

Área de Seguro y Previsión Social

Teledetección aplicada a la elaboración de mapas de peligrosidad de granizo en tiempo real y mapas de daños en cultivos e infraestructuras

Laura López Campano
Andrés Merino Suances
José Luis Sánchez Gómez
Eduardo García-Ortega

Grupo de Física de la Atmósfera. Instituto de Medio Ambiente, Recursos Naturales
y Biodiversidad. Universidad de León.

FUNDACIÓN MAPFRE

© FUNDACIÓN MAPFRE

Prohibida la reproducción total o parcial de esta obra sin el permiso escrito del autor o de FUNDACIÓN MAPFRE

FUNDACIÓN MAPFRE no se hace responsable del contenido de esta obra, ni el hecho de publicarla implica conformidad o identificación con la opinión del autor o autores.

Prohibida la reproducción total o parcial de esta obra sin el permiso escrito del autor o del editor.

© 2015, FUNDACIÓN MAPFRE
Paseo de Recoletos, 23
28004 Madrid (España)

www.fundacionmapfre.org
publicaciones.ics@fundacionmapfre.org

ISBN: 978-84-9844-530-5
Depósito Legal: M-19812-2015
Maquetación y producción editorial: Cyan, Proyectos Editoriales, S.A.

PRESENTACIÓN

Desde 1975 FUNDACIÓN MAPFRE desarrolla actividades de interés general para la sociedad en distintos ámbitos profesionales y culturales, así como acciones destinadas a la mejora de las condiciones económicas y sociales de las personas y de los sectores menos favorecidos de la sociedad.

Desde el Área de Seguro y Previsión Social trabajamos con el objetivo de promover y difundir el conocimiento y la cultura del Seguro y la Previsión Social.

En cuanto a las actividades orientadas hacia la sociedad en general, creamos contenidos gratuitos y universales en materia de seguros que divulgamos a través de la página web Seguros y Pensiones para Todos. Organizamos actividades educativas y de sensibilización mediante cursos de formación para el profesorado, talleres para escolares y visitas gratuitas para grupos al Museo del Seguro. Asimismo publicamos guías divulgativas para dar a conocer aspectos básicos del seguro.

Además de esta labor divulgativa, apoyamos la investigación mediante la elaboración de informes sobre mercados aseguradores y otros temas de interés, la concesión de ayudas para la investigación en seguros y previsión social, la publicación de libros y cuadernos de temática aseguradora y la organización de jornadas y seminarios. Nuestro compromiso con el conocimiento se materializa en un Centro de Documentación especializado que da soporte a todas nuestras actividades y que está abierto al público en general.

Dentro de estas actividades se encuadra la concesión de una ayuda a la investigación Ignacio H. de Larramendi 2013 a la Dra. Laura López Campano, profesora titular de Universidad e investigadora dentro del Grupo de Física de la Atmósfera de la Universidad de León, para el desarrollo del proyecto *Teledetección aplicada a la elaboración de mapas de peligrosidad de granizo en tiempo real y mapas de daños en cultivos e infraestructuras* que ha sido tutorizado por don Juan Sáez, director del Canal Agropecuario de MAPFRE.

Todas nuestras actividades se encuentran disponibles y accesibles en internet, para usuarios de todo el mundo, de una manera rápida y eficaz, a través de nuestra página web: www.fundacionmapfre.org.

Área de Seguro y Previsión Social.
FUNDACIÓN MAPFRE

Dra. Laura López Campano (León, 1977), profesora titular en el Área de Física Aplicada de la Universidad de León. Investigadora del Grupo de Física de la Atmósfera del Instituto de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Biodiversidad. Máster Europeo en Meteorología por la Universidad de Barcelona y doctora en Ciencias Ambientales por la Universidad de León.

Dr. Andrés Merino Suances (Palencia, 1985), licenciado en Ciencias Ambientales por la Universidad de León, máster europeo en Meteorología por la Universidad de Barcelona y doctor en Ciencias Ambientales por la Universidad de León. Investigador del Grupo de Física de la Atmósfera del Instituto de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Biodiversidad.

Dr. José Luis Sánchez Gómez (Segovia, 1955), catedrático de Física Aplicada en la Universidad de León. Licenciado en Ciencias Físicas y doctor en Ciencias Físicas por la Universidad de Valladolid. Director del Instituto de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Biodiversidad de la Universidad de León (ULE) y del Grupo de Física de la Atmósfera de la ULE.

Dr. Eduardo García Ortega (León, 1969), licenciado en Ciencias Físicas por la Universidad de Salamanca y doctor en Ciencias por la Universidad de Valladolid. Profesor contratado doctor de la Universidad de León (ULE) e investigador del Grupo de Física de la Atmósfera del Instituto de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Biodiversidad de la ULE.

ÍNDICE

Resumen	9
1. Convección atmosférica severa y precipitaciones de granizo	11
2. Detección y seguimiento en tiempo real (<i>nowcasting</i>) de tormentas de granizo mediante el satélite MSG	15
2.1. Herramienta de detección de tormentas de granizo: Máscara de convección y algoritmo de detección de granizo del GFA	16
2.2. Validación de la herramienta de detección de granizo	18
2.3. Seguimiento en tiempo real (<i>nowcasting</i>) de tormentas de granizo	19
2.4. Mapas diarios, semanales y mensuales de peligrosidad de granizo	20
3. Construcción de aplicaciones para la elaboración de daños en cultivos e infraestructuras	21
4. Conclusiones	23
Anexo. Gráficos	25
Bibliografía	43

RESUMEN

Las precipitaciones intensas acompañadas de granizo son uno de los riesgos meteorológicos más frecuentes en la Península Ibérica. Una de las aplicaciones más demandadas por los gestores de riesgos y por la población en general es conocer de manera cuasi real (*nowcasting*) dónde se están produciendo este tipo de precipitaciones.

Los satélites meteorológicos de nueva generación tienen mucho que decir en la detección de estos episodios. La posibilidad de utilización de imágenes de satélite, con una gran densidad de información espacial y con una alta frecuencia temporal, posibilita el seguimiento en *nowcasting* de determinadas variables que pueden servir de base para una adecuada identificación y análisis del tipo de precipitación. En este sentido, el satélite Meteosat de Segunda Generación (MSG) contiene el radiómetro denominado SEVIRI (*Spinning Enhanced Visible and Infrared Imagen*), que le otorga una elevada resolución espectral y radiométrica. El satélite MSG presenta una resolución temporal de 15 minutos. Esta resolución permite realizar el seguimiento de estructuras convectivas de manera fiable. El Canal 12 es el canal visible de alta resolución (*High Resolution Visible*, HRV), el cual presenta una resolución de 1,67 km en un punto subsatelital (1,5-2 km sobre el centro de Europa). El resto de canales cuentan con una resolución espacial de 4,8 km en un punto subsatelital (5-6 km sobre el centro de Europa).

El Grupo de Física de la Atmósfera de la Universidad de León ha desarrollado, a través de datos MSG, herramientas para el análisis y la detección en *nowcasting* de precipitaciones de granizo. La calibración de las mismas se realizó en el Valle Medio del Ebro (VME), donde el Grupo de Física de la Atmósfera (GFA) de la Universidad de León dispone de un diseño experimental óptimo para el establecimiento de la denominada *verdad terreno* (es decir, determinar el tipo de precipitación existente en el suelo), ya que cuenta con un radar meteorológico y con una red de granizómetros.

El primer objetivo del presente proyecto financiado por la FUNDACIÓN MAPFRE ha sido validar las herramientas de detección de granizo desarrolladas sobre el total de la Península Ibérica (Merino *et al.*, 2014). Para la validación del modelo se han utilizado datos de la entidad AGROSEGURO, que nos ha facilitado partes de incidencia de daños en cultivos causados por precipitaciones de granizo.

El segundo objetivo ha sido la elaboración de mapas de alta resolución espacio-temporal que nos permitan detectar en tiempo real zonas con elevada probabilidad de precipitaciones intensas (cartografía de peligrosidad de granizo). En la web <<http://gfa.unileon.es>> se cuenta con una sección desarrollada especialmente para este proyecto en la que se puede visualizar cada cuarto de hora (de abril a septiembre) el mapa de probabilidad de granizo y el mapa de granizo acumulado diario. Esta herramienta podría facilitar la movilización de los tasadores agrícolas, ya que nos permite conocer las zonas afectadas por granizo. El uso de la misma, con datos anuales de años pasados, nos permite además desarrollar cartografías de peligrosidad de granizo de alta resolución espacial sobre la Península.

Finalmente, el tercer objetivo ha sido la creación de mapas de daños en cultivos (sobre cereal, vid, olivo y frutales) e infraestructuras. Así, se han desarrollado algoritmos que consideran tanto el estado fenológico del cultivo como la duración de la granizada.

El presente Proyecto de investigación ha sido financiado en la Convocatoria de Ayudas a la Investigación 2013/2014, Prevención, Salud, Medio Ambiente y Seguros de la Fundación MAPFRE (área: Seguro y Previsión Social; línea temática: Gerencia de Riesgos). Los autores desean agradecer al Sr. D. Juan Sáez Ruiz la ayuda facilitada a lo largo de todo el periodo de ejecución del proyecto. Además, dan las gracias a AGROSEGURO por los datos facilitados y de manera especial destacan la colaboración de D.^ª María Virtudes Andrés.

1. CONVECCIÓN ATMOSFÉRICA SEVERA Y PRECIPITACIONES DE GRANIZO

Desde el punto de vista meteorológico, el término de convección se refiere al transporte de calor y humedad por la componente vertical de flujo asociado con la flotabilidad. Así, la convección transporta el calor y el vapor de agua desde las capas bajas hasta la alta troposfera. Para que la flotabilidad en la troposfera sea no nula, es necesaria la presencia simultánea de varios ingredientes: inestabilidad atmosférica, humedad en capas bajas y la existencia de un mecanismo de disparo que transporte la parcela de aire hasta el nivel de convección libre (Sánchez *et al.*, 2013). El tipo de convección que da lugar a tormentas se conoce como convección profunda húmeda. El término se utiliza para definir las nubes convectivas que alcanzan una parte sustancial de la troposfera (Bluestein, 1993). El estudio de la convección, y en concreto el de la convección profunda, es de suma importancia debido a su capacidad para generar fenómenos adversos: granizadas, tornados, precipitaciones intensas y vientos fuertes. En latitudes medias, las nubes convectivas como los cumulonimbos o los cúmulos *congestus* son la causa principal del tiempo severo. La palabra severa hace referencia a fenómenos que acompañan a la convección y que pueden producir daños importantes, aunque no existe una definición universalmente aceptada. El Grupo de Física de la Atmósfera (GFA) de la Universidad de León tiene amplia experiencia en el trabajo experimental relacionado con los estudios de situaciones de tiempo severo. Así, el GFA ha trabajado en la predicción de tormentas a través del empleo de datos de radiosondeo (López *et al.*, 2007; Sánchez *et al.*, 2008) y en la detección de las mismas en tiempo real a través de datos radar (López y Sánchez, 2009) o de imágenes de satélite. La línea de trabajo del grupo incluye también el estudio de las características microfísicas de las tormentas convectivas.

En España, la adjetivación de las tormentas se hace respecto a su intensidad. Esta adjetivación está relacionada con la actividad convectiva de las tormentas. Así, según la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), “las tormentas fuertes son aquellas que van acompañadas de precipitaciones fuertes o muy fuertes y/o de rachas de viento fuertes o muy fuertes y/o de granizo de diámetro superior a 1 cm. Son también fuertes las tormentas que producen importante aparato eléctrico”. También, según la AEMET, el granizo es un tipo de “precipitación de pequeños

glóbulos o trozos de hielo (pedrisco) con diámetros entre 5 y 50 mm o algunas veces más, y que caen separados o agrupados irregularmente”, mientras que el denominado granizo blando (o *graupel*) es un “conglomerado compuesto por cristales con gotitas, con un diámetro de hasta 5 mm”. Por otra parte, AGROSEGURO (Duro *et al.*, 2013) define el riesgo de pedrisco como “precipitación atmosférica de agua congelada, en forma sólida y amorfa, que por efecto del impacto ocasione pérdidas sobre el producto asegurado como consecuencia de daños traumáticos”. En esta última definición no se diferencia entre granizo blando (de hasta 5 mm de diámetro) y granizo (de mayor tamaño).

Las tormentas de granizo causan numerosos daños anuales en las latitudes medias, especialmente en lo que a agricultura e infraestructuras se refiere. España se sitúa dentro de Europa como una de las zonas más afectadas por precipitaciones de granizo. En España, el riesgo de pedrisco es una de las coberturas más comunes dentro de los seguros destinados a la producción agrícola. El pedrisco es el riesgo con mayor porcentaje de siniestros e indemnizaciones. Así, tanto en número de siniestros como en coste de la siniestralidad, el pedrisco se sitúa por encima del 40% del total (Duro *et al.*, 2013). Dentro de la Península, las zonas de mayor incidencia de tormentas severas se encuentran próximas a los sistemas montañosos, en especial a los Pirineos y al Sistema Ibérico. También en zonas del Valle del Ebro, Meseta Norte e interior de las provincias de Teruel, Lleida y la Comunidad Valenciana.

Las condiciones sinópticas o mesoescalares que afectan a la formación de tormentas de granizo son similares a las requeridas para el desarrollo de la convección profunda, ya que a menudo estas también vienen acompañadas de fuertes vientos y precipitaciones intensas, es decir, de inestabilidad, humedad y la presencia de un mecanismo de disparo. En las zonas montañosas, el mecanismo de disparo se produce gracias a la elevación del aire húmedo debido al relieve. En el resto de zonas afectadas en la Península predominan como mecanismos de disparo la convección (favorecida por la presencia de elevadas temperaturas en superficie) y la convergencia (confluencia de aire en niveles bajos que se ve obligado a ascender). Estos mecanismos pueden aparecer aislados o de manera combinada.

Dentro de una tormenta, la formación de granizo requiere de una estructura adecuada de las corrientes verticales, de grandes cantidades de agua sobreenfriada (gotas de agua a temperaturas de hasta -40°C , en estado metaestable) y de cristales de hielo que actúen como embriones de granizo. Es necesario que las piedras de granizo se mantengan en el aire por encima de la isocero mientras continúan creciendo. Las variables que afectan principalmente a la estructura de las piedras de granizo son el contenido de agua líquida y la temperatura de la nube. El contenido de agua líquida está directamente relacionado con la velocidad de crecimiento de las piedras. La temperatura de la nube determina la velocidad a la que congela el agua capturada por el granizo. En el proceso denominado acreción (figura 1), los cristales de hielo formados chocan con gotitas de agua líquida sobreenfriada para dar lugar a un conglomerado de cristales y gotitas congeladas. La estructura formada es granizo blando (o *graupel*) si el conglomerado está compuesto por cristales con gotitas. Si en el conglomerado predominan las gotitas en vez de los cristales, se denomina nieve granulada.

Dentro de las grandes nubes convectivas con elevado desarrollo vertical podemos tener procesos de acreción sucesiva en los que se forma granizo. El crecimiento del mismo en las diferentes capas de la nube con distintas condiciones de temperatura y sobresaturación hace que aparezcan una serie de capas concéntricas alrededor de su centro. Si la capa presenta una estructura cristalina, este hecho señala que se ha producido un crecimiento “seco” a temperaturas frías; sin embargo, cuando la capa presenta un color lechoso, esto indica que la piedra formada ha experimentado un “crecimiento húmedo” en capas con temperaturas más cálidas incorporando agua líquida a su estructura, que posteriormente, si atraviesa zonas más frías, puede congelar. En algunas piedras de granizo recogidas en la superficie es posible detectar este tipo de estructura (figura 2).

2. DETECCIÓN Y SEGUIMIENTO EN TIEMPO REAL (NOWCASTING) DE TORMENTAS DE GRANIZO MEDIANTE EL SATÉLITE MSG

La observación y predicción de los fenómenos convectivos severos presenta actualmente importantes retos (Sánchez *et al.*, 2013). Las propias características de las tormentas de granizo hacen que no sea fácil contar con registros detallados de las mismas. Esto es debido, por un lado, a su limitada extensión espacial, y de manera especial, a su carácter efímero. Bajo estas condiciones resulta complicado diseñar un sistema adecuado de observación que nos permita registrar la información necesaria sobre su ocurrencia, sus características en general o las de un evento en particular.

En la Península Ibérica, debido a su gran variedad climática, amplitud geográfica, orografía y a la irregular distribución que presenta la población en las diferentes provincias, el estudio de los riesgos meteorológicos es muy complicado. Especialmente en lo que a la calibración y valoración de las herramientas de detección y seguimiento se refiere, fundamentalmente a causa de la incertidumbre que presentan los datos de la denominada *verdad terreno*. De hecho, el mayor problema existente en la validación de los datos de precipitación instantáneos obtenidos a partir de datos de MSG es conocer la *verdad terreno*, es decir, lo que está sucediendo realmente en el suelo. No debemos olvidar que una vez que los meteoros precipitan de la nube en la que se formaron recorren capas inferiores de la atmósfera donde la estructura térmica puede variar considerablemente. En este sentido, cuanto mejores sean nuestros datos de *verdad terreno*, en mejor disposición nos encontraremos para calibrar tanto los algoritmos de identificación de los meteoros como los de estimación de la intensidad de la precipitación.

En la actualidad, existen varios sistemas para la detección de estos fenómenos, aunque todos presentan sus incertidumbres. Por un lado, se pueden utilizar métodos directos para detectar su presencia en el suelo (por ejemplo, mediante la observación de los daños producidos en cultivos, caídas de granizo registradas

por observadores o haciendo uso de las redes de granizómetros) y otros más indirectos (basados en herramientas de teledetección).

Los granizómetros consisten en una pequeña placa que se coloca a la intemperie de forma que las precipitaciones de granizo provoquen una marca en el mismo. Así, se puede conocer de manera objetiva la presencia de la precipitación, además de otras características de la misma (distribución de tamaños, tamaño máximo, masa de granizo precipitada, energía cinética de la precipitación). El principal inconveniente de este sistema es su elevado coste operativo, por lo que su disponibilidad se restringe a pequeñas áreas.

Los registros de pérdidas económicas y daños que poseen las entidades aseguradoras han sido ampliamente utilizados. En estos datos hay gran cantidad de factores a tener en cuenta. Entre ellos, el tipo de cultivo asegurado, así como su estado vegetativo, ya que este determina la susceptibilidad de los mismos a los daños producidos. Por otro lado, también es necesario considerar la variación anual de la superficie asegurada, o la restricción de la información a los meses en los que el seguro es contratado. No obstante, y teniendo en cuentas estas consideraciones, los datos proporcionados cuentan con un gran valor para la calibración y validación de los sistemas de teledetección de granizo (radar y satélite).

2.1. HERRAMIENTA DE DETECCIÓN DE TORMENTAS DE GRANIZO: MÁSCARA DE CONVECCIÓN Y ALGORITMO DE DETECCIÓN DE GRANIZO DEL GFA

Históricamente, el radar meteorológico ha sido el sistema de teledetección más utilizado para la identificación de fenómenos asociados a la convección severa. Los resultados encontrados muestran que los radares convencionales son adecuados para realizar la identificación y seguimiento de este tipo de precipitaciones (López y Sánchez, 2009). Sin embargo, dada la limitación espacial y el elevado coste que presentan estos sistemas, parece obvio que se desarrollen nuevas herramientas que permitan mayor cobertura espacial y mejor accesibilidad. En este sentido la posibilidad de utilización de imágenes de satélites, con una gran densidad de información espacial y con una alta frecuencia temporal, facilita el seguimiento en tiempo cuasi real (*nowcasting*) de determinadas variables, y pueden

servir de base para la obtención de parámetros que sean válidos para una adecuada estimación tanto del tipo de precipitación como de la intensidad de la misma.

El satélite Meteosat de Segunda Generación (MSG) contiene el radiómetro denominado SEVIRI (*Spinning Enhanced Visible and Infrared Imagen*). SEVIRI barre de manera continua en 12 canales o bandas espectrales (desde 0,635 micrometros hasta 13,40 micrometros) y presenta una resolución temporal de 15 minutos. Esta resolución permite realizar el seguimiento de las estructuras nubosas en tiempo real, incluso de aquellas que poseen un rápido desarrollo. El Canal 12 es el canal visible de alta resolución (*High Resolution Visible*, HRV), el cual presenta una resolución de 1,67 km en un punto subsatelital (1,5-2 km sobre el centro de Europa). El resto de canales cuentan con una resolución espacial de 4,8 km en un punto subsatelital (5-6 km sobre el centro de Europa).

La construcción de una herramienta de identificación de granizo diurna (Merino *et al.*, 2014), para meses de verano, a partir de MSG data, se ha realizado mediante la aplicación de dos modelos de regresión logística. Para la construcción de los algoritmos se ha seleccionado el método *stepwise* de incorporación de variables, con interacción de primer orden entre las variables predictoras. La regresión logística es una herramienta estadística que ha sido ampliamente usada en estudios meteorológicos (López *et al.*, 2007). Esta técnica permite obtener la probabilidad de ocurrencia de un determinado fenómeno meteorológico (en nuestro caso precipitaciones de granizo) a partir de los valores de un conjunto de variables métricas. En el presente estudio se ha utilizado la regresión logística a la hora de crear tanto la “máscara de convección” como el “algoritmo de granizo”. En ambos casos, las variables explicativas son los canales del MSG, excepto el HRV.

El primero de los algoritmos denominado “máscara de convección” permite identificar los píxeles convectivos, mientras que el segundo denominado “algoritmo de granizo” discrimina dentro de los mismos aquellos píxeles con caída de granizo. Para ello, hay que hacer uso de las propiedades microfísicas del techo de las nubes. Ahora bien, éstas deben ser establecidas a partir de las reflectancias e irradiancias en diferentes longitudes de onda.

El “algoritmo de granizo” incluye cuatro variables explicativas. La aplicación previa de la “máscara de convección” es fundamental para filtrar los techos de nube formados por agua líquida. El motivo es que el “algoritmo de granizo” es muy sensible a los valores del NIR (Infra-rojo cercano). Así, los techos de nubes formados por agua líquida poseen altas reflectancias en el NIR, por lo cual quedarían identificados como granizo (Merino *et al.*, 2014).

La aplicación consecutiva de los dos algoritmos fue validada para una base de datos de eventos independientes, dando lugar a una probabilidad de detección del 76,9% y una tasa de falsas alarmas del 16,7%. Con estos resultados, la herramienta puede ser utilizada para el seguimiento de granizadas en tiempo real.

En la figura 3 se pueden apreciar en rojo importantes células convectivas sobre el Sistema Central (izquierda) con elevadas probabilidades de aparición de granizo (derecha).

2.2. VALIDACIÓN DE LA HERRAMIENTA DE DETECCIÓN DE GRANIZO

Como hemos señalado, el uso de datos de daños aportados por AGROSEGURO nos ha permitido validar la herramienta de detección de granizo desarrollada por el GFA. Se ha realizado un seguimiento durante los meses de abril a octubre de 2014 y se ha determinado la probabilidad de granizo para toda la península. La figura 4a muestra el mapa de probabilidad de granizo diario. La figura 4b representa la probabilidad de granizo junto con las localidades donde se han registrado daños según los datos facilitados por AGROSEGURO. El análisis de los mapas diarios junto con la representación de los daños aportados por AGROSEGURO nos ha permitido detectar algunos problemas tanto en cuanto a la construcción de los mapas de probabilidad de granizo como a las consideraciones relativas a la validación.

En primer lugar, y respecto a la construcción de los mapas de probabilidad de granizo, es necesario señalar que, debido a la inclusión en el algoritmo de detección de los canales visibles, los mapas construidos son válidos desde las 09:00 UTC hasta las 18:00 UTC, ya que no permite la identificación en horas sin luz solar o en horas próximas al atardecer o amanecer. No obstante, es importante señalar que,

en la península, la mayoría de las tormentas se producen en horas diurnas. En cuanto a la época del año, el algoritmo detecta tormentas convectivas cuyo periodo de formación varía entre abril y octubre. Las probabilidades registradas a partir de octubre o antes de abril, no reflejan correctamente las precipitaciones de granizo, sino que, debido a las invasiones de aire frío en altura, detectan partículas sólidas en la nube.

Por otro lado, en los datos de validación se ha detectado cómo algunos partes de daños no se corresponden con el día de la granizada, sino con días posteriores a la fecha de la misma. Por tanto, la identificación de la fecha del siniestro correcta es importante. Igualmente, la identificación de las coordenadas GPS de la parcela proporciona información más útil que la mera identificación del término municipal. Finalmente, en lo referente a los datos de tasación aportados, sería de gran utilidad de cara a futuros trabajos de investigación la aportación de la hora de la granizada, especialmente si en el día se han producido varias, la duración temporal de la misma y el tamaño del granizo detectado.

Los resultados nos muestran cómo la herramienta de identificación de granizo ha detectado correctamente las localidades dónde se han registrado los partes de daños, independientemente de la zona de la Península Ibérica en la que nos encontremos. La caída de granizo se ha considerado a partir de valores de probabilidad superiores al 70%. En Castilla y León, Galicia y Asturias el umbral de detección de granizo se ha considerado por encima del 50%, ya que este valor permite incluir todas las granizadas registradas. En cuanto a la sobreestimación, el algoritmo detecta amplias zonas con granizo que, debido a que no están cubiertas por pólizas de seguro, no es posible conocer la presencia o no presencia de este tipo de precipitaciones. En zonas con cobertura sí se ha comprobado que en los días y localidades con probabilidades de granizo menores del 50% no se han registrados partes de daños en AGROSEGURO.

2.3. SEGUIMIENTO EN TIEMPO REAL (*NOWCASTING*) DE TORMENTAS DE GRANIZO

Se han construido herramientas automáticas de desarrollo de mapas de probabilidad de granizo y presentación en la web del GFA. En la web es posible realizar un

seguimiento de la probabilidad de granizo cada 15 minutos y para toda la Península Ibérica con una resolución espacial de unos 4 x 4 km. Esta herramienta permite la valoración rápida de la superficie afectada, lo cual puede ser de utilidad en la planificación del proceso de tasación: movilización de personal, valoración previa de hectáreas afectadas, etc.

Por ejemplo, la figura 5a representa un zoom de la probabilidad de granizo del día 9 de septiembre de 2014 a las 16:15 horas representado sobre Google Maps. Los altos valores de probabilidad de granizo se corresponden con una tormenta que provocó daños por granizo en setenta vehículos e importantes pérdidas económicas en la localidad de Sinarcas. No obstante, en ocasiones las granizadas afectan a zonas poco pobladas en las que la herramienta automática resulta especialmente útil, ya que permite realizar una estimación rápida de la extensión y localización de la zona afectada (figura 5b).

2.4. MAPAS DIARIOS, SEMANALES Y MENSUALES DE PELIGROSIDAD DE GRANIZO

Se ha desarrollado una aplicación informática que permite la construcción de mapas de probabilidad de granizo acumulado integrando diferentes periodos temporales. Así, podemos representar mapas acumulados de granizo diario, semanal, mensual o anual. Por ejemplo, las figuras 6a a 6e representan la probabilidad de granizo semanal de julio de 2013. Las zonas afectadas por granizo aparecen en color rojo (probabilidad de granizo superior al 70%). Este tipo de representaciones permite realizar una climatología de riesgo de granizo de alta resolución tanto espacial como temporal. Se han realizado los mapas de granizo semanal de los años 2011 a 2014. En próximos trabajos, se reconstruirán años anteriores a fin de completar la representatividad climatológica de la misma.

3. CONSTRUCCIÓN DE APLICACIONES PARA LA ELABORACIÓN DE DAÑOS EN CULTIVOS E INFRAESTRUCTURAS

El concepto de riesgo natural varía en función de las diferentes disciplinas. Definiremos riesgo como la pérdida potencial para las personas o sistemas expuestos, resultando de la convolución (concepto matemático que se refiere al condicionamiento mutuo) de *peligrosidad* y *vulnerabilidad*. Por un lado, la *peligrosidad* es la probabilidad de ocurrencia en un periodo específico de tiempo en un área dada, de un evento potencialmente dañino, lo cual implica considerar la frecuencia y la magnitud del evento tratado (Lastoria *et al.*, 2006). Por otro lado, la *vulnerabilidad* puede ser definida como un factor de riesgo interno del sujeto o del sistema que está expuesto al peligro y que, debido a su predisposición intrínseca, puede verse afectado o ser más sensible al daño. Lastoria *et al.* (2006) señala que esta representa la predisposición de un elemento para ser dañado o destruido.

Los mapas desarrollados en la sección 2 pueden considerarse mapas de peligrosidad de granizo, ya que nos indican dónde se producen este tipo de tormentas. No obstante, si se desean desarrollar mapas de riesgo de granizo es necesario considerar parámetros relativos tanto a la peligrosidad como a la vulnerabilidad de los cultivos agrícolas afectados. En este caso, la predisposición de un cultivo para ser dañado o destruido viene determinada en gran medida por el estado fenológico en el que se encuentre. El estado fenológico de la planta indica los distintos estados por los que transcurre a lo largo del ciclo anual mediante la observación de sus elementos externos (frutos, flores, yemas, etc.). Estos estados se encuentran directamente relacionados con las condiciones atmosféricas y son fundamentales a la hora de evaluar los daños. Por ejemplo, nos permiten conocer si la granizada ha afectado a un cultivo de vid antes o después del estado fenológico H, lo que supondrá un daño débil o moderado. En determinados estados fenológicos, las granizadas no implican daño porque el cultivo se puede recuperar o ni siquiera se encuentra sembrado o brotado. Para la construcción de los algoritmos se han utilizado diferentes estudios previos que relacionan estados fenológicos en diversos cultivos y daños (Sáenz Laín *et al.*, 2003; BOE).

El GFA ha desarrollado en este proyecto diferentes algoritmos que combinan la probabilidad de granizo, la duración de la granizada y el estado fenológico de la planta para determinar el tipo de daño y dividirlo en cuatro categorías: sin daño, daño débil, daño moderado y daño fuerte. Los cultivos evaluados han sido cereal, frutales, vid y olivo. A fin de determinar el tipo de cultivo existente en cada píxel de la península ibérica, se ha utilizado la base de datos CLC-Change 2006 generada en el proyecto CORINE Land Cover (CLC) de la Agencia Europea de Medio Ambiente. Aunque inicialmente no se encontraba dentro del proyecto, también se han incluido mapas de daños en infraestructuras. La figura 7a muestra el mapa de probabilidad de granizo diario del día 6 de junio del 2011. Las figuras 7b a 7e muestran los daños provocados por las granizadas en los cultivos de cereal, frutales, viñedo, olivo (sin daños ese día). La figura 7f muestra las granizadas registradas sobre infraestructuras. Este tipo de representación nos permite conocer dónde se han registrado granizadas en carreteras o zonas pobladas.

Tradicionalmente, en los seguros agrarios en España no se consideran el tamaño ni la duración de la granizada; solamente se cubren los efectos sobre la producción agrícola (Duro *et al.*, 2013). Por tanto, los algoritmos desarrollados podrían permitir la creación de nuevos productos de seguimiento, pretasación y preevaluación de los daños post-evento.

4. CONCLUSIONES

El algoritmo de identificación y seguimiento de granizo en tiempo real, que permite conocer la probabilidad de precipitaciones de granizo para la Península Ibérica con una alta resolución espacial y temporal, ha sido validado con datos de *verdad terreno* de daños en cultivos. Se ha concluido que el algoritmo proporciona resultados satisfactorios en la totalidad de la Península Ibérica. El umbral de precipitaciones de granizo se ha fijado en el 50%, en función de la localización geográfica dentro de la Península, como ya hemos comentado.

Se ha desarrollado una herramienta informática que permite la construcción de mapas de peligrosidad de granizo en tiempo real cada 15 minutos, sobre una base cartográfica del terreno. La aplicación se encuentra disponible en <http://gfa.unileon.es> durante los meses en los que se registran tormentas convectivas en la Península (durante los meses de abril a octubre). La aplicación podría permitir la creación de nuevas metodologías de seguimiento, pretasación y preevaluación de los daños post-evento.

Se ha desarrollado una aplicación que permite la integración temporal de los mapas de probabilidad de granizo. Esta aplicación nos ha permitido construir mapas semanales, mensuales y anuales de peligrosidad de granizo. La utilización de esta herramienta en años anteriores nos puede permitir crear mapas climatológicamente significativos de peligrosidad de granizo.

Se han desarrollado algoritmos de identificación de daños en cultivos considerando el estado fenológico del cultivo y la duración de la granizada. Los algoritmos desarrollados permiten construir mapas de daños en tiempo real sobre diferentes tipos de cultivos: cereales, frutales, vid y olivo. Se han establecido cuatro niveles de daños: sin daño, daño débil, moderado y fuerte. Además, se ha desarrollado un algoritmo que identifica las tormentas registradas sobre infraestructuras. Este tipo de representación nos permite conocer dónde se han registrado granizadas en carreteras o zonas pobladas.

ANEXO. GRÁFICOS

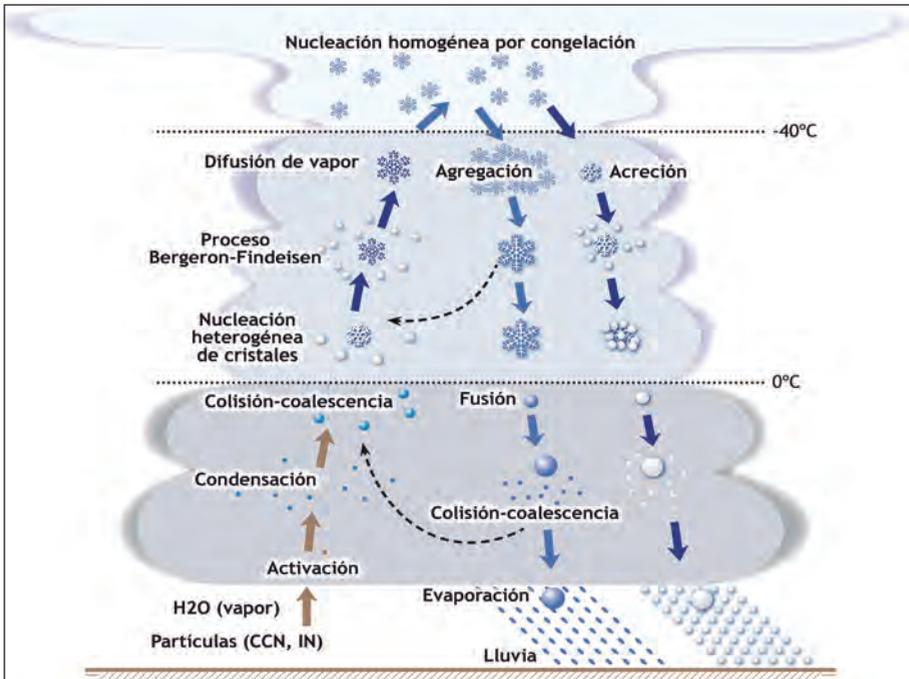


Figura 1. Procesos microfísicos considerados en nubes mixtas. El proceso de acreción sucesiva permite la formación de granizo dentro de la nube.



Figura 2. Granizo en el que se aprecia una estructura cristalina. El crecimiento del mismo en las diferentes capas de la nube con distintas condiciones de temperatura y sobresaturación hace que aparezcan una serie de capas concéntricas alrededor de su centro. (Fuente: Laura López).

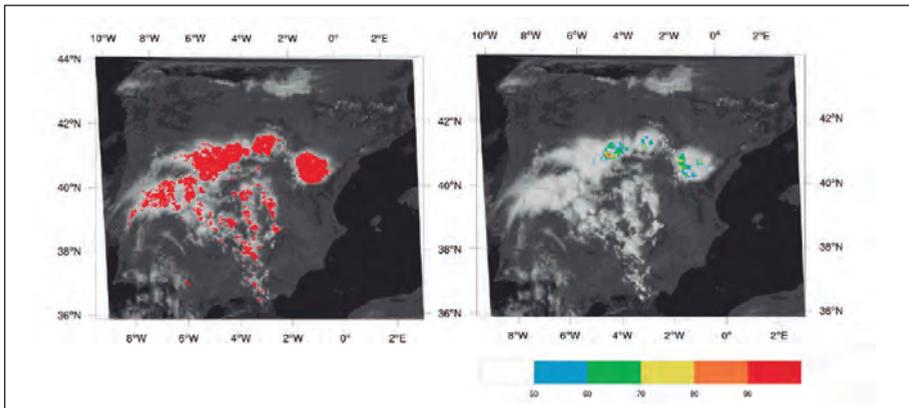


Figura 3. Episodio de granizo del 12 de agosto de 2011 a las 14:00 UTC. Izquierda: resultado del algoritmo Máscara de convección, en rojo. Derecha: resultado de la Máscara de granizo.

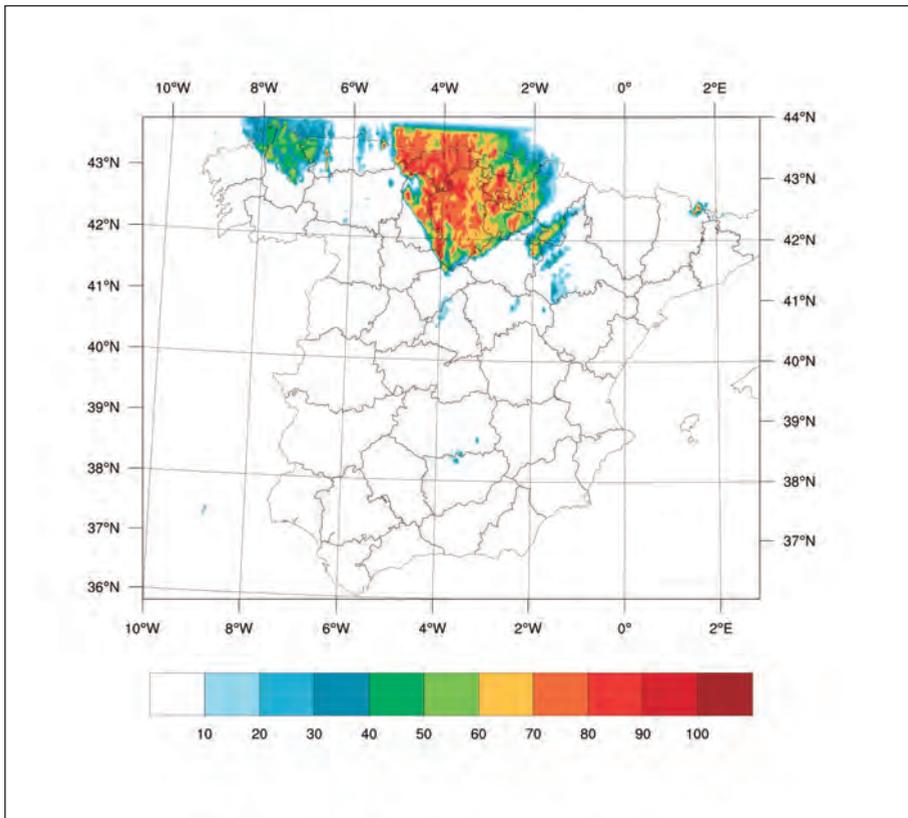


Figura 4a. Mapa de probabilidad de granizo acumulado diario del 20 de junio de 2014.

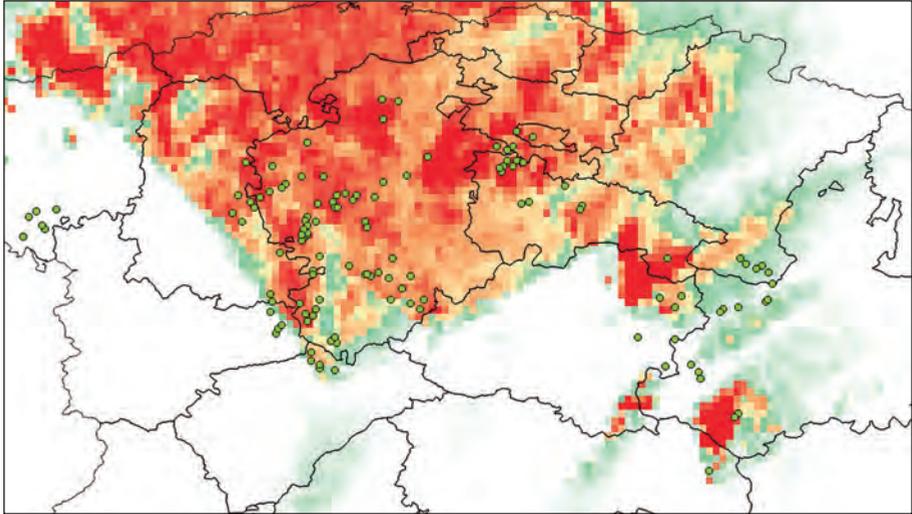


Figura 4b. Mapa de probabilidad de granizo acumulado diario del 20 de junio de 2014 (zoom de la zona más afectada por las precipitaciones), junto con las localidades donde se han registrado daños según los datos facilitados por AGROSEGURO.

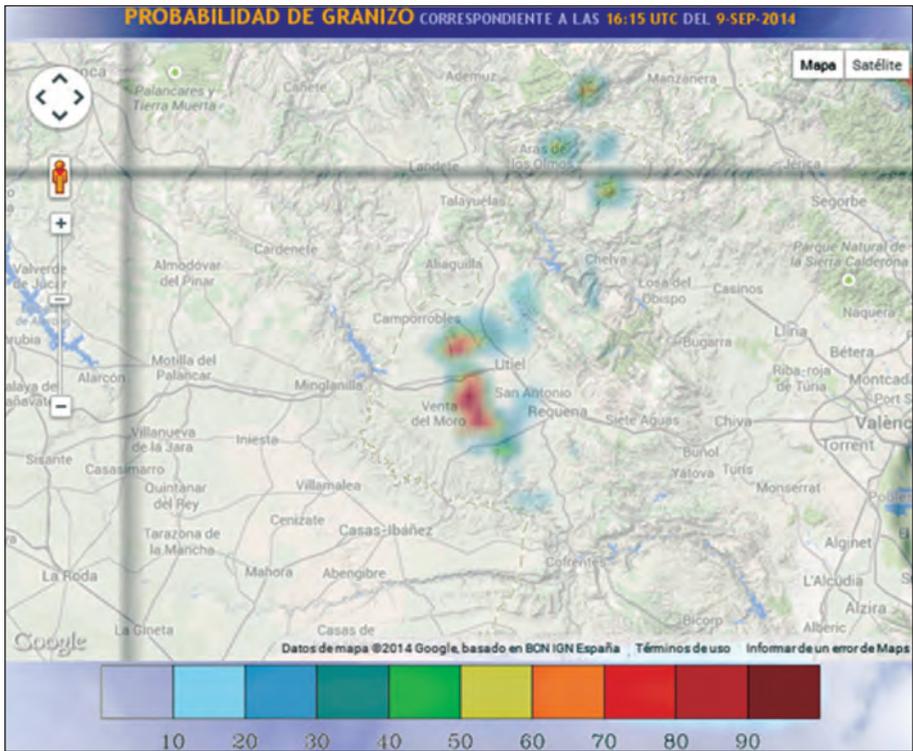


Figura 5a. Zoom de la probabilidad de granizo del día 9 de septiembre de 2014 a las 16:15 horas representado sobre Google Maps.

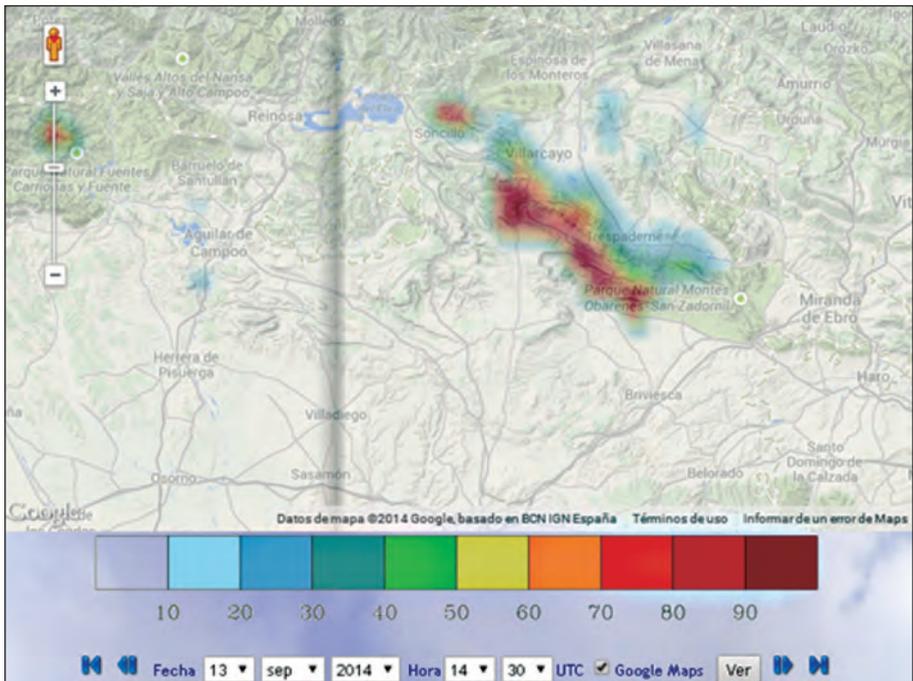


Figura 5b. Zoom de la probabilidad de granizo puntual sobre la Península. Las zonas en color rojo representan probabilidades puntuales superiores al 80%.

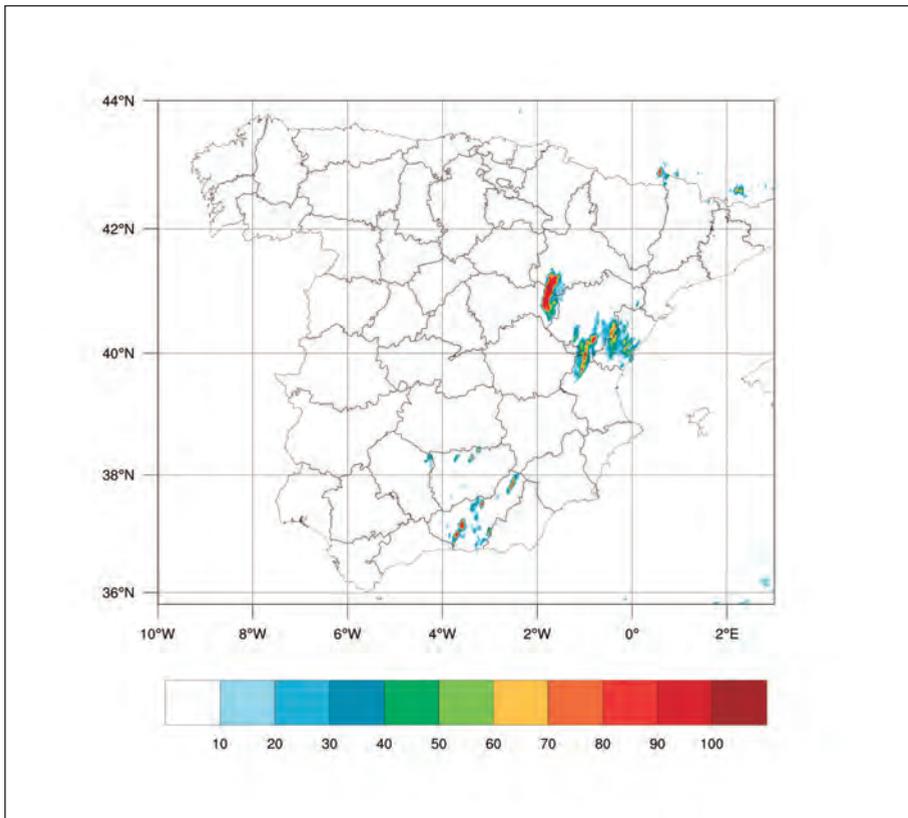


Figura 6a. Mapa de probabilidad de granizo semanal de julio de 2013. Las zonas afectadas por granizo durante la semana del 1 al 7 de julio de 2013 aparecen en color rojo (probabilidad de granizo superior al 70%).

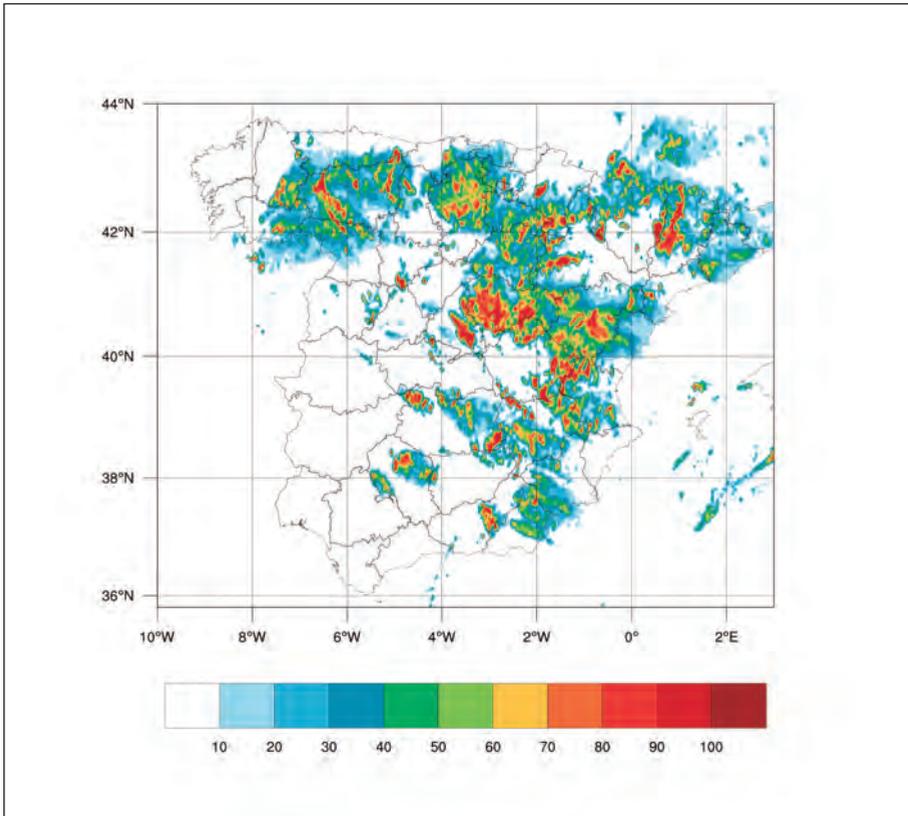


Figura 6b. Mapa de probabilidad de granizo semanal de julio de 2013. Las zonas afectadas por granizo durante la semana del 8 al 14 de julio de 2013 aparecen en color.

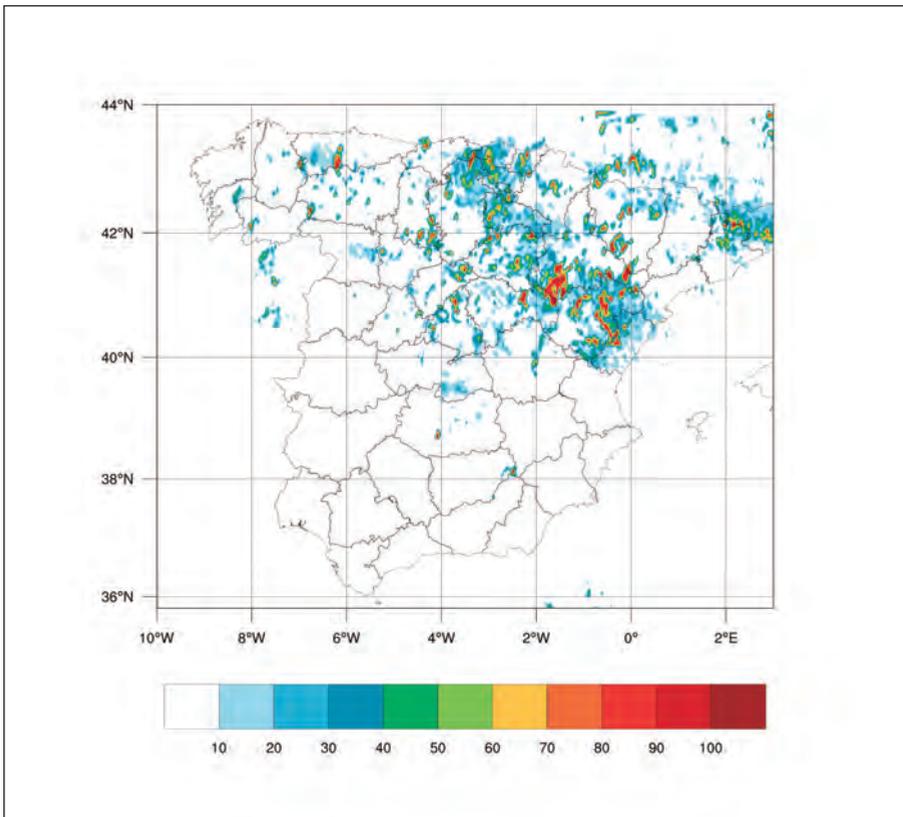


Figura 6c. Mapa de probabilidad de granizo semanal de julio de 2013. Las zonas afectadas por granizo durante la semana del 15 al 21 de julio de 2013 aparecen en color rojo.

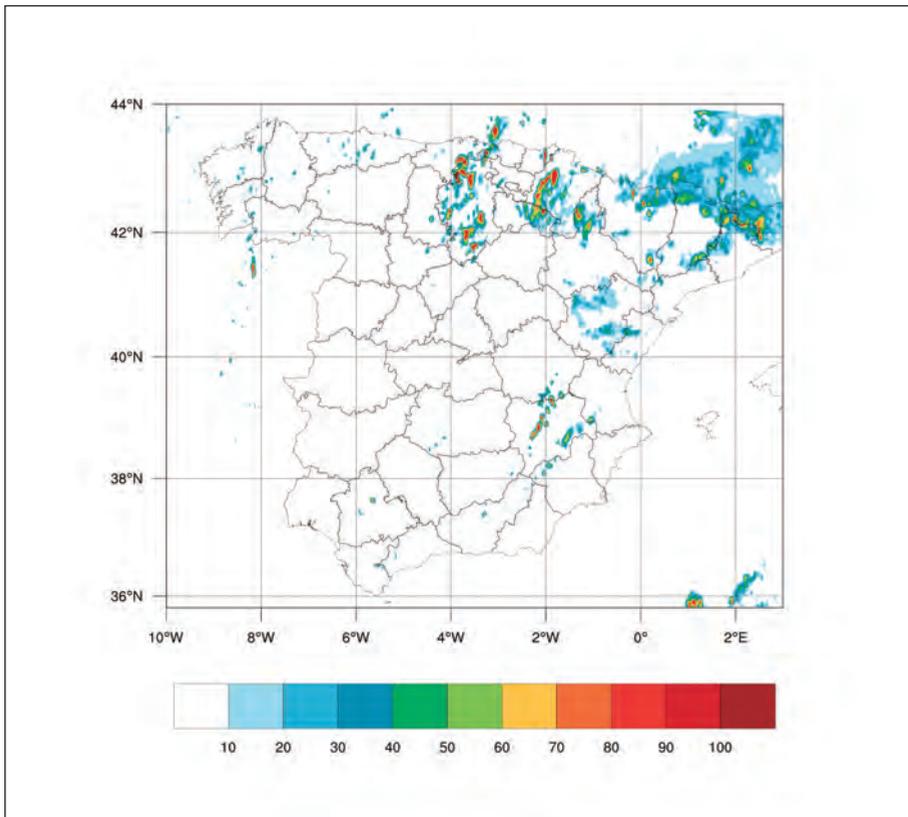


Figura 6d. Mapa de probabilidad de granizo semanal de julio de 2013. Las zonas afectadas por granizo durante la semana del 22 al 28 de julio de 2013 aparecen en color.

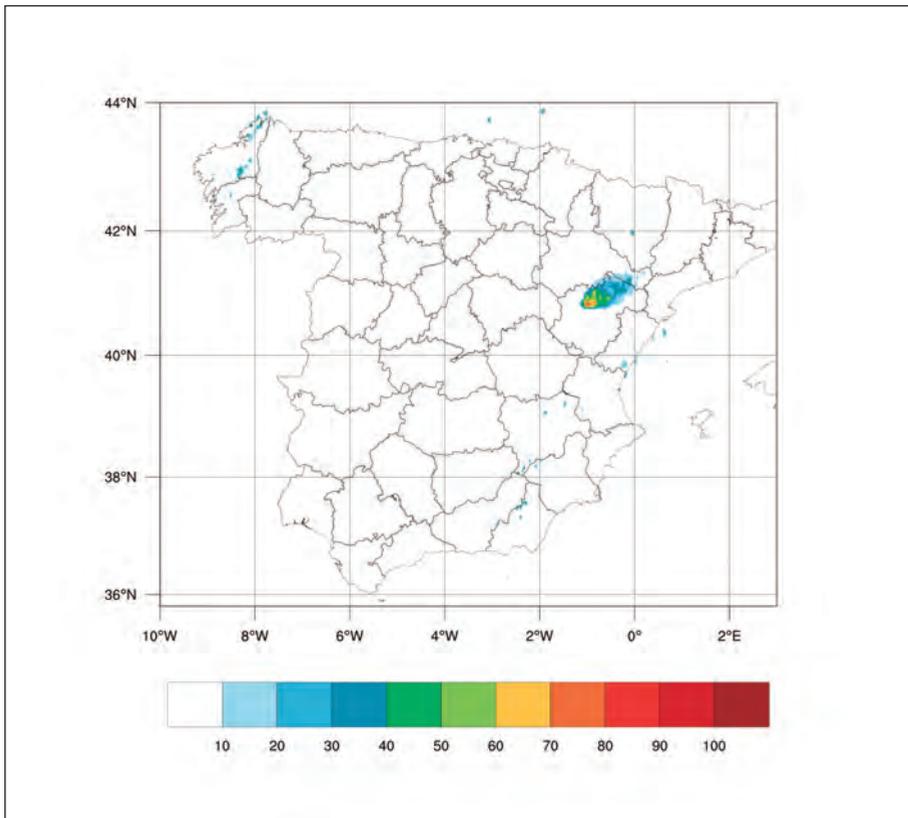


Figura 6e. Mapa de probabilidad de granizo semanal de la última semana de julio de 2013. Las zonas afectadas por granizo durante la semana del 29 de julio al 4 de agosto de 2013 aparecen en color.

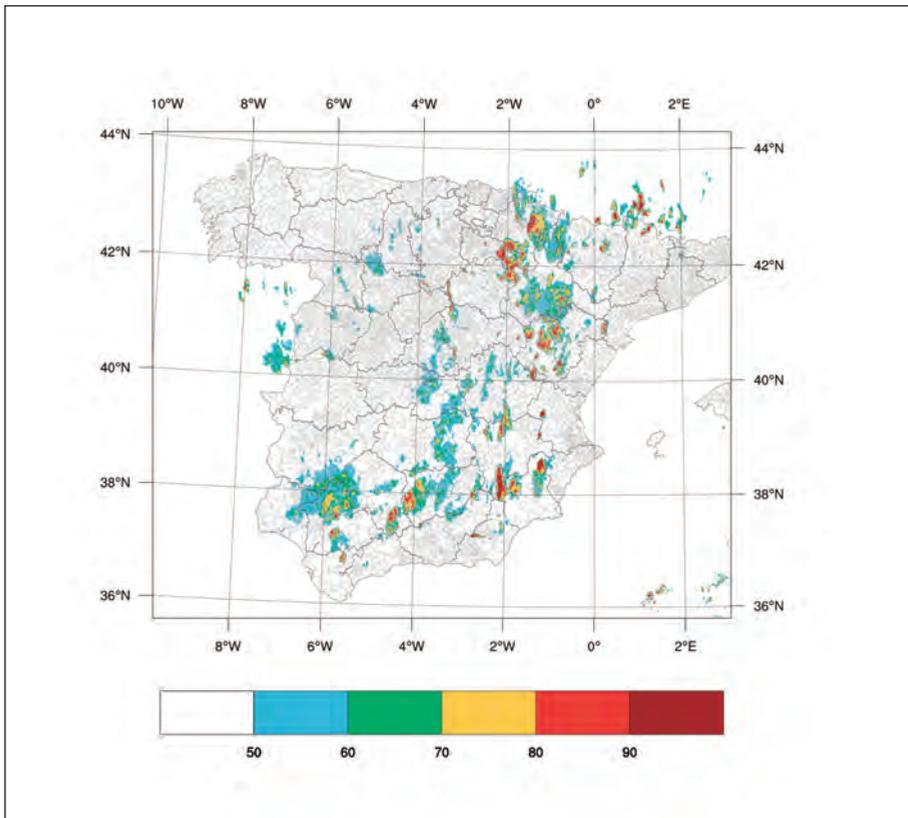


Figura 7a. Mapa de probabilidad de granizo diario del día 6 de junio del 2011.

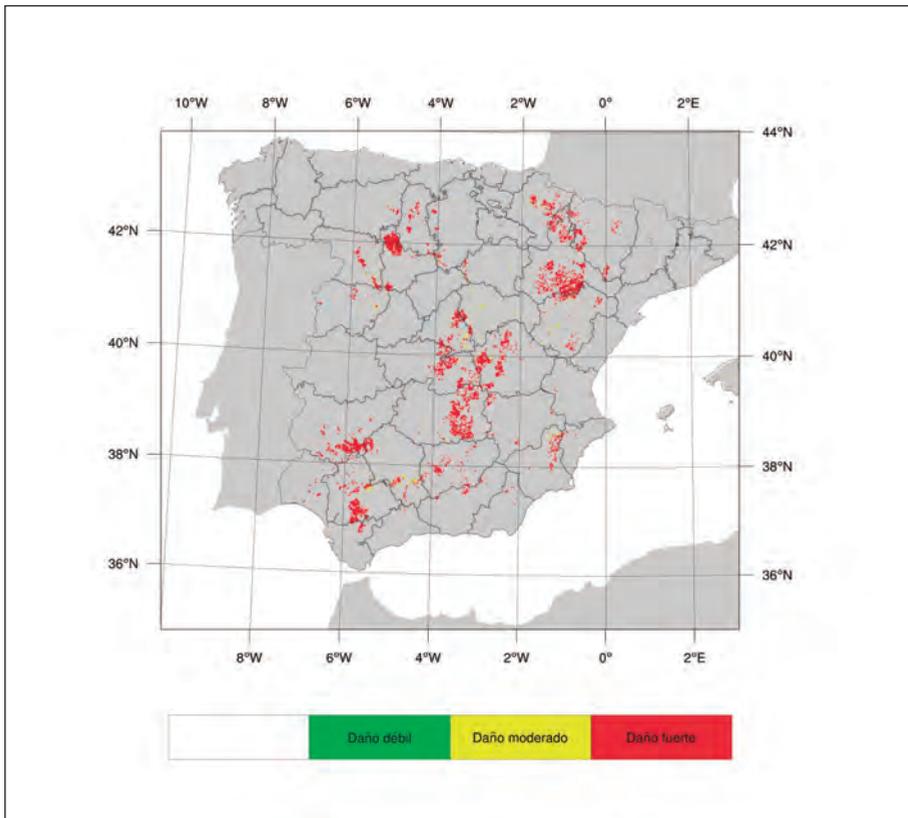


Figura 7b. Daños provocados por las granizadas en los cultivos de cereal el día 6 de junio de 2011. Los daños se clasifican así: sin daño, daño débil, moderado o fuerte.

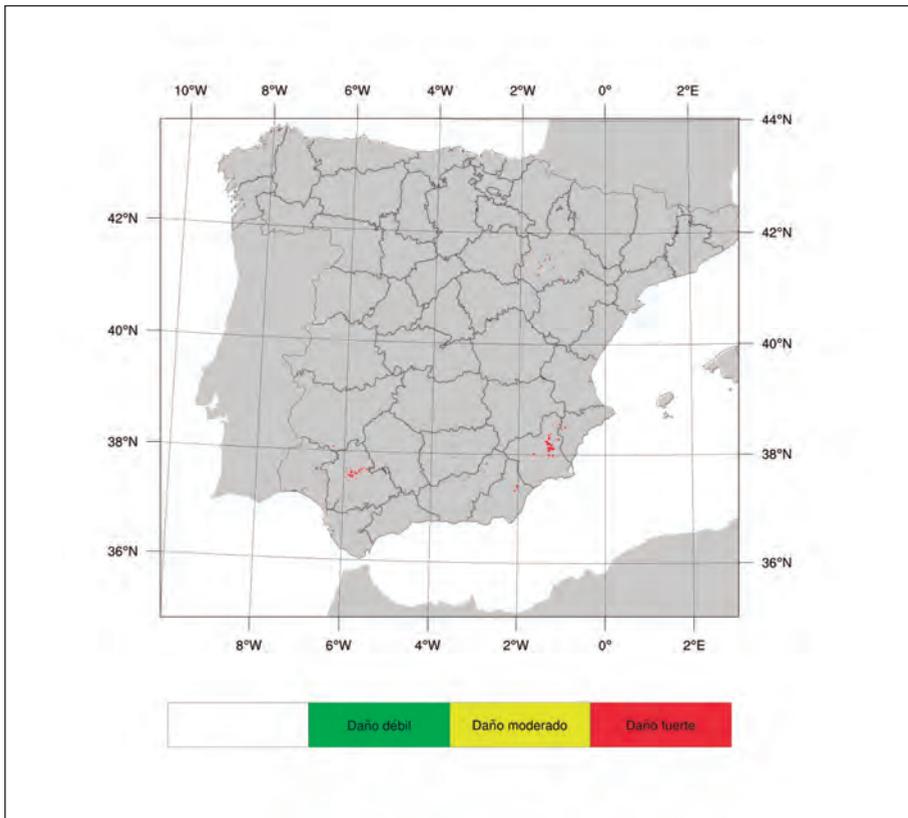


Figura 7c. Daños provocados por las granizadas en los cultivos de frutales el día 6 de junio de 2011. Los daños se clasifican así: sin daño, daño débil, moderado o fuerte.

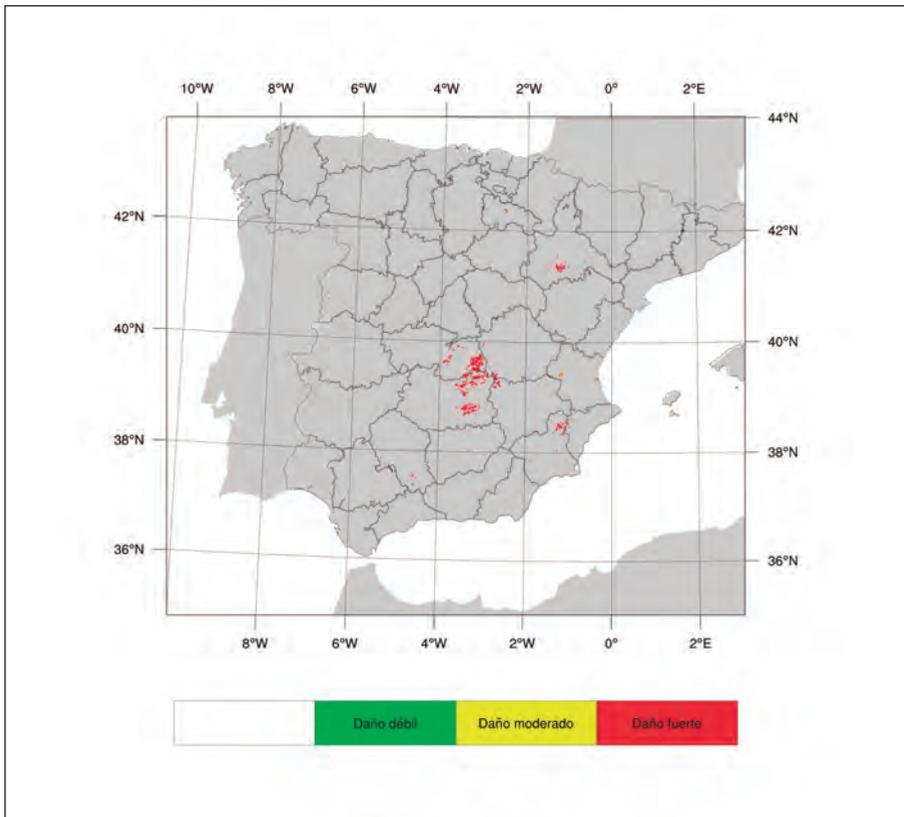


Figura 7d. Daños provocados por las granizadas en los cultivos de vid el día 6 de junio de 2011. Los daños se clasifican así: sin daño, daño débil, moderado o fuerte.

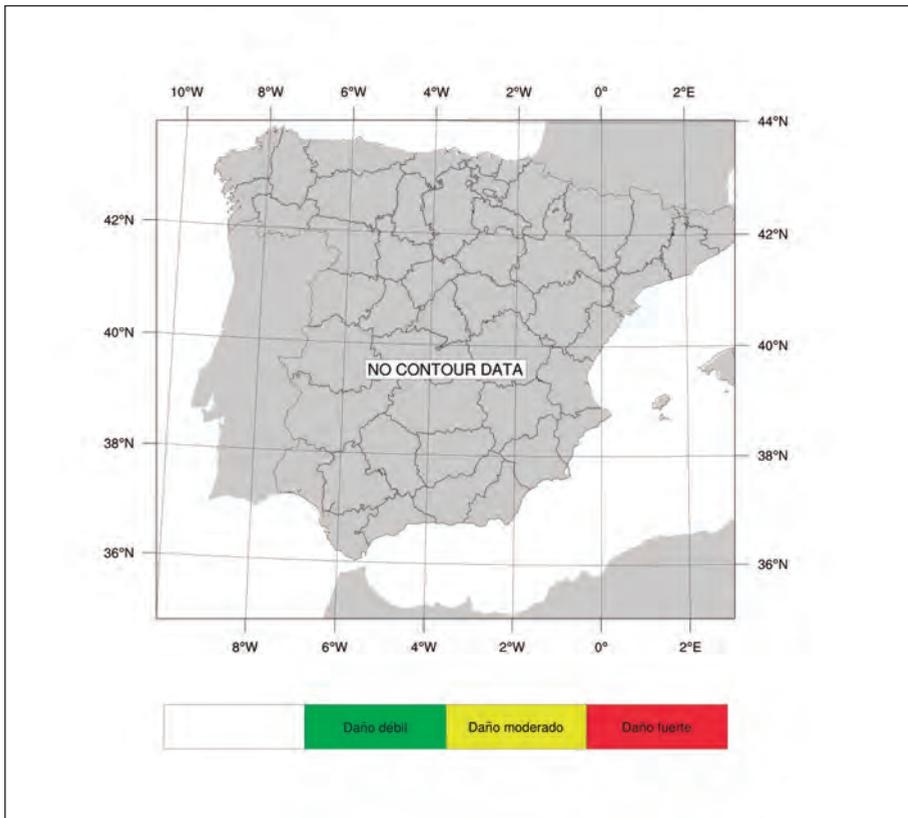


Figura 7e. Daños provocados por las granizadas en los cultivos de olivo el día 6 de junio de 2011. Los daños se clasifican así: sin daño, daño débil, moderado o fuerte. Ese día no se produjeron daños sobre plantaciones de olivo.

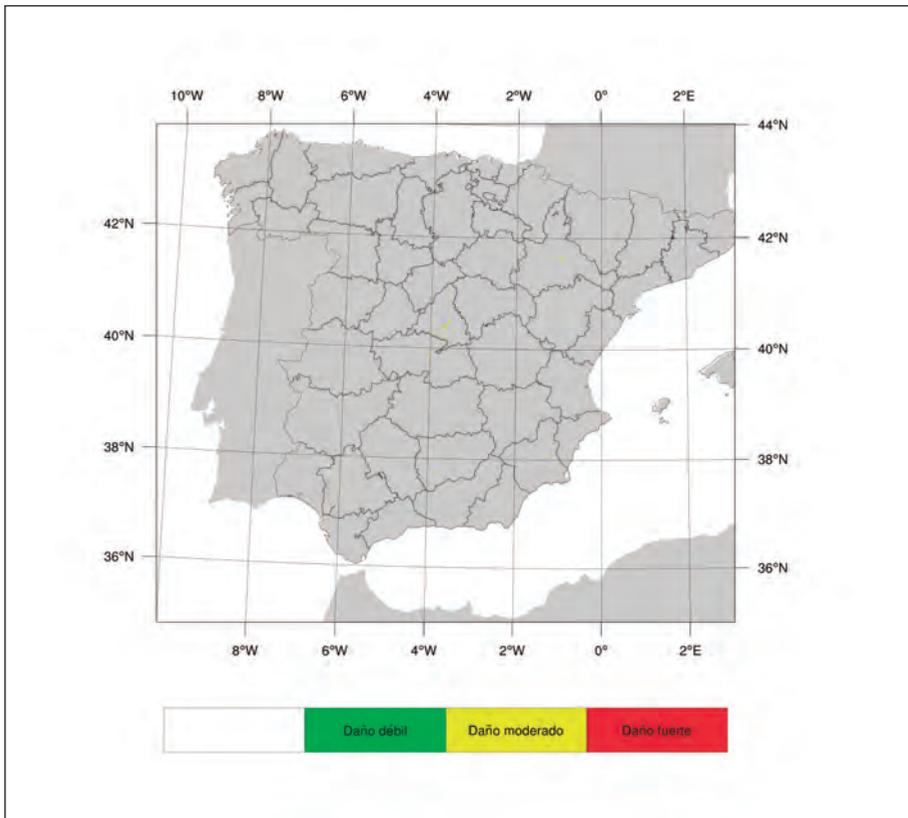


Figura 7f. Daños provocados por las granizadas sobre las infraestructuras el día 6 de junio de 2011. Los daños se clasifican así: sin daño, daño débil, moderado o fuerte. Este tipo de representación nos permite conocer dónde se han registrado granizadas en carreteras o zonas pobladas.

BIBLIOGRAFÍA

Bluestein, H.B. (1993). *Synoptic-Dynamic Meteorology in Midlatitudes. Observations and Theory of Weather Systems*. Oxford University Press.

Duro Ventura, S.; Sánchez Elizo, E.; Cuevas García, J. C. (2013). "Cobertura del riesgo de pedrisco en el sistema español de seguros agrarios, 2014", *Actuarios*, 33, 31-39.

Lastoria, B.; Simonetti, M.R.; Casaioli, M.; Mariani, S.; Monacelli, G. (2006). "Socio Economic Impacts of Major Floods in Italy from 1951 to 2003". *Advances in Geosciences*, 7, 223-229.

López, L.; García-Ortega, E., Sánchez, J. L. (2007). "A Short-Term Forecast Model for Hail". *Atmos. Res.*, 83, 176-184.

López, L.; Sánchez, J. L. (2009). "Discriminant Methods for Radar Detection of Hail". *Atmos. Res.*, 93, 358-368.

Merino, A.; López, L.; Sánchez, J. L.; García-Ortega, E.; Cattani, E.; Levizzani, V. (2014). "Day-Time Identification of Summer Hailstorm Cells from MSG Data". *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 14, 1013-1034.

Sáenz Laín, C.; Gutiérrez Bustillo, M.; Alcolado, V. (2003). "Fenología, aerobiología y producción del oliva en Almodóvar del Campo (Castilla-La Mancha)". *Anales Jard. Bot.*, 60, 73-81.

Sánchez, J. L.; Merino, A.; López, L.; García, E.; Gascón, E.; Fernández, S.; Marcos, J. L. (2013). *Observación, análisis y predicción de tormentas de granizo. Fenómenos meteorológicos adversos en España*. Madrid: WCRP y Consorcio de Compensación de Seguros.

Sánchez, J. L.; López, L.; Bustos, C.; Marcos, J. L.; García-Ortega, E. (2008). "Short-Term Forecast of Thunderstorms in Argentina". *Atmos. Res.*, 88, 36-45.

COLECCIÓN “CUADERNOS DE LA FUNDACIÓN”

Para cualquier información sobre nuestras publicaciones consulte:
www.fundacionmapfre.org

206. Teledetección aplicada a la elaboración de mapas de peligrosidad de granizo en tiempo real y mapas de daños en cultivos e infraestructuras. 2015
205. Current Topics on Risk Analysis: ICRA6 and RISK 2015 Conference. 2015
204. Determinantes do Prêmio de *Default* de Crédito de (Res)Seguradores. 2014
203. Generación de escenarios económicos para la medición de riesgos de mercado en Solvencia II a través de modelos de series temporales. 2014
202. La valoración de los inmuebles del patrimonio histórico y los riesgos sísmicos en el contrato de seguro: el caso de Lorca. 2014
201. Inteligencia computacional en la gestión del riesgo asegurador. 2014
200. El componente transfronterizo de las relaciones aseguradoras. 2014
199. El seguro basado en el uso (Usage Based Insurance). 2014
198. El seguro de decesos en la normativa aseguradora. Su encaje en Solvencia II. 2014
197. El seguro de responsabilidad civil en el arbitraje. 2014
196. La reputación corporativa en empresas aseguradoras: análisis y evaluación de factores explicativos. 2014

195. La acción directa del perjudicado en el ordenamiento jurídico comunitario. 2013
194. Investigaciones en Seguros y Gestión del Riesgo: RIESGO 2013
193. Viability of Patent Insurance in Spain. 2013
192. Viabilidad del seguro de patentes en España. 2013
191. Determinación de zonas homogéneas de riesgo para los rendimientos de distintos cultivos de la región pampeana en Argentina. 2013
190. Género y promoción en los sectores financiero y asegurador. 2013
189. An Introduction to Reinsurance. 2013
188. El control interno y la responsabilidad penal en la mediación de seguros privados. 2013
187. Una introducción al gobierno corporativo en la industria aseguradora en América Latina. 2013
186. Mortalidad de jóvenes en accidentes de tráfico. 2012
185. Las reclamaciones derivadas de accidentes de circulación por carretera transfronterizos. 2012
184. Efecto disuasorio del tipo de contrato sobre el fraude. 2012
183. Claves del Seguro Español: una aproximación a la Historia del Seguro en España. 2012
182. La responsabilidad civil del asegurador de asistencia sanitaria. 2012
181. Colaboración en el contrato de Reaseguro. 2012

180. Origen, situación actual y futuro del seguro de Protección Jurídica. 2012
179. Experiencias de microseguros en Colombia, Perú y Brasil. Modelo socio agente. 2012
178. El agente de seguros y su Responsabilidad Civil. 2012
177. Riesgo operacional en el marco de Solvencia II. 2012
176. Un siglo de seguros marítimos barceloneses en el comercio con América. (1770-1870). 2012
175. El seguro de Caución. 2012
174. La contabilidad de los corredores de seguros y los planes y fondos de pensiones. 2012
173. El seguro de Vida en América Latina. 2011
172. Gerencia de riesgos sostenibles y Responsabilidad Social Empresarial en la entidad aseguradora. 2011
171. Investigaciones en Seguros y Gestión del Riesgo. RIESGO 2011
170. Introdução ao Resseguro. 2011
169. La salud y su aseguramiento en Argentina, Chile, Colombia y España. 2011
168. Diferencias de sexo en conductas de riesgo y tasa de mortalidad diferencial entre hombres y mujeres. 2011
167. Movilización y rescate de los compromisos por pensiones garantizados mediante contrato de seguros. 2011
166. Embedded Value aplicado al ramo No Vida. 2011

165. Las sociedades cautivas de Reaseguro. 2011
164. Daños del amianto: litigación, aseguramiento de riesgos, y fondos de compensación. 2011
163. El riesgo de tipo de interés: experiencia española y Solvencia II. 2011
162. I Congreso sobre las Nuevas Tecnologías y sus repercusiones en el Seguro: Internet, Biotecnología y Nanotecnología. 2011
161. La incertidumbre bioactuarial en el riesgo de la longevidad. Reflexiones bioéticas. 2011
160. Actividad aseguradora y defensa de la competencia. La exención antitrust del sector asegurador. 2011
159. Estudio empírico sobre la tributación de los seguros de vida. 2010
158. Métodos estocásticos de estimación de las provisiones técnicas en el marco de Solvencia II. 2010
157. Introducción al Reaseguro. 2010
156. Encuentro Internacional sobre la Historia del Seguro. 2010
155. Los sistemas de salud en Latinoamérica y el papel del seguro privado. 2010
154. El Seguro de Crédito en Chile. 2010
153. El análisis financiero dinámico como herramienta para el desarrollo de modelos internos en el marco de Solvencia II. 2010
152. Características sociodemográficas de las personas con doble cobertura sanitaria. Un estudio empírico. 2010

151. Solidaridad impropia y seguro de Responsabilidad Civil. 2010
150. La prevención del blanqueo de capitales en las entidades aseguradoras, las gestoras y los corredores de seguros 2010
149. Fondos de aseguramiento agropecuario y rural: la experiencia mexicana en el mutualismo agropecuario y sus organizaciones superiores. 2010
148. Avaliação das Provisões de Sinistro sob o Enfoque das Novas Regras de Solvência do Brasil. 2010
147. El principio de igualdad sexual en el Seguro de Salud: análisis actuarial de su impacto y alcance. 2010
146. Investigaciones históricas sobre el Seguro español. 2010
145. Perspectivas y análisis económico de la futura reforma del sistema español de valoración del daño corporal. 2009
144. Contabilidad y Análisis de Cuentas Anuales de Entidades Aseguradoras (Plan contable 24 de julio de 2008). 2009
143. Mudanças Climáticas e Análise de Risco da Indústria de Petróleo no Litoral Brasileiro. 2009
142. Bases técnicas dinámicas del Seguro de Dependencia en España. Una aproximación en campo discreto. 2009
141. Transferencia Alternativa de Riesgos en el Seguro de Vida: Titulización de Riesgos Aseguradores. 2009
140. Riesgo de negocio ante asegurados con múltiples contratos. 2009
139. Optimización económica del Reaseguro cedido: modelos de decisión. 2009

138. Inversiones en el Seguro de Vida en la actualidad y perspectivas de futuro. 2009
137. El Seguro de Vida en España. Factores que influyen en su progreso. 2009
136. Investigaciones en Seguros y Gestión de Riesgos. RIESGO 2009
135. Análisis e interpretación de la gestión del fondo de maniobra en entidades aseguradoras de incendio y lucro cesante en grandes riesgos industriales. 2009
134. Gestión integral de Riesgos Corporativos como fuente de ventaja competitiva: cultura positiva del riesgo y reorganización estructural. 2009
133. La designación de la pareja de hecho como beneficiaria en los seguros de vida. 2009
132. Aproximación a la Responsabilidad Social de la empresa: reflexiones y propuesta de un modelo. 2009
131. La cobertura pública en el seguro de crédito a la exportación en España: cuestiones prácticas-jurídicas. 2009
130. La mediación en seguros privados: análisis de un complejo proceso de cambio legislativo. 2009
129. Temas relevantes del Derecho de Seguros contemporáneo. 2009
128. Cuestiones sobre la cláusula cut through. Transferencia y reconstrucción. 2008
127. La responsabilidad derivada de la utilización de organismos genéticamente modificados y la redistribución del riesgo a través del seguro. 2008
126. Ponencias de las Jornadas Internacionales sobre Catástrofes Naturales. 2008
125. La seguridad jurídica de las tecnologías de la información en el sector asegurador. 2008

124. Predicción de tablas de mortalidad dinámicas mediante un procedimiento bootstrap. 2008
123. Las compañías aseguradoras en los procesos penal y contencioso-administrativo. 2008
122. Factores de riesgo y cálculo de primas mediante técnicas de aprendizaje. 2008
121. La solicitud de seguro en la Ley 50/1980, de 8 de octubre, de Contrato de Seguro. 2008
120. Propuestas para un sistema de cobertura de enfermedades catastróficas en Argentina. 2008
119. Análisis del riesgo en seguros en el marco de Solvencia II: Técnicas estadísticas avanzadas Monte Carlo y Bootstrapping. 2008
118. Los planes de pensiones y los planes de previsión asegurados: su inclusión en el caudal hereditario. 2007
117. Evolução de resultados técnicos e financieros no mercado segurador iberoamericano. 2007
116. Análisis de la Ley 26/2006 de Mediación de Seguros y Reaseguros Privados. 2007
115. Sistemas de cofinanciación de la dependencia: seguro privado frente a hipoteca inversa. 2007
114. El sector asegurador ante el cambio climático: riesgos y oportunidades. 2007
113. Responsabilidade social empresarial no mercado de seguros brasileiro influências culturais e implicações relacionais. 2007
112. Contabilidad y análisis de cuentas anuales de entidades aseguradoras. 2007

111. Fundamentos actuariales de primas y reservas de fianzas. 2007
110. El Fair Value de las provisiones técnicas de los seguros de Vida. 2007
109. El Seguro como instrumento de gestión de los M.E.R. (Materiales Especificados de Riesgo). 2006
108. Mercados de absorción de riesgos. 2006
107. La exteriorización de los compromisos por pensiones en la negociación colectiva. 2006
106. La utilización de datos médicos y genéticos en el ámbito de las compañías aseguradoras. 2006
105. Los seguros contra incendios forestales y su aplicación en Galicia. 2006
104. Fiscalidad del seguro en América Latina. 2006
103. Las NIC y su relación con el Plan Contable de Entidades Aseguradoras. 2006
102. Naturaleza jurídica del Seguro de Asistencia en Viaje. 2006
101. El Seguro de Automóviles en Iberoamérica. 2006
100. El nuevo perfil productivo y los seguros agropecuarios en Argentina. 2006
99. Modelos alternativos de transferencia y financiación de riesgos "ART": situación actual y perspectivas futuras. 2005
98. Disciplina de mercado en la industria de seguros en América Latina. 2005
97. Aplicación de métodos de inteligencia artificial para el análisis de la solvencia en entidades aseguradoras. 2005

96. El Sistema ABC-ABM: su aplicación en las entidades aseguradoras. 2005
95. Papel del docente universitario: ¿enseñar o ayudar a aprender? 2005
94. La renovación del Pacto de Toledo y la reforma del sistema de pensiones: ¿es suficiente el pacto político? 2005
92. Medición de la esperanza de vida residual según niveles de dependencia en España y costes de cuidados de larga duración. 2005
91. Problemática de la reforma de la Ley de Contrato de Seguro. 2005
90. Centros de atención telefónica del sector asegurador. 2005
89. Mercados aseguradores en el área mediterránea y cooperación para su desarrollo. 2005
88. Análisis multivariante aplicado a la selección de factores de riesgo en la tarificación. 2004
87. Dependencia en el modelo individual, aplicación al riesgo de crédito. 2004
86. El margen de solvencia de las entidades aseguradoras en Iberoamérica. 2004
85. La matriz valor-fidelidad en el análisis de los asegurados en el ramo del automóvil. 2004
84. Estudio de la estructura de una cartera de pólizas y de la eficacia de un Bonus-Malus. 2004
83. La teoría del valor extremo: fundamentos y aplicación al seguro, ramo de responsabilidad civil autos. 2004
81. El Seguro de Dependencia: una visión general. 2004

80. Los planes y fondos de pensiones en el contexto europeo: la necesidad de una armonización. 2004
79. La actividad de las compañías aseguradoras de vida en el marco de la gestión integral de activos y pasivos. 2003
78. Nuevas perspectivas de la educación universitaria a distancia. 2003
77. El coste de los riesgos en la empresa española: 2001.
76. La incorporación de los sistemas privados de pensiones en las pequeñas y medianas empresas. 2003
75. Incidencia de la nueva Ley de Enjuiciamiento Civil en los procesos de responsabilidad civil derivada del uso de vehículos a motor. 2002
74. Estructuras de propiedad, organización y canales de distribución de las empresas aseguradoras en el mercado español. 2002
73. Financiación del capital-riesgo mediante el seguro. 2002
72. Análisis del proceso de exteriorización de los compromisos por pensiones. 2002
71. Gestión de activos y pasivos en la cartera de un fondo de pensiones. 2002
70. El cuadro de mando integral para las entidades aseguradoras. 2002
69. Provisiones para prestaciones a la luz del Reglamento de Ordenación y Supervisión de los Seguros Privados; métodos estadísticos de cálculo. 2002
68. Los seguros de crédito y de caución en Iberoamérica. 2001
67. Gestión directiva en la internacionalización de la empresa. 2001
65. Ética empresarial y globalización. 2001

64. Fundamentos técnicos de la regulación del margen de solvencia. 2001
63. Análisis de la repercusión fiscal del seguro de vida y los planes de pensiones. Instrumentos de previsión social individual y empresarial. 2001
62. Seguridad Social: temas generales y régimen de clases pasivas del Estado. 2001
61. Sistemas Bonus-Malus generalizados con inclusión de los costes de los siniestros. 2001
60. Análisis técnico y económico del conjunto de las empresas aseguradoras de la Unión Europea. 2001
59. Estudio sobre el euro y el seguro. 2000
58. Problemática contable de las operaciones de reaseguro. 2000
56. Análisis económico y estadístico de los factores determinantes de la demanda de los seguros privados en España. 2000
54. El corredor de reaseguros y su legislación específica en América y Europa. 2000
53. Habilidades directivas: estudio de sesgo de género en instrumentos de evaluación. 2000
52. La estructura financiera de las entidades de seguros, S.A. 2000
51. Seguridad y riesgos del joven en los grupos de edad. 2000
50. Mixturas de distribuciones: aplicación a las variables más relevantes que modelan la siniestralidad en la empresa aseguradora. 1999
49. Solvencia y estabilidad financiera en la empresa de seguros: metodología y evaluación empírica mediante análisis multivariante. 1999

48. Matemática Actuarial no vida con MapleV. 1999
47. El fraude en el Seguro de Automóvil: cómo detectarlo. 1999
46. Evolución y predicción de las tablas de mortalidad dinámicas para la población española. 1999
45. Los Impuestos en una economía global. 1999
42. La Responsabilidad Civil por contaminación del entorno y su aseguramiento. 1998
41. De Maastricht a Amsterdam: un paso más en la integración europea. 1998
39. Perspectiva histórica de los documentos estadístico-contables del órgano de control: aspectos jurídicos, formalización y explotación. 1997
38. Legislación y estadísticas del mercado de seguros en la comunidad iberoamericana. 1997
37. La responsabilidad civil por accidente de circulación. Puntual comparación de los derechos francés y español. 1997
36. Cláusulas limitativas de los derechos de los asegurados y cláusulas delimitadoras del riesgo cubierto: las cláusulas de limitación temporal de la cobertura en el Seguro de Responsabilidad Civil. 1997
35. El control de riesgos en fraudes informáticos. 1997
34. El coste de los riesgos en la empresa española: 1995
33. La función del derecho en la economía. 1997
32. Decisiones racionales en reaseguro. 1996

31. Tipos estratégicos, orientación al mercado y resultados económicos: análisis empírico del sector asegurador español. 1996
30. El tiempo del directivo. 1996
29. Ruina y Seguro de Responsabilidad Civil Decenal. 1996
28. La naturaleza jurídica del Seguro de Responsabilidad Civil. 1995
27. La calidad total como factor para elevar la cuota de mercado en empresas de seguros. 1995
26. El coste de los riesgos en la empresa española: 1993
25. El reaseguro financiero. 1995
24. El seguro: expresión de solidaridad desde la perspectiva del derecho. 1995
23. Análisis de la demanda del seguro sanitario privado. 1993
22. Rentabilidad y productividad de entidades aseguradoras. 1994
21. La nueva regulación de las provisiones técnicas en la Directiva de Cuentas de la C.E.E. 1994
20. El Reaseguro en los procesos de integración económica. 1994
19. Una teoría de la educación. 1994
18. El Seguro de Crédito a la exportación en los países de la OCDE (evaluación de los resultados de los aseguradores públicos). 1994
16. La legislación española de seguros y su adaptación a la normativa comunitaria. 1993

15. El coste de los riesgos en la empresa española: 1991
14. El Reaseguro de exceso de pérdidas 1993
12. Los seguros de salud y la sanidad privada. 1993
10. Desarrollo directivo: una inversión estratégica. 1992
9. Técnicas de trabajo intelectual. 1992
8. La implantación de un sistema de controlling estratégico en la empresa. 1992
7. Los seguros de responsabilidad civil y su obligatoriedad de aseguramiento. 1992
6. Elementos de dirección estratégica de la empresa. 1992
5. La distribución comercial del seguro: sus estrategias y riesgos. 1991
4. Los seguros en una Europa cambiante: 1990-95. 1991
2. Resultados de la encuesta sobre la formación superior para los profesionales de entidades aseguradoras (A.P.S.). 1991
1. Filosofía empresarial: selección de artículos y ejemplos prácticos. 1991

ÚLTIMOS LIBROS PUBLICADOS

El riesgo de longevidad y su aplicación práctica a Solvencia II. 2014

Historia del Seguro en España. 2014

Actas del III Congreso Internacional de Nuevas Tecnologías: sus repercusiones en el seguro: internet, biotecnología y nanotecnología: 12 y 13 de noviembre de 2012, Santiago de Chile. 2013

Emergencia y reconstrucción: el antes y después del terremoto y tsunami del 27F en Chile. 2012

Riesgo sistémico y actividad aseguradora. 2012

La historia del seguro en Chile (1810-2010). 2012

Modelo de proyección de carteras de seguros para el ramo de decesos. 2011

Desarrollo comercial del seguro colectivo de dependencia en España. 2010

La mediación de seguros en España: análisis de la Ley 26/2006, de Mediación de Seguros y Reaseguros Privados. 2010

Museo del Seguro. Catálogo. 2010

Diccionario MAPFRE de Seguros. 2008

Teoría de la credibilidad: desarrollo y aplicaciones en primas de seguros y riesgos operacionales. 2008

El seguro de caución: una aproximación práctica. 2007

El seguro de pensiones. 2007

Las cargas del acreedor en el seguro de responsabilidad civil. 2006

Diccionario bilingüe de expresiones y términos de seguros: inglés-español,
español-inglés. 2006

El seguro de riesgos catastróficos: reaseguro tradicional y transferencia alternativa
de riesgos. 2005

La liquidación administrativa de entidades aseguradoras. 2005

INFORMES Y RANKINGS

Desde 1994 se publican anualmente estudios que presentan una panorámica concreta de los mercados aseguradores europeos, de España e Iberoamérica y que pueden consultarse en formato electrónico desde la página Web:
www.fundacionmapfre.org

- Mercado español de seguros
- Mercado asegurador de Iberoamérica
- Ranking de grupos aseguradores europeos
- Ranking de grupos aseguradores iberoamericanos
- La percepción social del seguro en España 2014
- Informe de predicción de la actividad aseguradora en España. 2014
- La internacionalización de la empresa española: riesgos y oportunidades. 2014
- El seguro en la sociedad y la economía españolas. 2013
- Papel del seguro en el desarrollo sostenible. ICEA, 2013
- Emprender en momentos de crisis: riesgos y factores de éxito. 2012
- La percepción social del seguro en España 2012