de un día (cada línea es una hora de registro) en la estación de Tobarra

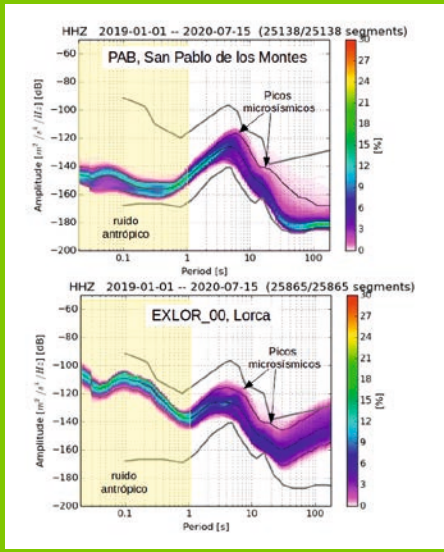

Figura 6. Funciones de densidad de potencia del registro sísmico durante año y medio en las estaciones sísmicas del Observatorio Geofísico de San Pablo (PAB) y en el municipio de Lorca (ELOR_00)

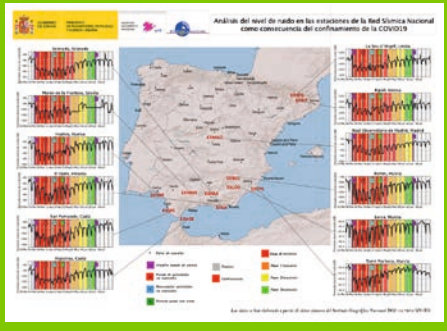

Figura 7. Evolución temporal de la densidad de potencia media diaria del ruido sísmico registrado en varios acelerómetros del Instituto Geográfico Nacional

na, como el tráfico rodado y el trabajo industrial; pero también hay fuentes naturales, como los ríos, la acción del viento y la actividad sísmica y volcánica. Dependiendo de la ubicación del sensor y del propio instrumento, así será el nivel de ruido registrado. Los sismómetros, que registran la velocidad del suelo, están ubicados en lugares remotos para que el ruido antrópico sea bajo y se puedan identificar y localizar terremotos pequeños. Por su parte, los acelerómetros, que registran la aceleración del suelo, están ubicados comúnmente dentro de edificios en núcleos de poblaciones en zonas con alta actividad sísmica en las que son esperables movimientos fuertes del suelo (principalmente en los Pirineos, sur y sureste de la Península Ibérica).
La red de acelerómetros complementa la de sismómetros ya que éstos primeros son capaces de registrar movimientos fuertes del suelo sin saturarse y además se utilizan para conocer la respuesta de un edificio ante el movimiento fuerte generado por un terremoto. Dado que estos instrumentos se encuentran ubicados en núcleos de población, suelen registrar las vibraciones producidas por las actividades humanas cercanas al lugar en el que están instalados. De hecho, el nivel de ruido antrópico o cultural de los acelerómetros es

El prototipo de estación acelerométrica del Real Observatorio de Madrid, esencial para el seguimiento durante confinamiento y desescalada

En el mes de enero pasado, el grupo de sismología volcánica del Observatorio Geofísico Central, instaló una estación acelerométrica dentro del recinto del Real Observatorio de Madrid (ROM), siendo la primera estación de este tipo en la ciudad de Madrid. El objetivo principal de la instalación era el de ensayar un diseño de estación de medida de aceleración en entornos urbanos en campo libre, que sea trasladable a las nuevas estaciones acelerométricas que se pretenden instalar en las islas Canarias. La instrumentación utilizada tiene un gran rango dinámico (24 bits) y un fondo de escala de 2g, y se encuentra alojada en un pilar construido en el fondo de una arqueta estanca instalada en los jardines del Observatorio por el personal propio. La estación está diseñada para pasar desapercibida en el interior de la ciudad, alejada de la interacción con cualquier estructura, alimentándose del alumbrado público y sin necesidad de situar antenas exteriores para sus comunicaciones 24h/365d. Además, cumple con las especificaciones del *Consortium of Organizations for Strong-Motion Observation Systems* (COSMOS) para las estaciones de este tipo. En este caso, el análisis del registro en la estación acelerométrica instalada en el ROM recogió con precisión el nivel de la actividad antrópica de la ciudad de Madrid y ha constituido una herramienta esencial para medir de una forma científica el grado de cumplimiento de las medidas de confinamiento y desescalada decretadas con motivo de la covid-19 (Figuras 7a y 7b).

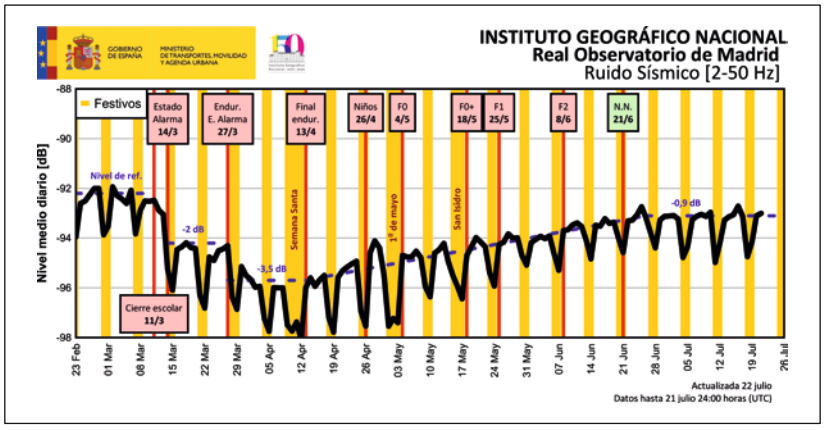

Figura 7b. Evolución temporal del promedio diario de ruido antrópico en la estación acelerómetrica instalada en el ROM, en la ciudad de Madrid durante la primera mitad del año 2020

mayor que el de los sismómetros, ubicados en lugares remotos alejados de poblaciones. Un cambio en estas actividades humanas se verá reflejado en la señal sísmica por un aumento o disminución del movimiento del suelo registrado.

Debido a su ubicación dentro de poblaciones, el nivel de ruido registrado en los acelerómetros durante el estado de alarma se ha visto afectado y ha variado en función del nivel de paralización y de reactivación de las actividades humanas usuales (figura 7).

De este modo, el cierre de los colegios entre el 9 y el 13 de marzo de 2020 (según la comunidad autónoma), el confinamiento a partir de la declaración del estado de alarma el 14 de marzo y la suspensión de actividades no esenciales el 30 de marzo, han hecho que se reduzca la vibración del suelo generada por las actividades humanas. Por este motivo se detecta una disminución de ruido cultural durante este periodo de tiempo respecto a semanas previas de entre 1 y 5 decibelios, dependiendo de la estación. Una disminución de 5 dB significa reducir a un tercio el nivel detectado.

A partir del día en que se reanudaron las actividades no esenciales, se detectó un aumento del nivel del ruido que aumentó ligera y progresivamente en las sucesivas semanas según se cambiaba de fase de transición y se retomaban paulatinamente las actividades hacia la nueva normalidad. Durante las fases 2 y 3 de la desescalada el nivel promedio de ruido continuó aumentando hacia valores cada vez más cercanos al nivel que existía antes del confinamiento.

En las semanas de la nueva normalidad el nivel de ruido sísmico observado en cada estación se mantuvo en general estable.

En la mayoría de las estaciones se alcanzaron niveles de ruido parecidos a los previos al confinamiento, como en los ejemplos

Los sismómetros y acelerómetros registran continuamente las vibraciones del terreno para detectar, localizar y avisar de los terremotos ocurridos que puedan afectar al territorio nacional

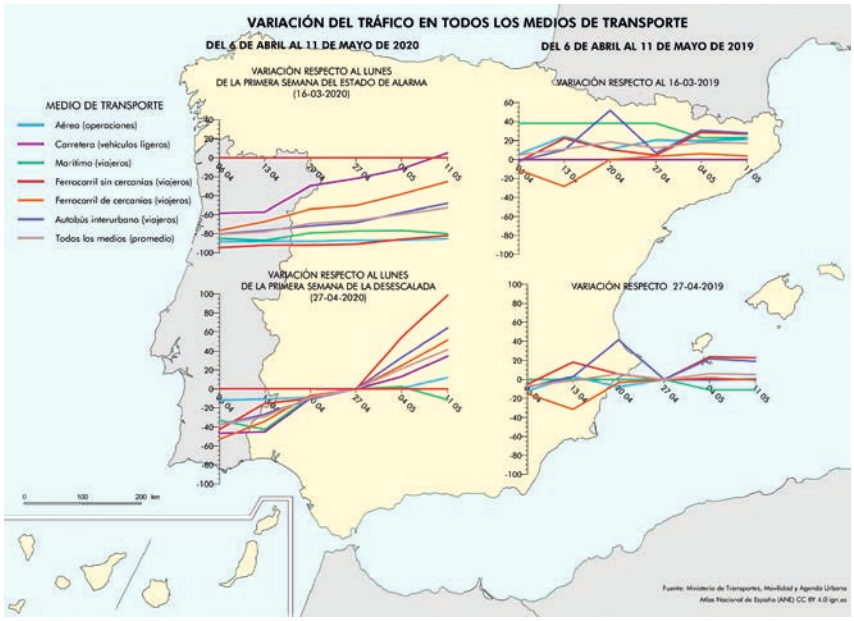

Figura 8. Variación de movilidad en los medios de transporte

Debido a su ubicación dentro de poblaciones, el nivel de ruido registrado en los acelerómetros durante el estado de alarma se ha visto afectado y ha variado en función del nivel de paralización y de reactivación de las actividades humanas usuales

que se muestran situados en El Ejido, Lorca o San Fernando (figura 7). En unas pocas estaciones (como en los acelerómetros de Granada y Madrid), el nivel promedio de ruido no alcanzó los valores previos al confinamiento. En la estación ubicada en Torre Pacheco, se observó una disminución progresiva del nivel de ruido según avanzan las semanas en la nueva normalidad.
La característica común que se observa en el nivel de ruido a lo largo de todo el tiempo es una disminución significativa del ruido cultural durante los fines de semana, como ocurría antes del confinamiento. De hecho, durante los fines de semana del confinamiento más estricto se registraron niveles mínimos de ruido. Estos niveles mínimos, de calma anómala, en el ruido antrópico presentan una oportunidad para analizar vibraciones débiles de la Tierra normalmente ocultas

El Área de Cartografía Temática y Atlas Nacional del IGN realizó diversos mapas de apoyo a la gestión de la pandemia de la covid-19. Entre ellos, un mapa de síntesis gráfica en el que se muestran variaciones sobre valores de cada modo de transporte: aéreo, carretera, marítimo y ferrocarril

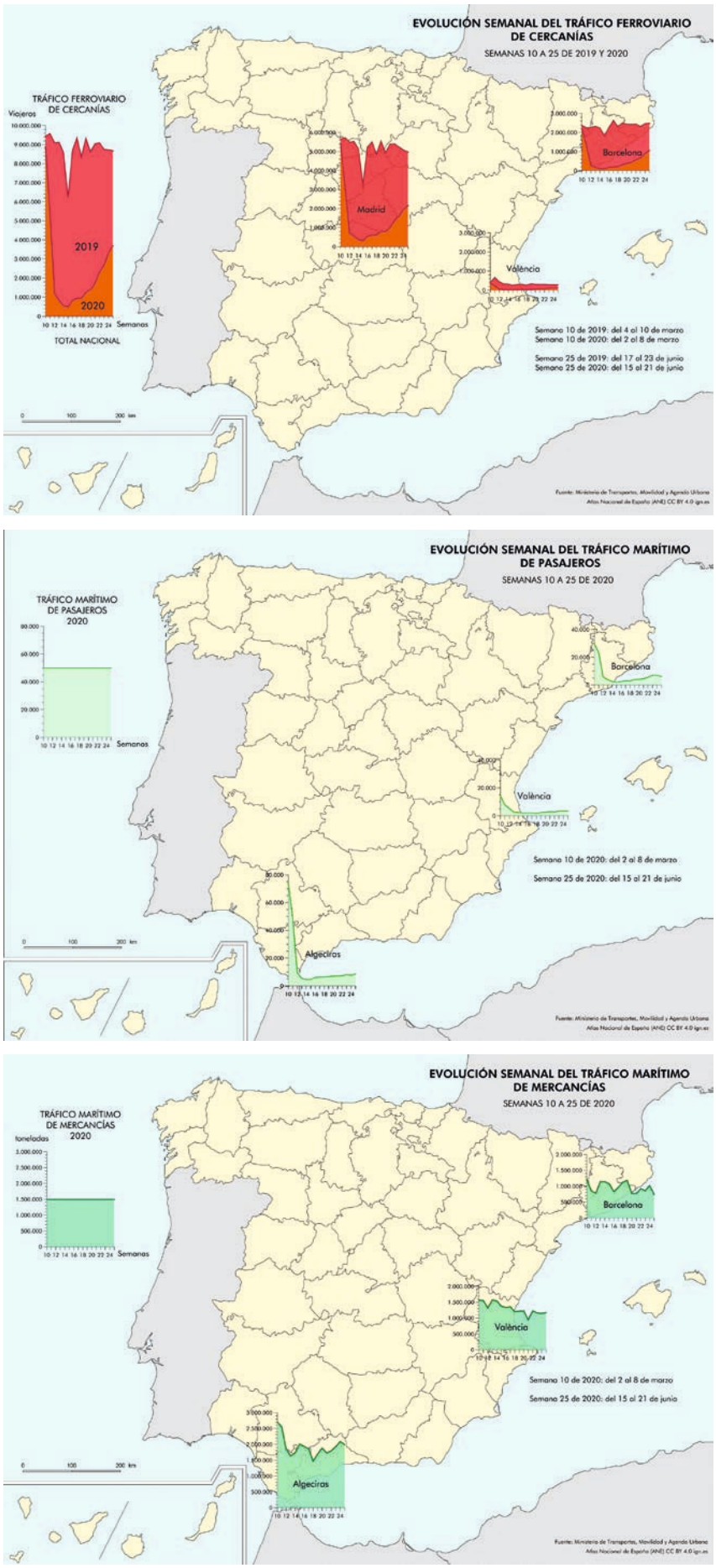

Figura 9. Mapas elaborados por el Atlas Nacional de España

bajo la agitación generada por nuestras actividades.

Apoyo cartográfico frente a la covid-19: la variación del comportamiento de los medios de transporte

El Área de Cartografía Temática y Atlas Nacional del IGN realizó diversos mapas de apoyo a la gestión de la pandemia de la covid-19. El primero de ellos consiste en un mapa de síntesis gráfica en el que se muestran variaciones sobre valores de cada modo de transporte: aéreo, carretera, marítimo y por ferrocarril, para fechas concretas de 2019 y de 2020 y, a través de datos facilitados por la Subsecretaría del Mitma con periodicidad diaria.

La gráfica marzo/2020 (figura 8) muestra los diversos niveles de descenso (muy altos) tras la declaración del estado de alarma y su recuperación progresiva desde entonces. Esa recuperación responde a una dinámica similar en todos los modos de transporte, en contraste con el distinto comportamiento en un periodo equivalente de normalidad (2019).

Se aprecia la desaparición de los picos característicos de cada modo en fechas clave, reflejando las medidas de restricción a la movilidad que se han adoptado con carácter general para todos ellos lo que diluye sus diferencias de comportamiento.

En la gráfica a la izquierda de la figura 8, se ve con claridad la distancia porcentual que queda para llegar a una situación de normalidad (la que había en 2019) En el mejor de los casos queda por recuperar más del 25%, y más de un 80% en algún caso.

Las gráficas de 2019 muestran el comportamiento de los diferentes modos en un periodo concreto de normalidad, con las peculiaridades de cada uno de ellos, pero, en general, muestran una envolvente «plana», a modo de promedio anual.

En ambos casos pueden extraerse conclusiones similares, si bien, el dato de referencia cambia de día y, por tanto, de valor en cada modo. Las geometrías de las poligonales son muy similares, pues el cambio de dato de referencia se traduce en una traslación de la poligonal sobre el eje vertical (que es mayor o menor según el valor de referencia de cada modo y que, aun siendo del mismo día, es distinto para cada uno).

La gráfica de abril/2020, resalta el cambio de pendiente en la recuperación el día 27 de abril puesto que ese es el día de referencia en ese caso (la variación, por tanto, de todos los modos es cero y, por consiguiente, convergen en el cruce con el eje horizontal). Ese cambio también se muestra en la gráfica de arriba, pero como el valor de la referencia en ese caso está muy alejado se aprecia mucho menos.

En definitiva, se aprecia la gran caída de la actividad en todos los modos de transporte en la primera semana tras la declaración del estado de alarma y a partir de entonces los diferentes modos han ido comportándose de una forma bastante homogénea, perdiendo su comportamiento dispar en una situación de normalidad, con un crecimiento sostenido pero muy lento. El crecimiento, aunque moderadamente, se intensificó a partir del 27 del mes de abril con el comienzo de la desescalada.

Mapas sobre movilidad

El Área de Cartografía Temática y Atlas Nacional de España (ANE) desarrolló durante el confinamiento un procedimiento de urgencia para crear una serie de mapas en formato digital e interactivo sobre movilidad en relación a la crisis sanitaria de la covid-19. Dichos mapas son fácilmente accesibles a través del geoportal ATLAS COVID: Movilidad, desde donde se puede acceder también a la versión interactiva del mismo.

Tanto los mapas diarios como los semanales se pueden consultar de forma interactiva a través del Visualizador interactivo ATLAS COVID del ANE. Para los datos semanales, se han elaborado también, con el Sistema de Información del ANE (SIANE) en los que se comparan las semanas del 2020 con su semana equivalente del 2019.

De más larga duración, y no restringido al análisis de un periodo concreto, también se confeccionó cartografía temática dentro del ámbito del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana como síntesis que permite valorar el impacto de la pandemia en lo relativo a la movilidad y el transporte, haciendo especial hincapié en su componente geográfica o espacial. Desde el mes de abril, se comenzaron a elaborar varios mapas con sus correspondientes análisis cartográfico-geográficos como se puede apreciar en la figura 9.