

# MODELO DE IMPACTO ECONÓMICO (MIE) PARA SITUACIONES DE RACHAS MÁXIMAS EXTREMAS. INFLUENCIA DEL NÚMERO DE DÍAS.

Macarena RODRIGO FERNÁNDEZ<sup>1,2,3</sup>, José Antonio LÓPEZ DÍAZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Consortio de Compensación de Seguros (CCS), Madrid, España.*

<sup>2</sup>*Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), Madrid, España.*

<sup>3</sup>*Aplicaciones y Tratamientos de Sistemas (ATSistemas), Madrid, España.*

[ccseguros@aemet.es](mailto:ccseguros@aemet.es), [jlopezd@aemet.es](mailto:jlopezd@aemet.es)

## RESUMEN

El Consorcio de Compensación de Seguros (CCS) es el organismo español que indemniza los daños producidos por ciertos fenómenos extraordinarios que tienen lugar en el territorio español. Entre estos fenómenos se encuentran los vientos extraordinarios que se definen como aquellos que presentan rachas superiores a 120 km/h. El CCS solicita colaboración a la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) en el estudio de estos fenómenos de la naturaleza, en concreto, para las situaciones de Tempestad Ciclónica Atípica (TCA) en las que están incluidos los vientos extraordinarios y los tornados.

El Modelo de Impacto Económico (MIE) actualmente operativo y desarrollado para las situaciones de rachas máximas extremas y para el área concreta de la España Peninsular tiene como objetivo fundamental proporcionar información significativa para la cobertura del riesgo de una manera rápida. En este trabajo se estudia la influencia de la longitud de la TCA, entendiéndose como longitud el número de días que comprende la situación. Puesto que la cobertura de daños de una TCA determinada, para los municipios afectados, no discrimina entre los días que la conforman, se realiza un análisis para casos con un número de días elevado y se aplica el MIE por días. De este modo, se estiman las pérdidas asociadas teniendo en cuenta este efecto.

Los resultados muestran mejoras respecto a las estimaciones del MIE inicial. Las pérdidas en las situaciones de TCA de gran relevancia, tanto por su impacto económico como por su extensión, eran subestimadas por el modelo inicial. Con la nueva versión esa subestimación mejora considerablemente, es decir, la estimación de las pérdidas aumenta.

**Palabras clave:** Modelo Impacto Económico, Racha Máxima, Tempestad Ciclónica Atípica, Krigeado Universal, Riesgo Extraordinario.

## ABSTRACT

The Spanish Insurance Compensation Consortium (CCS) is the Spanish Agency that provides insurance coverage against extraordinary risks from weather events that take place in Spain. One of these phenomena are the extraordinary winds, defined as those with wind gusts exceeding 120 km/h. The CCS requests collaboration from the Spanish Meteorological Agency to study these phenomena of nature, specifically,

for events of Atypical Cyclonic Storm (TCA) which includes extraordinary winds and tornadoes.

The Economic Impact Model (MIE) has been developed for situations of extreme maximum gusts and for the specific area of Peninsular Spain and is currently operational. The main aim of this model is to provide significant information for covering risk in a short period of time. In this work we present the study of the influence of the length of the TCA, taking as length the number of days involved in the situation. Since the insurance coverage of a specific TCA, for the affected municipalities, does not differentiate the episode by the length, an analysis is made for cases with a high number of days applying MIE to each day. In this way, the associated losses are estimated taking into account this effect.

The results show improvements with respect to the estimated values of the initial MIE. The losses in the TCA situations of great relevance, in terms of their economic impact and extension, were underestimated by the initial model. With the new version, this underestimation improves considerably, that is, the estimation of losses increases.

**Key words:** Economic Impact Model, Maximum Gust, Atypical Cyclonic Storm, Universal Kriging, Extraordinary Risk.

## 1. INTRODUCCIÓN

El Consorcio de Compensación de Seguros (CCS) es el organismo español que indemniza los daños producidos por ciertos fenómenos extraordinarios que tienen lugar en el territorio español, en la forma establecida en su Estatuto Legal y en régimen de compensación. Entre estos fenómenos se encuentran los vientos extraordinarios que se definen como aquellos que presentan rachas superiores a 120 km/h, siendo la racha el mayor valor de la velocidad del viento sostenida durante un intervalo de tres segundos.

El CCS solicita colaboración a la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) en el estudio de estos fenómenos de la naturaleza, en concreto, para las situaciones de Tempestad Ciclónica Atípica (TCA) en las que están incluidos los vientos extraordinarios y los tornados. La AEMET realiza la delimitación geográfica del área de afectación del fenómeno meteorológico mediante la extrapolación de las mediciones existentes con los criterios científicos más avanzados. Además, se procura la mayor homogeneidad en la definición del área y se evita la exclusión de puntos aislados, tendiendo en consideración las mediciones cercanas, en los municipios limítrofes y los colindantes a estos (Consorcio de Compensación de Seguros, 2017). Para estimar las áreas en las que se producen estos vientos extraordinarios, AEMET utiliza la técnica geoestadística del krigeado universal. Este método se apoya en los datos de observación de racha máxima y toma como variables externas la elevación del terreno, la distancia al mar y las salidas del modelo de predicción HIRLAM (High Resolution Limited Area Model) del campo de racha máxima. Por otro lado, la estructura del semivariograma utilizada se especifica sin “efecto pepita” de tal forma que el estimador del krigeado es exacto,

esto es, en los puntos con observación el valor estimado coincide con el valor observado (Cressie, 1991).

La unidad aplicada por el CCS en la cobertura de daños se extiende al nivel de municipios, esto es, la zona afectada se extiende a todo el municipio siempre que exista algún punto en el que se cumpla la condición de TCA, rachas máximas estimadas superiores a 120 km/h. Es por tanto esta unidad, el municipio, la base de aplicación de los Modelos de Impacto Económico desarrollados en trabajos previos (Rodrigo, M. y López, J.A., 2017).

## **2. MÉTODOS**

Para la construcción del Modelo de Impacto Económico es necesario partir de las estimaciones de racha máxima obtenidas mediante el procedimiento operativo desarrollado en AEMET. Actualmente, la técnica utilizada realiza una estimación mediante krigado universal para cada día que conforma la TCA para obtener, posteriormente, el máximo valor de las estimaciones en un único mapa, que es el producto final. Anteriormente, en cambio, el procedimiento seguido utilizaba el máximo valor de observación de racha máxima del período completo de días que comprende la situación para estimar las velocidades de racha máxima en una única interpolación (Bivand, 2008).

El MIE se basa en el método actual del cálculo de estimaciones de rachas máximas, interpolación por días. Concretamente el estudio se centra en calcular las pérdidas asociadas para cada uno de los días que comprende la TCA (al igual que ocurre con las estimaciones del viento) para compararlas con el modelo inicial, que computa las pérdidas para el período total.

### **2.1. MIE (Modelo de Impacto Económico)**

El Modelo de Impacto Económico (MIE) actualmente operativo y desarrollado para las situaciones de rachas máximas extremas y para el área concreta de la España Peninsular tiene como objetivo fundamental proporcionar información significativa para la cobertura del riesgo de una manera rápida. La aplicación del modelo, que evalúa cada situación, permite obtener una estimación inicial del coste de las pérdidas esperadas por vientos extremos. Este resultado viene dado como el logaritmo de la indemnización en miles de euros, aportando un valor tanto a nivel municipal como de manera global. Puesto que la unidad aplicada por el CCS para la cobertura de daños es el municipio, las estimaciones del modelo vienen dadas de este modo, esto es, la zona afectada se extiende a todo el municipio siempre que exista algún punto en el que se cumpla la condición de TCA y es en esta unidad geográfica donde se realiza la estimación de la pérdida.

La estructura del Modelo de Impacto Económico consiste en un término dependiente del catastro y otro término que surge de la interacción del catastro con un índice de excesos de racha máxima (que caracteriza la situación), ambos términos participan en el modelo a nivel municipal. El modelo incluye un tercer término que se refiere al valor catastral global que permite modular las estimaciones finales. La selección de estas variables se realizó mediante un estudio de correlación con la información aportada por situaciones pasadas ocurridas entre los años 2012 y 2015, ambos

incluidos. La información catastral incluida en el MIE proviene de una base de datos que contiene información a nivel municipal y que se generó explícitamente para este fin (Rodrigo, M. y López, J.A., 2016b). Por otro lado, surge la necesidad de caracterizar las situaciones con vientos extremos, puesto que presentan características y extensiones muy diferentes, y esto conlleva al estudio de diferentes índices. La definición del índice de excesos aplicado se muestra en la ecuación (1) y se calcula para cada municipio tomando como umbral de racha máxima 70 km/h relacionado, entre otros aspectos, con el límite impuesto por las compañías de seguros para aplicar la cobertura de los daños producidos (Rodrigo, M. y López, J.A., 2016a). Este índice de excesos es el parámetro que caracteriza físicamente la intensidad de la TCA.

$$I_{exc}|_{muni} = \frac{\sum_{i \in muni} \max(0, R_{max}^i - 70)}{n^{\circ} \text{ptos grid}|_{muni}} \quad (1)$$

Cuando se presentan situaciones de viento extremo con características de gran relevancia, vientos generalizados muy elevados o amplias zonas afectadas por la condición de TCA, el CCS extiende su cobertura del daño de tal forma que los municipios colindantes a los inicialmente afectados (anillo 1) y aquellos limítrofes a este primer anillo con rachas superiores a 100 km/h (anillo 2) también quedan englobados. El MIE considera este aspecto adicional y, en estos casos, recalcula las estimaciones de las pérdidas derivadas con las nuevas condiciones teniendo en cuenta dos escenarios: aquel que no modifica las estimaciones de las pérdidas en niveles previos al añadir otros y aquel que sí las modifica, este segundo escenario dará valores estimados superiores al primero. Estos escenarios son denominados a lo largo del trabajo como “CONS” (de valores “constantes”), para el primer caso, y “NEW” (de valores “nuevos”) para el segundo caso.

Las validaciones iniciales comparan los valores obtenidos con el modelo y los valores aplicados por el CCS para cada una de las situaciones ocurridas a partir del año 2016, incluyendo también las tempestades Gong y Dirk, ocurridas durante el año 2013 ya que alcanzaron especial importancia tanto por su gran extensión como por su impacto económico (Rodrigo, M. y López, J.A., 2018). Los trabajos posteriores tienen como objetivo mejorar las estimaciones obtenidas con el MIE en vista a los resultados obtenidos. Estos resultados infraestiman las pérdidas para los casos de TCA significativos y, de esta manera, surge la idea de desarrollar un nuevo modelo que denominaremos MIE (Modelo de Impacto Económico) Por Días.

## 2.2. MIE (Modelo de Impacto Económico) POR DÍAS

El Modelo de Impacto Económico (MIE) Por Días sigue una metodología análoga a la desarrollada en el apartado anterior. Esta mejora en el modelo presenta un nuevo enfoque que viene justificado por el cambio en el procedimiento aplicado en AEMET que calcula las estimaciones de racha máxima mediante una interpolación para cada día, empleando el software libre R (R Core Team, 2015), tal y como habíamos explicado anteriormente.

El MIE Por Días consiste en tomar los municipios afectados por TCA (aquellos obtenidos para el período total que engloba la situación) y tan sólo en estos municipios concretos se aplica el MIE para cada uno de los días, es decir, el modelo

se aplica tantas veces como días conforme la TCA. Sin embargo, en la versión antigua del MIE, el modelo se aplicaba una única vez de acuerdo al mapa final de estimaciones del período total.

El modelo viene dado del mismo modo, contiene el término dependiente del catastro y el término de interacción del catastro con el índice de excesos de racha máxima con el umbral de 70 km/h. Ambos términos calculados a nivel municipal. Este campo, que contiene la información del índice de excesos, se tiene que recalcular para el MIE Por Días pues, en este caso, se utilizan tantos campos como días comprenda el suceso. Además, el modelo también añade el término global referido al catastro que modula las estimaciones finales y por el que obtenemos, del mismo modo, los escenarios “CONS” y “NEW”.

Finalmente se suman las pérdidas asociadas para un mismo municipio y para cada uno de los días. Estos municipios son exactamente los mismos para todos los días de una TCA concreta puesto que sólo se toman aquellos afectados para la situación global (estén o no afectados para ese día concreto). El resultado final ofrece una estimación de la pérdida para cada municipio para la situación total, así como una estimación de la pérdida global y única para la TCA.

Para este estudio se seleccionaron las siguientes situaciones:

- Situaciones posteriores al 1 de febrero de 2017 puesto que es la fecha en la que se produjo el cambio de procedimiento operativo del cálculo de las estimaciones de rachas máximas.
- Las TCA que comprenden un número de días de 4 o superior.
- Añadimos excepcionalmente una TCA que contiene 3 días ya que, perteneciendo al período señalado, es de gran impacto (TCA Félix). El resto de TCA grandes pertenecientes a este período tienen un número de días menor.

### **3. RESULTADOS**

El MIE Por Días se aplica a las siguientes situaciones de TCA de acuerdo a las condiciones especificadas anteriormente. Ordenadas cronológicamente son:

- 1 al 8 de febrero de 2017 (TCA Kurt)
- 28 de febrero al 3 de marzo de 2018
- 9 al 11 de marzo de 2018 (TCA Félix)
- 23 al 26 de marzo de 2018 (TCA Hugo)

Para el caso concreto de la TCA Kurt (con un número de días notablemente superior a cualquier situación) se realiza un estudio especial que engloba diferentes períodos. Por un lado se tomará la situación teniendo en cuenta todos los días y por otro lado se dividirá en 3 etapas: 1 al 4 de febrero de 2017 (Kurt I), 5 al 7 de febrero de 2017 (Kurt II) y 8 de febrero de 2017 (Kurt III). Esta división surge por diferentes razones pero viene motivada, principalmente, porque son las situaciones finales que tomó AEMET para el envío de su información.

Los resultados finales del MIE Por Días vienen dados como el logaritmo de la indemnización en miles de euros, aportando un valor para cada municipio afectado para el período completo de la TCA así como un valor global de dicha situación. Cuando la situación de viento extremo tiene gran relevancia el CCS extiende la

cobertura del daño mediante los anillos colindantes. También, en este modelo se dan los dos escenarios posibles, CONS y NEW.

En todas las figuras que se muestran a continuación se comparan las estimaciones de las pérdidas obtenidas con el nuevo enfoque del modelo, MIE Por Días, con aquellas realizadas inicialmente, MIE aplicado una única vez en el período total. Además, aparecen todos los resultados posibles: ambos escenarios y todos los niveles. El nivel 0 engloba aquellos municipios afectados por TCA, es decir, aquellos que presentan algún punto con racha máxima estimada superior a 120 km/h. El nivel 1 contiene los municipios anteriores junto con aquellos pertenecientes al anillo 1. Por último, el nivel 2 incluye los dos niveles anteriores y los municipios que cumplen la condición del anillo 2.

Los valores del nivel 0 se presentan en tonos verdosos, para el nivel 1 tonos amarillentos y para el nivel 2 tonos rojizos. Asimismo, los colores más claros se refieren a las estimaciones iniciales y los más oscuros a los valores para la modificación del MIE (Por Días). En todas las figuras, como cabe esperar, las estimaciones aumentan según aumentamos de nivel (es decir, cogemos anillos colindantes al nivel anterior), son mayores para el escenario "NEW" que para el escenario "CONS" y el nivel 0 coincide en ambos escenarios, para un tipo de modelo dado.

En todos los gráficos aparece el valor global de la pérdida estimada (dado en logaritmo decimal en miles de euros) en la parte superior de cada una de las barras. Los resultados muestran claramente un aumento en los valores de las pérdidas estimadas al utilizar MIE Por Días para todos los casos (todas las situaciones, escenarios y niveles).

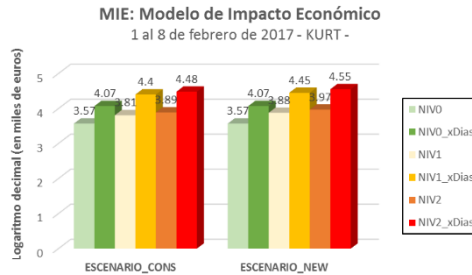
En la figura 1 se muestra el gráfico para la TCA Kurt que comprende del 1 al 8 de febrero de 2017 y es la situación que comprende un mayor número de días. Además es la TCA más extensa de las presentadas en este trabajo. En la figura 2 aparece esta misma situación pero mostrando los valores para la división en 3 períodos diferentes, como habíamos señalado anteriormente. Para Kurt III, 8 de febrero de 2017, no aparecen valores diferentes para MIE, puesto que al tratarse de un único día las estimaciones son idénticas para ambos tipos de modelos.

Observamos que para la TCA Kurt los valores para el nivel 0 de la nueva modificación del modelo son incluso superiores al nivel 2 del modelo inicial. Esto se considera una clara mejora puesto que en trabajos anteriores las validaciones mostraban una fuerte infraestimación del modelo MIE en los casos particulares de las TCA grandes.

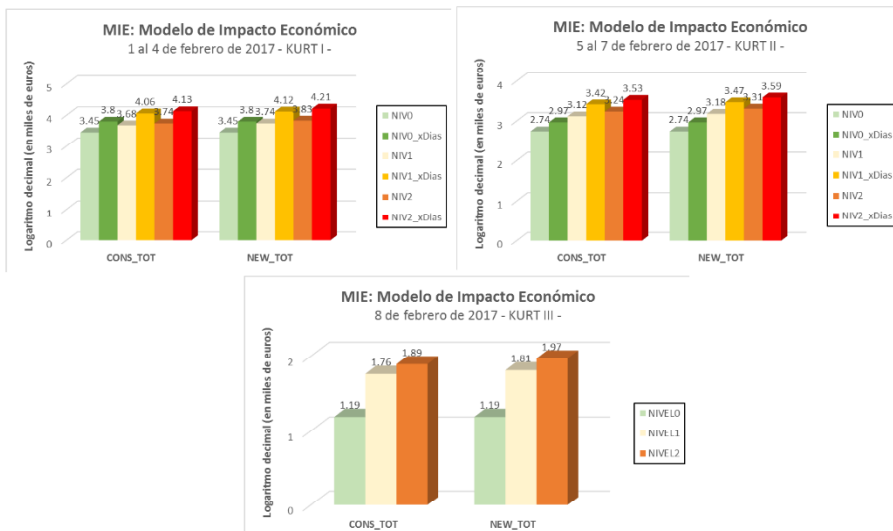
Sin embargo, los resultados para Kurt desglosado por días varían. En el caso de Kurt I el nivel 0 del MIE Por Días sólo es superior al nivel 2 del modelo inicial para el caso del escenario "NEW", ya no para el escenario "CONS". Para Kurt II, de hecho, ya no se verifica en ninguno de los dos escenarios, aunque si ocurre que el nivel 1 del MIE Por Días es superior al nivel 2 del MIE inicial para todos estos casos.

En las figuras 3, 4 y 5 aparecen otras 3 TCA ocurridas durante el año 2018 con las condiciones impuestas en el estudio. Todas las situaciones mostradas, además de presentar un número de días apropiado para poder realizar este análisis, presentan importancia y especial interés debido a su impacto económico y extensión. Los

nombres asignados en 2 de ellas ya lo muestran puesto que se les asigna cuando tienen especial relevancia.

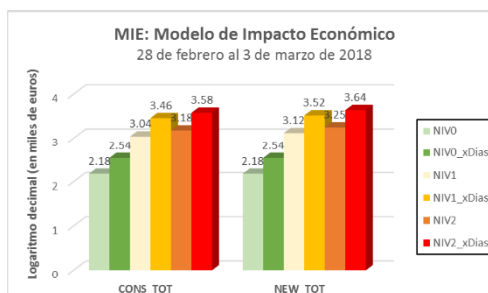


*Fig. 1: Logaritmo decimal (en miles de euros) de las pérdidas estimadas para el MIE inicial y Por Días según escenarios y niveles. TCA Kurt del 1 al 8 de febrero de 2017.*

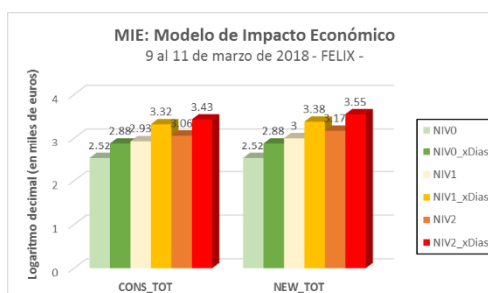


*Fig. 2: Logaritmo decimal (en miles de euros) de las pérdidas estimadas para el MIE inicial y Por Días según escenarios y niveles. TCA Kurt I del 1 al 4 de febrero de 2017, TCA Kurt II del 5 al 7 de febrero de 2017 y TCA Kurt III del 8 de febrero de 2017.*

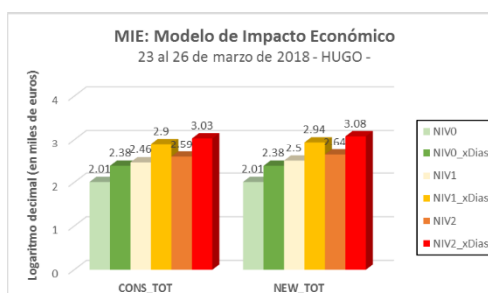
En todos estos casos se comprueba que las estimaciones de las pérdidas resultantes en el nivel 1 del MIE Por Días son superiores al nivel 2 del MIE inicial, como ocurría para todos los casos de la TCA Kurt. Sin embargo, las estimaciones con la nueva metodología MIE no aumentan tanto como en la Kurt, caso en el que el número de días es especialmente elevado.



*Fig. 3: Logaritmo decimal (en miles de euros) de las pérdidas estimadas para el MIE inicial y Por Días según escenarios y niveles. TCA del 28 de febrero al 3 de marzo de 2018.*



*Fig. 4: Logaritmo decimal (en miles de euros) de las pérdidas estimadas para el MIE inicial y Por Días según escenarios y niveles. TCA Félix del 9 al 11 de marzo de 2018.*



*Fig. 5: Logaritmo decimal (en miles de euros) de las pérdidas estimadas para el MIE inicial y Por Días según escenarios y niveles. TCA Hugo del 23 al 26 de marzo de 2018.*

Por último y para dar una idea de la extensión de las TCAs se representa en la tabla 1 el número de municipios afectados, junto con el número de provincias al que pertenecen, para todos los casos aquí expuestos. Las TCA aparecen con su nombre

excepto la TCA del 28 de febrero a 3 de marzo de 2018, indicada simplemente por TCA.

| TCA      | NIV0<br>muni. | NIV0<br>prov. | NIV1<br>muni. | NIV1<br>prov. | NIV2<br>muni. | NIV2<br>prov. |
|----------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Kurt     | 588           | 30            | 1357          | 33            | 1643          | 33            |
| Kurt I   | 515           | 25            | 1142          | 26            | 1340          | 26            |
| Kurt II  | 122           | 22            | 427           | 28            | 546           | 28            |
| Kurt III | 12            | 4             | 52            | 5             | 67            | 5             |
| TCA      | 62            | 21            | 314           | 23            | 400           | 24            |
| Félix    | 114           | 19            | 403           | 21            | 484           | 21            |
| Hugo     | 18            | 8             | 69            | 13            | 100           | 13            |

*Tabla 1: Número de municipios y provincias afectadas para las TCA en estudio y para todos los niveles.*

#### 4. DISCUSIÓN

La modificación de la metodología del MIE, para tener en cuenta el número de días de la TCA, se ajusta al cambio del procedimiento operativo utilizado en AEMET para calcular las estimaciones de rachas máximas. A partir del 1 de febrero de 2017 se realiza una interpolación para cada uno de los días que engloba la TCA. Además, las indemnizaciones realizadas por el CCS, a partir del mapa de estimaciones del período total, no diferencia entre días, esto es, la cobertura de daños final viene dada según el período total, sin tener en cuenta el día del suceso.

Los resultados obtenidos son coherentes ya que las estimaciones son mayores según aumentamos de nivel y para el escenario “NEW, que vuelve a calcular las pérdidas para los niveles inferiores ya que su valor de catastro global cambia al añadir municipios, en contraste con el “CONS”.

Por otro lado, tal y como vemos en los gráficos, el nuevo MIE Por Días da estimaciones de las pérdidas superiores al MIE inicial. De hecho en todos los casos de estudio, el nivel 1 del MIE Por Días ofrece una estimación superior al nivel 2 del modelo original. Esta es una importante ventaja ya que en TCAs de gran importancia, como son las incluidas en este estudio, análisis previos concluían que el MIE infraestimaba las pérdidas para este tipo de TCA.

La decisión final para poder aplicar esta modificación en el MIE queda supeditada a la validación de este, comparación de las estimaciones del modelo con los valores aplicados por el CCS. De este modo habría que examinar si las mejoras son exclusivas para alguna condición en concreto como puede ser la longitud de la situación o el tipo de situación, extensión e impacto económico. Para los casos estudiados el aumento del MIE Por Días es superior en aquella TCA que comprende un número de días mayor (TCA Kurt cuyo período incluye todos los días: del 1 al 8 de febrero).

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo surge como una colaboración entre la Agencia Estatal de Meteorología y el Consorcio de Compensación de Seguros, los cuales, junto a AT Sistemas, patrocinan el proyecto. Los autores desean agradecer el apoyo de muchas personas que pertenecen a estas organizaciones y que hacen posible estas investigaciones.

## REFERENCIAS

- Bivand, R.S., Pebesma, E.J. y Gómez-Rubio, V. (2008). *Applied Spatial Data Analysis with R*. Editorial Springer.
- Consorcio de Compensación de Seguros. (2017). *Recopilación Legislativa*. Edición de febrero de 2017, pp. 308.
- Cressie, N. (1991). *Statistics for spatial data*. Editorial: A Wiley – Interscience Publication.
- R Core Team. (2015). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Rodrigo, M. y López, J.A. (2016a). Resultados preliminares del modelo de impacto económico para las situaciones de rachas máximas extremas en la España peninsular. XXXIV Jornadas Científicas de la Asociación Meteorológica Española (AME). ISBN 978-84-617-5240-9.
- Rodrigo, M. y López, J.A. (2016b). Modelo de impacto económico para las situaciones de rachas máximas extremas de la España peninsular. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC), Serie A, nº 10, pp. 323-333. ISBN 978-84-16724-19-2.
- Rodrigo, M. y López, J.A. (2017). Propuesta de modelos de impacto económico para situaciones de rachas máximas extremas. Desarrollo y aplicación. 10º Simpósio de Meteorologia e Geofísica da Associação Portuguesa de Meteorologia y Geofísica (APMG).
- Rodrigo, M. y López, J.A. (2018). Modelo de Impacto Económico (MIE) enfocado a situaciones de rachas máximas extremas. XXXV Jornadas Científicas de la Asociación Meteorológica Española (AME).