

Análisis de la evaluación de daños en edificios basada en imágenes de satélite y aéreas en el ámbito de *Copernicus EMS Mapping*

Analysis of building damage assessment based on satellite and aerial imagery in the scope of *Copernicus EMS Mapping*

Raquel Ciriza Labiano,¹ Uxue Donezar-Hoyos,²
M^a Esperanza Amezketa Lizarraga,³ Fermín Ros Elso,⁴
Teresa de Blas Corral,⁵ Agustín Tames Noriega,⁶
Marco Broglia,⁷ Alan Steel,⁸
Iban Amezttoy,⁹ Paola Rufolo¹⁰

Recibido 30 de enero de 2021; aceptado 26 de abril de 2021

RESUMEN

El Servicio de Gestión de Emergencias de Copernicus (*Copernicus EMS* del inglés, *Copernicus Emergency Management Service*) es un programa financiado con fondos públicos de la Unión Europea y coordinado por la Comisión Europea que proporciona a todos los actores involucrados en la gestión de desastres naturales,

¹ Tracasa, España, correo electrónico: rciriza@tracas.es. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2908-8216>

² Tracasa, España, correo electrónico: udonezar@tracasa.es. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5069-9698>

³ Tracasa, España, correo electrónico: eamezqueta@tracasa.es. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0512-4531>

⁴ Tracasa, España, correo electrónico: fros@tracasa.es. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6095-6472>

⁵ Tracasa, España, correo electrónico: tblas@tracasa.es. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3854-4068>

⁶ Tracasa, España, correo electrónico: agustintames@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9271-8284>

⁷ European Commission, Joint Research Centre (JRC), Italia, correo electrónico: Marco.BROGLIA@ec.europa.eu. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5306-6466>

⁸ Uni Systems, Italia, correo electrónico: Alan.STEEL@ext.ec.europa.eu. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0589-6937>

⁹ Seidor, Italia, correo electrónico: Iban.AMEZTOY@ext.ec.europa.eu. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3926-6450>

¹⁰ Fincons group, Italia, correo electrónico: Paola.RUFOL@ext.ec.europa.eu. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8901-5492>

situaciones de emergencia y crisis humanitarias información geoespacial, principalmente basada en imágenes de satélite. Incluye componentes de Alerta temprana y Monitoreo, y de Mapeo con un módulo de Validación encargado de la evaluación de la calidad de los productos y el fomento de su mejora, en el marco del cual se realizó este estudio. Dentro del portafolio de productos de mapeo, los productos de clasificación de daños tienen como objetivo evaluar la intensidad y distribución espacial del daño resultante de un evento en edificios, bloques de viviendas o usos del suelo. Las categorías de daños para edificios y bloques de viviendas se definieron inicialmente con base en la Escala Macrosísmica Europea-1998 (EMS-98, del inglés *European Macroseismic Scale*).

Este artículo muestra la función doble del módulo de validación. Por un lado, el artículo muestra los resultados de la validación de cuatro mapas de daños en edificios realizados por *Copernicus EMS* y por otro analiza la aptitud de la Escala Macrosísmica Europea (EMS-98), concebida para asignar daño *in situ*, para categorizar daño en edificios a partir de distintos tipos de imágenes (imágenes de satélite, imágenes oblicuas y ortofotos). La principal conclusión es que las categorías EMS-98 no se pueden traducir directamente para la evaluación de daños con base en imágenes de satélite y, en su lugar, se podría utilizar un enfoque operativo, en línea con estudios anteriores.

Palabras clave: Copernicus, emergencias, Rapid Mapping, EMS-98, daño en edificios, categorías de daño, gradiente de daño.

ABSTRACT

The Copernicus Emergency Management Service (EMS) is a publicly funded programme of the European Union, coordinated by the European Commission that provides all the actors involved in the management of natural disasters, man-made emergency situations, and humanitarian crises with geospatial information, mainly based on satellite imagery. It includes an Early Warning and Monitoring system and a Mapping component with a Validation module. The latter assesses the quality of EMS products and fosters the improvement of the EMS, in the scope of which this study was carried out. Within the Mapping portfolio, grading products aim to evaluate the intensity and spatial distribution of the damage resulting from an event, assessed for different features, such as settlements, building blocks, transport network or land-uses. Damage categories for settlements and building blocks were initially defined and based on the European Macroseismic Scale-1998 (EMS-98). This article shows the double function of the validation module. On the one hand, this article shows the results of the validation of four building damage maps carried out by Copernicus EMS, on the other, analyses the aptitude of the European Macroseismic Scale (EMS-98), defined to assign damage *in situ*, to categorize damage to buildings from different types of images (satellite images, oblique images and orthophotos). The main conclusion is that the EMS-98 categories cannot be directly interpreted for

damage assessment based on satellite imagery and an operational approach could be used instead, in line with previous studies.

Key words: Copernicus, *emergencies*, Rapid Mapping, EMS-98, *settlements*, *damage grading*, *damage categories*.

1. Introducción

Este apartado presenta, en dos sub-apartados respectivamente, (1) el Servicio de Gestión de Emergencias de Copernicus: qué es, qué componentes tiene y cómo funciona, y (2) los productos de clasificación de daños generados dentro de dicho servicio: cuáles son, cómo se generan y la leyenda que poseen. Adicionalmente, se presenta un breve resumen sobre el tema de este artículo.

1.1. El Servicio Copernicus EMS

El Servicio de Gestión de Emergencias de Copernicus, es un programa de la Unión Europea de financiación pública, coordinado por la Comisión Europea que “provee de información geoespacial precisa y oportuna a todos los actores involucrados en la gestión de emergencias, en desastres bien sean naturales o producidos por el hombre, o en crisis humanitarias” (Copernicus EMS, 2017a). El servicio consta de los componentes de Alerta temprana y Monitoreo y de Mapeo.

El componente de alerta temprana y monitoreo incluye tres sistemas: Sistema Europeo de Alerta ante Inundaciones (*European Flood Awareness System*, EFAS), Sistema Europeo de Información de Incendios Forestales (*European Forest Fire Information System*, EFFIS) y Observatorio Europeo de la Sequía (*European Drought Observatory*, EDO), que proporcionan información de predicción y monitorización de inundaciones, incendios forestales, sequías y sus impactos ecológicos respectivamente, en Europa, Oriente Medio y Norte de África. De los tres, EFAS es el único con acceso restringido, mientras que los demás disponen de visores desde los cuales es posible consultar y descargar información (Copernicus EMS, 2017b). Los tres se extienden a escala global: Sistema Global de Alerta ante Inundaciones (*Global Flood Awareness System*, GloFAS), Sistema Global de Información de Incendios Forestales (*Global Wildfire Information System*, GWIS), y Observatorio Global de la Sequía (*Global Drought Observatory*, GDO).

El componente de mapeo proporciona información geoespacial en dos modos temporales: de Mapeo Rápido (RM, del inglés *Rapid Mapping*) en el rango de las horas o días tras la activación en apoyo de las actividades de gestión de emergencias inmediatamente después de un desastre, y de Mapeo de Riesgos y Recuperación (RRM del inglés, *Risk and Recovery Mapping*) en apoyo de actividades de gestión de desastres no relacionadas con la respuesta inmediata. Cada petición formulada por los Usuarios Autorizados es estudiada por el Centro de Coordinación de Respuesta a Emergencias (ERCC, del inglés *Emergency Response Coordination Centre*) y si es aprobada resulta en una activación. En el marco de ésta, se adquieren principalmente imágenes de satélite y se crea para

las Áreas de Interés (AOI, del inglés *Area of Interest*) definidas por los usuarios la información de crisis, que puede ser de diferente naturaleza, tales como categorización de daños a edificios, delimitación de inundación, o delimitación de zona quemada, etc. El componente de mapeo incluye también un módulo de validación, *Copernicus EMS Validation Service* o *Copernicus EMSV* que, en el marco de la mejora continua del servicio, valida productos, investiga datos y métodos que se podrían usar en la creación de productos y recopila las opiniones de los usuarios para detectar puntos de mejora (Copernicus EMS, 2018).

El componente de mapeo de *Copernicus EMS* se activa bajo demanda de un Usuario Autorizado incluido en una de las siguientes categorías: (I) Puntos de Enlace Nacionales (del inglés *National Focal Points*), que son las autoridades de Protección Civil de los Estados Miembros; (II) Servicios de la Unión Europea como la Dirección General de Protección Civil y Ayuda Humanitaria (DG ECHO, del inglés *Directorate General for European Civil Protection and Humanitarian Aid Operations*) o la Dirección General de Industria de Defensa y Espacio (DEFIS, del inglés *Directorate General for Defence Industry and Space*); y (III) El Servicio Europeo para la Acción Externa (EEAS, del inglés *European External Action Service*). En la DG ECHO, el ERCC actúa como punto de enlace de otras entidades, por ejemplo, de agencias de las Naciones Unidas, ONGs internacionales, y el Banco Mundial, para solicitar activaciones de *Copernicus EMS* en su nombre.

Finalmente, merece la pena resaltar que existen sistemas alternativos a Copernicus EMS que generan mapas de crisis para la ayuda en la gestión de emergencias, como *International Charter Space and Major Disasters*, *United Nations Platform for Space-based Information for Disaster Management and Emergency Response*, *Sentinel Asia*, *SERVIR* (Boccardo, 2013), *German Center for satellite-based crisis Information*, etc. (Cotrufo et al., 2018).

1.2. Los productos de clasificación de daños dentro de Copernicus EMS

Dentro del portafolio de productos RM y RRM, los productos de clasificación de daños, conocidos como *Grading Maps*, tienen como objetivo evaluar la intensidad y distribución espacial del daño resultante de un evento en edificios, bloques de viviendas o usos del suelo. Pueden basarse, entre otros, en la fotointerpretación de imágenes o en la implementación de umbrales de índices de vegetación en el caso de las categorías de clasificación de incendios. El método más habitualmente usado para asignar categorías de daños a edificios o a manzanas de edificios se basa en la fotointerpretación de imágenes tanto aéreas como satelitales de muy alta resolución (VHR, del inglés *Very High Resolution*). Para el caso analizado en este artículo, las categorías de daños se han basado en la Escala Macrosísmica Europea-1998 (EMS-98) (Grünthal & Lorenzo Martín, 2009) que describe la escala de daños para edificios tras un terremoto. Esta escala se basa en el análisis general *in situ* de los edificios, teniendo en cuenta los daños a la estructura, tejado y fachada, y partiendo de una información sobre el estado del edificio previo al evento. Las Figuras 1a y 1b muestran las diferentes categorías de daños considerados por la EMS-98 junto con una descripción gráfica de los mismos.



Grado 1: Sin daños a daños leves (sin daño estructural, daño no estructural leve)

Grietas muy delgadas en muy pocos muros. Caída de pequeños pedazos de enlucido o enfoscado. Caída de rocas sueltas desde la parte alta de edificios en muy pocos casos.



Grado 2: Daños moderados (daño estructural leve, daño no estructural moderado)

Grietas en muchos muros. Caída de pedazos grandes de guarnecido. Colapso parcial de chimeneas.



Grado 3: Daños sustanciales a severos (daño estructural moderado, daño no estructural severo)

Grietas largas y extensas en casi todos los muros. Caída de tejas. Fractura de las chimeneas en la línea del techo; fallo de los elementos individuales no estructurales (particiones, frontones).



Grado 4: Daños muy severos , (daño estructural severo, daño no estructural muy severo)

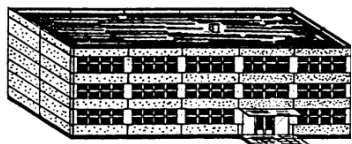
Fallo serio de los muros; fallo estructural parcial de techos y pisos.



Grado 5: Destrucción (daño estructural muy severo)

Colapso total o casi total.

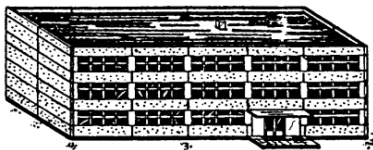
Figura 1a. Categorías y descripción de daños en edificios de mampostería según la EMS-98.
Fuente: Grünthal & Lorenzo Martín, 2009.



Grado 1: Sin daños a daños leve (sin daño estructural, daño no estructural leve)

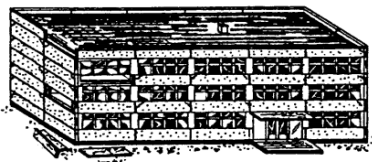
Grietas delgadas en el guarnecido sobre elementos de la estructura o en la base de los muros.

Grietas delgadas en particiones y tabiques.



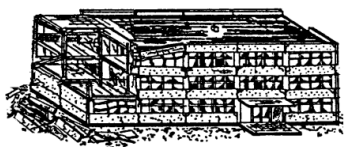
Grado 2: Daños moderados (daño estructural leve, daño no estructural moderado)

Grietas en columnas y vigas y en muros estructurales. Grietas en particiones y tabiques; caída de revestimiento frágil y guarnecido. Caída de mortero en las uniones de paneles de muros.



Grado 3: Daños sustanciales a severos (daño estructural moderado, daño no estructural severo)

Grietas en columnas y uniones entre columnas y vigas de la estructura en la base y en las uniones de muros acoplados. Desconchamiento del revestimiento de hormigón, torcedura de varillas de refuerzo. Grandes grietas en muros de particiones y en tabiques, fallo de tabiques individuales.



Grado 4: Daños muy severos (daño estructural severo, daño no estructural muy severo)

Grandes grietas en elementos estructurales con fallo por compresión de hormigón y fractura de barras corrugadas; Fallos en la junta de vigas reforzadas; inclinación de columnas. Colapso de algunas columnas o de un único piso superior.



Grado 5: Destrucción (daño estructural muy severo)

Colapso de la planta baja o de partes de edificios (por ejemplo alas).

Figura 1b. Categorías y descripción de daños en edificios de hormigón armado según la EMS-98.

Fuente: Grünthal & Lorenzo Martín, 2009.

A pesar de que los productos *Copernicus EMS* no tienen como objetivo dar una asignación de daños basada en trabajo de campo, las categorías descritas en la EMS-98 fueron adaptadas e incluidas en el Manual de Usuarios de Productos (PUM, del inglés *Product User Manual*) (Dorati *et al.*, 2018) como una primera aproximación para la asignación de daños, estableciendo las categorías incluidas en la Tabla 1.

El servicio *Copernicus EMS* introdujo una categoría no contemplada, *Posibles daños*, para incluir en ella aquellos casos en los que las limitaciones de la fotointerpretación de las imágenes de satélite (fuente habitual de los productos de clasificación de daño) no permitieran asignar una categoría de daño con un alto nivel de confianza.

A estas categorías, dicho servicio añade la categoría *No analizado* para aquellos edificios a los que no se les puede asignar daño porque las características de la imagen usada no lo permitan, bien sea debido a la cobertura nubosa, bien a ángulos de adquisición muy altos.

Tabla 1. Comparación de clases EMS-98 y *Copernicus EMS* para la asignación de daños aparentemente visibles

Clases Copernicus EMS	Clases EMS-98
No daño	Grado 0: No daño.
Posibles daños	Para aquellos casos en los que la confianza en la interpretación de los daños es baja (por ejemplo debido a la calidad de la imagen).
Daños insignificantes o leves*	Grado 1: Daños insignificantes o leves. No hay daño estructural, o hay ligeros daños no estructurales.
Daños moderados	Grado 2: Daño moderado. Daño estructural leve o daño no estructural moderado.
Daños graves	Grado 4: Daños muy graves. Daño estructural grave o daños no estructurales muy graves.
Destruído	Grado 5: Destrucción. Daños estructurales muy graves.

* Aunque el documento *Mapping Guidelines* aplicable en el momento de ejecución de la EMSR177 indicaba que esta categoría debía ser Posibles daños los productos analizados incluían la categoría *Daños insignificantes o leves*, Broglia *et al.*, 2013.

Corbane *et al.* (2011a y 2011b), Lemoine *et al.* (2013), y Cotrufo *et al.* (2018) son ejemplos de trabajos que analizan evaluaciones de daños a edificios basadas en análisis de imágenes post-evento utilizando datos de referencia de múltiples fuentes.

El trabajo que se presenta en este artículo muestra la función múltiple de *Copernicus EMSV*: validación y mejora continua de *Copernicus EMS*. El artículo muestra los resultados de la validación de cuatro mapas de daños en edificios

realizados por *RM Copernicus EMS* por un lado, y el análisis de la implementación de la EMS-98 en la creación de productos de clasificación de daños, así como la influencia de la fuente de datos en la asignación de daños a edificios por el otro. Para ello, se analizaron diferentes fuentes de datos disponibles para discriminar por fotointerpretación las diferentes categorías de daño con el objetivo de analizar las posibilidades que cada una de las fuentes de datos ofrece para crear clasificaciones de daños, tal y como estaban definidas en el portafolio de productos de *Copernicus EMS* (Tabla 1).

Por último, y con el objetivo de analizar la subjetividad en la fotointerpretación de las categorías intermedias de daño, las validaciones se llevaron a cabo considerando las cinco categorías de daño originales de los productos y usando solamente tres categorías de daño. Para ellos se agruparon las categorías originales, *Daños insignificantes o leves*, *Daños moderados* y *Daños muy graves*, en una única categoría, *Dañado*.

2. Material y método

Este apartado presenta tres sub-apartados en los que se muestra (1) el área de estudio, (2) el material utilizado (fuentes de datos), y (3) el método utilizado.

2.1. Área de estudio

El área analizada la conforman 157 edificios de dos núcleos urbanos, Accumoli y Arquata del Tronto, afectados por el terremoto de 2016 en el centro de Italia (INGV, 2016), que fueron analizados en el marco de una activación de *Copernicus EMS Rapid Mapping*, la EMSR177 (Copernicus EMS, 2016).

La Tabla 2 y la Figura 2 muestran el número de edificios considerados en el estudio para cada AOI y su distribución espacial.

Tabla 2. Área de estudio y productos analizados

AOI	Núm. de edificios	Núm. de productos EMS analizados	Fuente de datos para los productos*
01 Accumoli	78	2	Imagen de satélite Ortofoto
02 Arquata dl Tronto	79	2	Imagen de satélite Ortofoto
Total	157	4	—

* Véase Tabla 3 para más información sobre las fuentes de datos utilizadas.

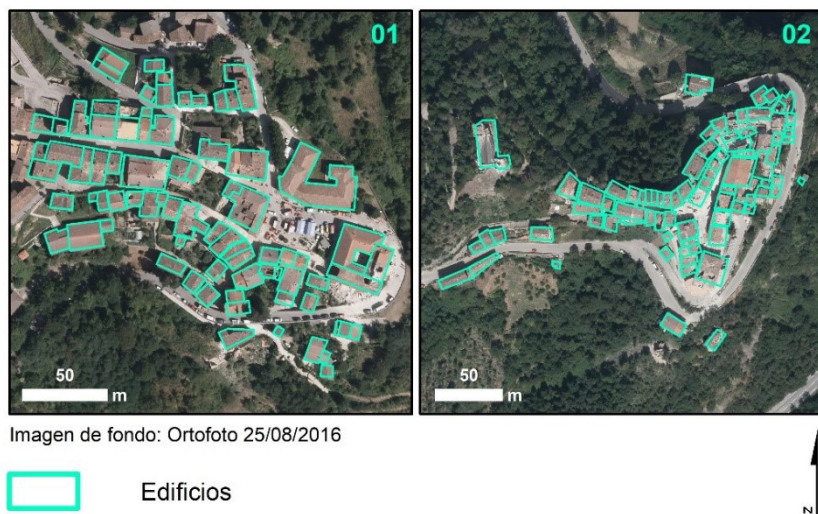


Figura 2. Edificios considerados en el estudio.

2.2. Material

Este sub-apartado presenta las fuentes de datos utilizadas en el trabajo, diferenciando entre información vectorial y raster.

Información vectorial

Se validan un total de cuatro productos (*Grading maps*, Tabla 2) realizados en dos AOIs en el marco de una activación de *Copernicus EMS Rapid Mapping*, la EMSR177 (*Copernicus EMS*, 2016), en respuesta a un terremoto de magnitud 6 en la escala Richter ocurrido el 24 de agosto de 2016 en Italia (INGV, 2016), que afectó a las regiones del Lazio, Abruzzo y Umbría. Dicha activación incluyó en origen el estudio de 33 AOIs y la creación de productos de asignación de daños basados en imágenes de diferentes características, entre ellas una imagen de satélite VHR, WorldView-2, y una imagen aérea, captadas el mismo día, el 25 de agosto de 2016. Tanto la imagen de satélite como la aérea cubren toda la zona y sus características están incluidas en la Tabla 3. En el presente estudio no se analizaron todos los edificios de cada uno de los núcleos, sino que el análisis se restringió a los edificios muestreados en el trabajo de campo, ver el punto 2.3 del documento.

La asignación de daños mostrada en los productos *Copernicus EMS* se realizó sobre la información relacionada con edificios disponible en *Open Street Map* (OSM) (OpenStreetMap contributors, 2015). Estos datos se usaron en este estudio sin editar los posibles errores en los edificios del OSM, ya que el objetivo no era estudiar la adecuación de los edificios incluidos en el OSM respecto a la realidad, sino los daños asignados a esos edificios.

Información raster

El estudio incluyó el uso de imágenes de satélite, aéreas, oblicuas y fotos e informes hechos en campo. La Tabla 3 incluye las características de los datos que se consideraron en el estudio, así como la fuente que los proporcionó.

Tabla 3. Fuentes de datos consideradas en el estudio

<i>Dato</i>	<i>Adquisición respecto al evento</i>	<i>Fecha de adquisición (hora en UTC)</i>	<i>Resolución espacial (m)</i>	<i>Fuente</i>
Ortofoto	Pre-evento	2013-2014	0.4	CONSORZIO TeA (formado por e-geos S.p.A. – CGR S.p.A. – Aerodata Italia sr
Ortofoto		25/08/2016 (10:00)	0.1	Compagnia Generale Ripreseareee, S.P.A. (CGR)
WorldView-2	Pre-evento	25/08/2016 (09:45)	0.5	© Digital Globe, Inc. 2016 proporcionado bajo COPERNICUS por la Unión Europea, ESA y <i>European Space Imaging</i>
Ortoimágenes e imágenes oblicuas		26/08/2016	No aplica	Blom

La ortofoto pre-evento se usó como base tanto para la creación de los productos *Copernicus EMS* como para la creación de las capas en el marco de este estudio.

La ortofoto y la imagen WorldView-2 post-evento adquiridas el 25 de agosto de 2016 cubren los dos AOIs y se usaron para la creación de los productos. La imagen presenta aproximadamente un 10% de cobertura nubosa, que afecta totalmente a uno de los dos AOIs, 02 Arquata del Tronto, impidiendo en él la asignación de daños basada en imagen de satélite. El ángulo de adquisición de la imagen WorldView-2 es de aproximadamente 26º para 01 Accumoli, lo que provoca distorsiones que dificultan la fotointerpretación y asignación de daños.

Las ortoimágenes e imágenes oblicuas fueron adquiridas el 26 de agosto de 2016 por una empresa privada que facilitó el acceso temporal a las mismas a través de un visor, acceso que actualmente no está disponible. Este visor permitía la navegación y visualización de imágenes oblicuas adquiridas desde diferentes puntos de vista, permitiendo ver los posibles daños a edificios desde perspectivas distintas, lo que aumentó el grado de fiabilidad a la hora de clasificar los daños. La Figura 3 muestra un ejemplo tomado del AOI 01, con

la imagen post-evento cenital en el centro y las imágenes oblicuas adquiridas desde los cuatro puntos cardinales en las otras cuatro ventanas. Nótese que el punto cardinal incluido en la figura indica aquel hacia el cual se tomó la foto, significando que la imagen marcada como norte, N, es una foto que muestra las fachadas de los edificios orientadas hacia el sur. El visor permitía hacer búsquedas y acercar o alejar la vista, aunque no permitía cargar la capa de edificios ni localizar la posición de las fotografías con respecto a los mismos. Por esa razón, la equivalencia entre lo visible en las fotos y los edificios incluidos en la muestra debió hacerse de forma manual. En ambos AOIs se contó con imágenes cenitales y orientadas a los cuatro puntos cardinales para todos los edificios analizados.

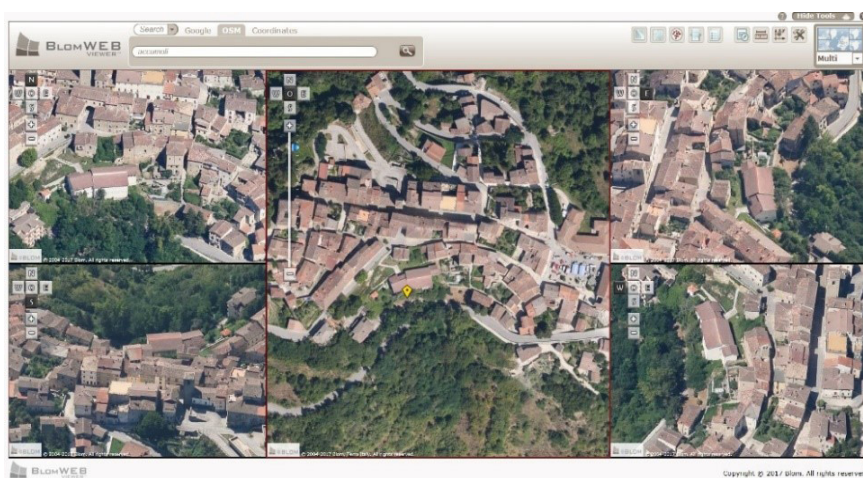


Figura 3. Diferentes perspectivas de los edificios disponibles en el visor.
Fuente: Blom Web Viewer, 2011.

2.3. Método

Este sub-apartado presenta, en primer lugar, como se crearon los datos y posteriormente como se compararon dichos datos y para qué. La Figura 4 resume los siete tipos de datos creados a partir de las fuentes mencionadas en el sub-apartado anterior, y muestra las comparaciones realizadas para (1) validar los productos *Copernicus EMS* (2) y analizar la influencia de la fuente de datos en la asignación de daños.

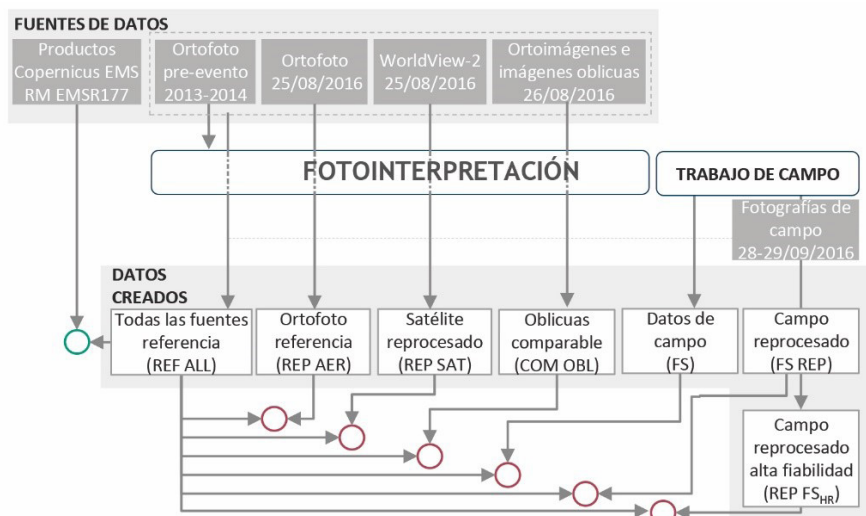


Figura 4. Fuentes de datos, datos creados y comparaciones realizadas para validar los productos *Copernicus EMS* (marcado con un círculo verde) y analizar la influencia de la fuente de datos en la asignación de daños siguiendo la escala EMS-98 (marcado con un círculo rojo).

Creación de datos

Se crearon un total de siete capas con base en diferentes tipos de información. La capa *Datos de campo* (FS) se generó acorde a las definiciones de la EMS-98 incluidas en la Tabla 1, y con base en los daños observados *in situ* durante el trabajo de campo realizado por el equipo de *Copernicus EMSV*, los días 28 y 29 de septiembre de 2016. La ortofoto post-evento fue ocasionalmente usada para poder comprobar los daños visibles sólo en la vista cenital. Para cada edificio muestreado, se tomaron tantas fotos como se consideró necesario para justificar la categoría de daño asignada, especialmente en casos en los que se asignaron categorías bajas de daño, pero en cualquier modo intentando tener fotos de cada una de las fachadas de los edificios.

Durante el trabajo en gabinete, se revisaron las asignaciones y se eliminaron de la muestra aquellos edificios cuya asignación de daño no concordaba con las fotos tomadas en campo o que presentaban diferencias notables entre lo visible en la ortofoto post-evento y lo visible en las fotos tomadas en campo, como por ejemplo aquellos casos en los que un determinado edificio se demolió en el intervalo entre el terremoto y el trabajo de campo por daños estructurales graves. La capa *Campo reprocesado* (FS REP) se realizó mediante el reanálisis de daños por parte de técnicos que no habían participado en el trabajo de campo con base en las fotos adquiridas en campo. Por último, *Campo reprocesado* alta fiabilidad, llamado REP FS_{HR}, se creó con el fin de investigar

las limitaciones del trabajo de campo en la asignación de daños en aquellos edificios que tienen difícil acceso. Esta última capa de información se basó en la capa *Campo reprocesado*, de la que se eliminaron los edificios que durante la visita a campo fueron marcados como “Baja fiabilidad” debido a las dificultades para la asignación del daño o para acceder a los mismos.

Por otro lado, se crearon tres capas de asignación de daños con base en las diferentes fuentes de datos mostrados en la Tabla 3, denominadas de *reprocesado* o *comparables*. Los datos reprocesados (*Satélite reprocesado*, REP SAT y *Ortofoto reprocesado*, REP AER), se refieren a aquellos datos creados usando la misma fuente de datos usada para realizar los productos *Copernicus EMS*. El dato tipo *comparable* (*Oblicuas comparable*, COM OBL), se refiere a una asignación de daños creada sobre una fuente de datos de características y calidad similares a la de los datos usados para crear los productos bajo validación. Estas tres capas se crearon por fotointerpretación de la información disponible, trabajando técnicos con amplia experiencia simultáneamente de forma independiente. Previo a la fotointerpretación, se establecieron criterios para asignar daños según el tipo de dato, es decir, que con base en cada uno de los datos se buscaron ejemplos de cada una de las categorías de daño. De esta forma, se evitó, en la medida de lo posible, que la asignación de daños de cada técnico se viera influida por la asignación de los demás, o que la experiencia adquirida en la creación de una capa influyera en otra.

Por último, se realizó la capa *Todas las fuentes referencia*, designada REF ALL, usando todos los datos disponibles en la asignación de daños de cada uno de los edificios considerados. Esta capa puede considerarse de *referencia* en la validación de los productos *Copernicus EMS* analizados en este artículo por estar creada con base en datos de calidad superior a los usados por el servicio de mapeo. A la hora de asignar los daños a los edificios en esta capa, se incluyó información respecto a la fuente de datos que había sido necesaria consultar para poder hacer esa asignación. El objetivo era poder luego analizar qué fuente de datos aportaba más o menos información en la asignación de cada una de las categorías de daño.

Comparación de datos

Los productos *Copernicus EMS* bajo validación y las capas creadas se compararon contra la capa de referencia REF ALL por medio de matrices de confusión. En cada cruce, se calcularon los porcentajes de omisión y comisión por categoría, la exactitud global y el coeficiente kappa (Chuvieco, 2002). La validación se realizó de acuerdo al protocolo vigente en momento de ejecución del presente análisis (Broglia *et al.*, 2010). En la Figura 4 se muestran los cruces realizados. Con un círculo verde se identifica la comparación que permite la validación de los productos *Copernicus EMS*, mientras que con un círculo rojo se marcan las comparaciones realizadas para analizar la influencia de la fuente de datos en la asignación de daños siguiendo la escala EMS-98.

De forma complementaria, se analizó la subjetividad en la fotointerpretación de las categorías intermedias de daño. La falta de una guía de fotointerpretación

en el marco del componente de mapeo que definiera las categorías descritas en la Tabla 1 con base en imágenes de satélite, hacía presuponer un cierto grado de subjetividad en la asignación de daño, lo que podía resultar en discrepancias debidas a diferencias de criterio de los foto-intérpretes. Para ello se estudió el efecto que producía en los resultados de las validaciones considerar las cinco categorías de daño originales de los productos o agrupándolas en tres. Este estudio se hizo sin volver a clasificar los edificios, para ellos se agruparon las categorías originales, *Daños insignificantes o leves*, *Daños moderados* y *Daños muy graves*, en una única categoría, *Dañado* (Tabla 4).

Tabla 4. Reclasificación de las cinco categorías originales en tres categorías de daño

<i>Clasificación cinco categorías de daño</i>	<i>Clasificación tres categorías de daño</i>
<i>No daño (ND)</i>	<i>No daño (ND)</i>
<i>Daños insignificantes o leves (DIL)</i>	
<i>Daños moderados (DM)</i>	<i>Dañado (D)</i>
<i>Daños muy graves (DG)</i>	
<i>Destruído (DS)</i>	<i>Destruído (DS)</i>

Para aquellos casos en los que la asignación de daños no era posible debido a la cobertura nubosa de la imagen de satélite, se usó la categoría *No analizado* (Na).

3. Resultados

Este apartado muestra, en los dos siguiente sub-apartados, los principales resultados obtenidos en: (1) la validación de los productos Copernicus EMS (comparación de EMS SAT y EMS AER vs. REF ALL) y (2) el análisis de la influencia de la fuente de datos en la asignación de daños siguiendo la escala EMS-98, concretamente en la validación de (i) las capas de reprocesado REP SAT y REP AER, (ii) la capa comparable COM OBL, (iii) las capas creadas con base en el trabajo de campo (FS, REP FS, y REP FS_{HR}) en todos los casos respecto a REF ALL.

3.1. Resultados de la validación de los productos Copernicus EMS

La Tabla 5 y la Tabla 6 muestran los resultados de las matrices de confusión de los productos *Copernicus EMS* contra la capa de referencia basada en todas las fuentes de datos, considerando cinco o tres categorías de daño.

Tabla 5. Resultados de la validación de los productos *Copernicus EMS* creados con base en imagen de satélite (EMS SAT) y ortofoto post-evento (EMS AER) contra la referencia REF ALL considerando cinco categorías de daño

REF ALL	EMS SAT				EMS AER				
	C%	O%	OA%	k	C%	O%	OA%	k	
01 Accumoli	DS	-	-	15	0.01	100	-	28	0.11
	DG	0	97			0	70		
	DM	-	100			100	100		
	DIL	-	100			95	94		
	ND	86	0			79	0		
02 Arquata del Tronto	DS	-	100	6	0.01	0	17	18	0.09
	DG	0	98			25	94		
	DM	-	100			100	100		
	DIL	-	100			85	83		
	ND	95	0			93	0		
	Na	100	-			No aplica			

C=error de comisión; O= error de omisión; OA= exactitud global; κ= coeficiente kappa.

Tabla 6. Resultados de la validación de los productos *Copernicus EMS* creados con base en imagen de satélite (EMS SAT) y ortofoto post-evento (EMS AER) contra la referencia REF ALL considerando tres categorías de daño

REF ALL	EMS SAT					EMS AER			
	C%	O%	OA%	k	C%	O%	OA%	k	
01 Accumoli	DS	-	-	15	0.00	100	-	45	0.14
	D	0	99			0	64		
	ND	86	0			79	0		
02 Arquata del Tronto	DS	-	100	6	0.00	0	17	34	0.12
	D	0	99			5	74		
	ND	95	0			93	0		
	Na	100	-			No aplica			

C=error de comisión; O= error de omisión; OA= exactitud global; κ= coeficiente kappa.

3.2. Resultados del análisis de la influencia de la fuente de datos en la asignación de daños siguiendo la escala EMS-98

3.2.1. Resultados de la validación de las capas de reprocesado REP SAT y REP AER

La Tabla 7 y la Tabla 8 muestran los resultados de las matrices de confusión de las capas creadas usando los datos con base en los cuales se crearon los productos *Copernicus EMS*, la *WorldView-2* y ortofoto adquiridas el 25 de agosto de 2016, contra la capa de referencia basada en todas las fuentes de datos, considerando cinco o tres categorías de daño. Nótese que para el AOI 02 no se pudo hacer una asignación de daños con base en imagen de satélite debido a la cobertura nubosa.

Tabla 7. Resultados de la validación de las capas reprocesadas creadas con base en imagen de satélite (REP SAT) y con base en ortofoto post-evento (REP AER) contra la referencia REF ALL considerando cinco categorías de daño

REF ALL		REP SAT				REP AER			
		C%	O%	OA%	k	C%	O%	OA%	k
01 Accumoli	DS	-	-	24	0.09	100	-	35	0.19
	DG	0	79			0	58		
	DM	50	94			75	88		
	DIL	-	100			-	100		
	ND	84	0			80	0		
02 Arquata del Tronto	DS	-	100	0	0.00	14	0	46	0.23
	DG	-	100			21	46		
	DM	-	100			100	100		
	DIL	-	100			-	100		
	ND	-	100			88	0		
	Na	100	-			No aplica			

C=error de comisión; O= error de omisión; OA= exactitud global; κ= coeficiente kappa.

Tabla 8. Resultados de la validación de las capas reprocesadas creadas con base en imagen de satélite (REP SAT) y ortofoto post-evento (REP AER) contra la referencia REF ALL considerando tres categorías de daño

REF ALL	EMS SAT					EMS AER			
		C%	O%	OA%	k	C%	O%	OA%	k
01 Accumoli	DS	-	-	26	0.04	100	-	42	0.12
	D	0	87			0	67		
	ND	84	0			80	0		
02 Arquata del Tronto	DS	-	100	0	0.00	14	0	62	0.30
	D	-	100			0	43		
	ND	-	100			88	0		
	Na	100	-			No aplica			

C=error de comisión; O= error de omisión; OA= exactitud global; κ= coeficiente kappa.

3.2.2. Resultados de la validación de la capa comparable COM OBL

La Tabla 9 y la Tabla 10 muestran el resultado de la comparación de la capa creada con las imágenes aéreas visualizadas a través del visor y la capa de referencia basada en todas las fuentes de datos, considerando cinco o tres categorías de daño.

Tabla 9. Resultado de la validación de la capa comparable creada con base en imágenes oblicuas (COM OBL) contra la REF ALL para cinco categorías de daño

REF ALL		COM OBL			
		C%	O%	OA%	k
01 Accumoli	DS	100	-	42	0.26
	DG	10	45		
	DM	75	81		
	DIL	50	94		
	ND	74	0		
02 Arquata del Tronto	DS	14	0	47	0.27
	DG	17	50		
	DM	89	89		
	DIL	71	83		
	ND	85	0		

C=error de comisión; O= error de omisión; OA= exactitud global; κ= coeficiente kappa.

Tabla 10. Resultado de la validación de la capa comparable creada con base en imágenes oblicuas (COM OBL) contra REF ALL para tres categorías de daño

<i>REF ALL</i>		<i>COM OBL</i>			
		<i>C%</i>	<i>O%</i>	<i>OA%</i>	<i>k</i>
01 Accumoli	DS	100	-	58	0.23
	D	0	49		
	ND	74	0		
02 Arquata del Tronto	DS	14	0	70	0.37
	D	0	35		
	ND	85	0		

C=error de comisión; O= error de omisión; OA= exactitud global; κ= coeficiente kappa.

3.2.3. Resultados de la validación de las capas creadas con base en el trabajo de campo

La Tabla 11 y la Tabla 12 muestran los resultados de las matrices de confusión de las capas creadas usando los datos del trabajo de campo realizado los días 28 y 29 de septiembre de 2016 contra la capa de referencia basada en todas las fuentes de datos, considerando cinco o tres categorías de daño.

Tabla 11. Resultados de la validación de las capas creadas usando los datos del trabajo de campo (FS, REP FS y REP FS_{HR}) contra la referencia REF ALL, considerando cinco categorías de daño

REF ALL	FS				REP FS				REP FS _{HR}				
	C%	O%	OA%	κ	C%	O%	OA%	κ	C%	O%	OA%	κ	
01	DS	-	-	91	0.87	100	-	85	0.79	100	-	84	0.78
	DG	3	6			0	24			0	25		
	DM	25	6			36	0			41	0		
	DIL	7	22			7	22			7	24		
	ND	0	0			8	0			8	0		
02	DS	0	0	95	0.91	0	0	85	0.76	0	0	87	0.79
	DG	6	2			0	15			0	11		
	DM	0	22			50	33			45	33		
	DIL	8	8			29	17			23	17		
	ND	0	0			33	0			33	0		

C=error de comisión; O= error de omisión; OA= exactitud global; κ= coeficiente kappa.

Tabla 12. Resultados de la validación de las capas creadas usando los datos del trabajo de campo (FS, REP FS y REP FS_{HR}) contra la referencia REF ALL, considerando tres categorías de daño

REF ALL	FS					REP FS				REP FS _{HR}			
	C%	O%	OA%	κ		C%	O%	OA%	κ	C%	O%	OA%	κ
01	DS	-	-			100	-			100	-		
	D	3	6	100	1.00	0	3	97	0.9	0	3	97	0.9
	ND	0	0			8	0			8	0		
02	DS	0	0			0	0			0	0		
	D	6	2	100	1.00	0	3	97	0.90	0	3	97	0.90
	ND	0	0			33	0			33	0		

C=error de comisión; O= error de omisión; OA= exactitud global; κ= coeficiente kappa.

4. Discusión de resultados

4.1. Análisis de resultados de las matrices de confusión

Añadir la fuente de datos necesaria para la asignación de daño a cada uno de los edificios incluidos en la capa *Todas las fuentes referencia* permitió analizar las posibilidades de asignación de cada categoría de daño según la fuente. De este análisis de la fuente de datos necesaria para la asignación de cada categoría, se deduce que la categoría *Destruído* es la más estable, ya que es la que obtiene mejores resultados en todos los casos de las matrices de confusión. A pesar de que los resultados están influenciados por el hecho de que para uno de los AOs no se pudo hacer asignación de daños, debido a la cobertura nubosa.

Por el contrario, es llamativo que en todos los casos, menos en las validaciones de los datos de campo la categoría *No daño*, presente errores de comisión altos, indicando una sobreestimación de dicha categoría cuando la fuente de datos usada para crear la información muestra sólo la vista cenital o el estado de los edificios en la distancia. Este resultado indica que el daño sólo se debería poder descartar cuando exista una fuente de datos que realmente permita descartar completamente los daños al ofrecer diferentes perspectivas de cada edificio, así como fotografías tomadas de cerca que permiten ver cualquier daño por mínimo que sea.

Habría que tener en cuenta, sin embargo, que el trabajo de campo no incluyó la visita al interior de las casas, ya que se consideró que en el marco del servicio de mapeo de *Copernicus EMS* no tiene cabida una asignación de daños a esa escala. Otras categorías de daño intermedio, y especialmente las categorías de *Daños insignificantes o leves* y *Daños moderados*, presentan también altas discrepancias, bien sea por sobreestimación, bien por subestimación.

Estos resultados indican que su asignación con base en imágenes de satélite u ortofotos implica cierta subjetividad, incluso después de haber creado guías de fotointerpretación. Además, en el caso de la categoría de *Daños insignificantes o leves* estos resultados probablemente se deban a que los criterios seguidos para evaluarlo no son visibles desde un punto de vista cenital (Tabla 1). Lo mismo ocurre con la categoría de *Daños moderados*, aunque en ese caso algunos de los criterios que lo definen sean visibles en fotografías aéreas.

Por último, cabe señalar el mayor peso de los datos de campo en la creación de la capa *Todas las fuentes referencia*. A pesar de que se dieron casos en los que la asignación del daño de un edificio no se pudo basar en los datos de campo, por inaccesibilidad durante la visita a campo, o porque los daños sólo fueran visibles desde un punto de vista cenital, en general la asignación de las categorías de daño fue influida por los datos de campo.

El aumento del grado acuerdo de *Reprocesado satélite* con respecto al obtenido de la validación de los productos *Copernicus EMS*, un 15% tanto si se consideran cinco como si se consideran tres categorías, es debido a las diferencias en las condiciones de producción. La mayor disponibilidad de tiempo por parte del servicio de validación para la elaboración de los datos y crear guías de fotointerpretación de daños adaptadas al caso concreto de análisis se traduce generalmente en una mayor calidad de los mismo.

La validación de los datos *Ortofoto reprocesado* arroja un amplio rango de valores de exactitud global. Los coeficientes kappa varían desde pobre en 01 Accumoli a débil en 02 Arquata del Tronto. Esto es debido a la dificultad de asignación de las categorías más bajas de daño y de identificar correctamente los edificios no dañados, lo cual no permite reducir la omisión de los primeros y la comisión de éstos últimos.

Las imágenes oblicuas utilizadas para la creación de la capa *Oblicua comparable* fueron útiles para detectar los edificios clasificados en las categorías *Destruído* y *Daños graves*. Sin embargo, su utilidad para asignar las categorías *Daños moderados* y *Daños insignificantes o leves* fue residual. Se detectaron diferencias en los edificios clasificados dentro de la categoría *Daños graves* debido a la naturaleza de la información provista por las imágenes oblicuas y la ortofoto, lateral o cenital.

A pesar de que se creó una guía de fotointerpretación para asegurar la comparabilidad de los datos y la coherencia de los datos creados en el estudio, la fotointerpretación *per se* implica un cierto grado de subjetividad. Esto provoca que la evaluación de daños en los datos *Ortofoto reprocesado* y *Oblicua comparable* no coincidan completamente con la asignación en el dato *Todas las fuentes referencia*.

Los datos de campo fueron fundamentales a la hora de asignar con certeza la categoría *No daño*, ya que no es factible descartar totalmente la existencia de daños hasta que el edificio es analizado con información detallada a nivel del suelo. Esos datos fueron también básicos para asignar la categoría de *Daños insignificantes o leves*, ya que los daños relacionados con esa categoría incluyen “grietas finas o caída de pequeños pedazos”, que necesita de un detalle en los

datos de entrada que sólo pueden adquirirse a nivel del suelo. El valor agregado de los datos de campo disminuye en la evaluación de las categorías más altas de daño, ya que estos niveles de daño también son detectados por el resto de los datos de entrada.

Las discrepancias reflejadas en las validaciones en las que analizaron cualquiera de las tres capas creadas a partir de los datos de campo se deben principalmente a la migración entre las tres categorías de daño que se agrupan al pasar de cinco a tres categorías.

4.2. Análisis de la evolución de la exactitud global y el coeficiente kappa según la fuente de datos

La exactitud global y los coeficientes kappa aumentaron al considerar fuentes de datos que ofrecen información más detallada, tanto en las validaciones de cinco categorías como en las de tres. El nivel de acuerdo de las diferentes validaciones que se realizaron varía desde un coeficiente kappa muy pobre de 0.00 (Altman, 2020) para validaciones de capas creadas sobre la imagen satelital post-evento, hasta un nivel total de concordancia con kappa de 1.00 de los datos de campo considerando tres categorías de daño. Los desacuerdos se deben principalmente a la migración entre categorías que reflejan el daño en la clasificación de cinco categorías, y desaparecen al considerar solamente tres.

Sólo los resultados de la validación de datos creados a partir de imagen de satélite no mejoran al pasar de cinco a tres categorías, ya que las migraciones de estos datos ocurren en edificios clasificados como *No daño*. La comparación entre los resultados para los productos *Copernicus EMS* y los datos reprocesados parece indicar diferentes criterios de asignación de daños.

La Figura 5 muestra la tendencia de la exactitud global y los valores del coeficiente kappa según los datos de entrada utilizados y el número de categorías consideradas para ambos AOIs, 01 Accumoli (Ac) y 02 Arquata del Tronto (Ar). Las capas basadas en imagen de satélite mostraron un nivel deficiente de acuerdo; las capas con base en ortofoto o con base en imágenes aéreas (tanto oblicuas como cenitales) variaron de un nivel de acuerdo deficiente a uno regular para las clasificaciones considerando cinco o tres categorías. Sólo los datos creados sobre los datos del estudio de campo lograron niveles de acuerdo buenos o muy buenos.

Tal y como muestran las tablas con los resultados de la validación y la Figura 5, las clasificaciones más precisas son las que se basan en los datos del estudio de campo, alcanzando una exactitud global superior al 85% y 97% para las validaciones realizadas considerando cinco y tres categorías respectivamente. Los coeficientes kappa para la validación de estos datos varían de 0,76 a 1,00, lo que indica desde un buen acuerdo hasta un muy buen nivel de acuerdo. Hay que tener en cuenta a la hora de analizar estos resultados, que, tal y como se ha dicho, en la creación de la capa *Todas las fuentes referencia* tuvieron más peso los datos de campo.

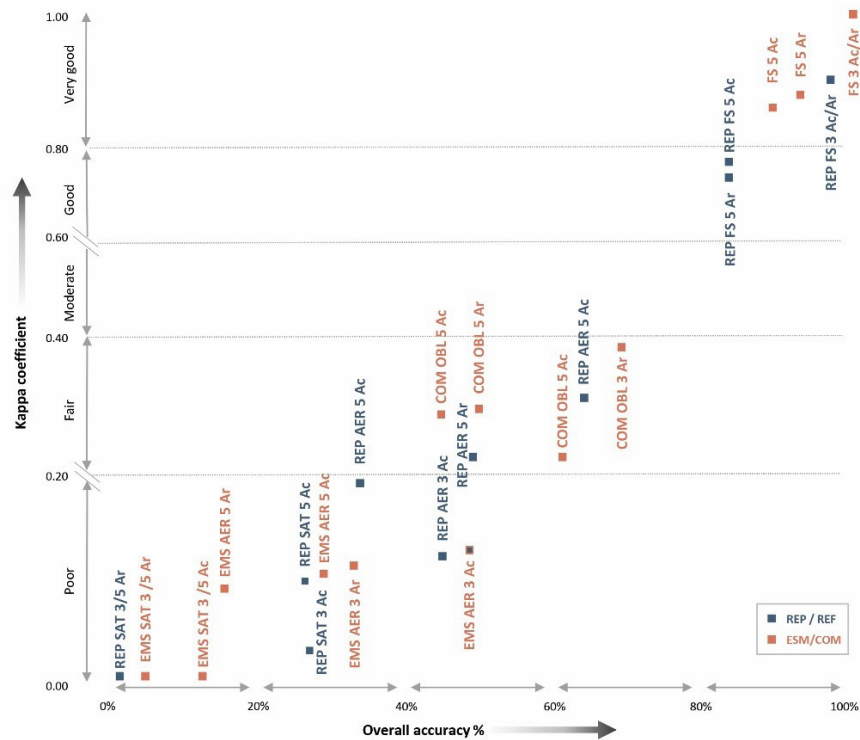


Figura 5. Análisis de la exactitud global y el coeficiente kappa según la fuente de datos y el número de categorías consideradas.

Los datos comparables basados en datos oblicuos son los segundos más precisos, aunque solo alcanzan un nivel razonable de acuerdo. Los coeficientes kappa varían de 0,23 para la clasificación de tres categorías en Accumoli a 0,37 en Arquata del Tronto. Los valores de exactitud global más altos, 70%, se encuentran en la clasificación de Arquata del Tronto; y el más bajo, 42%, se encuentra para la clasificación en cinco categorías en Accumoli.

La ortofoto post-evento es la siguiente fuente de datos más precisa, aunque se encuentran diferencias relevantes en los resultados de exactitud global, desde el 18% en Accumoli para el producto *Copernicus EMS* creado sobre ortofoto, hasta el 62% en Arquata del Tronto para el dato *Reprocesado ortofoto* (REP AER), ambos para la clasificación de tres categorías. Los coeficientes kappa muestran pobres niveles de concordancia, de 0.09 a 0.19, excepto en los datos Reprocesado ortofoto en Arquata del Tronto, 0.23 y 0.30 para las clasificaciones con tres y cinco categorías, respectivamente.

Los resultados de las validaciones de los datos reprocesados en comparación con los resultados obtenidos con los productos *Copernicus EMS*, muestran un

mejor nivel de concordancia para los reprocesados. Debe considerarse que la evaluación de daños no fue posible para los datos satelitales reprocesados en Arquata del Tronto debido a la cobertura de nubes. No se ha obtenido ninguna información sobre el criterio seguido por el creador de los mapas de *Copernicus EMS*, que es un Proveedor de Servicios externo al JRC, para llevar a cabo la clasificación. En la comparación hecha de los datos creados sobre la ortofoto post-evento, los resultados son claramente mejores para la capa reprocesada con la excepción de la clasificación agrupada en tres categorías en Accumoli, donde la concordancia general es ligeramente menor, 42% contra 45%, debido a la migración de dos edificios desde la categoría *Dañado* a *No daño*.

Al comparar la exactitud global y los valores del coeficiente kappa de la validación de *Campo reprocesado* y los *Datos de campo* con las fuentes de referencia, los resultados son mejores para éste último. Las diferencias en los resultados entre ambas capas se deben a que la metodología para crear ambas fue diferente, ya que la capa de datos reprocesados se hizo en gabinete, en condiciones diferentes y sólo con base en las fotos.

4.3. Análisis de los valores de omisión y comisión según la fuente de datos

Se analizó también la evolución de los valores de omisión y comisión por categoría para cada AOI y cada fuente de datos. El análisis individual por categoría de las cinco categorías de daño según la fuente de datos usada para hacer las capas apunta a dos razones principales para la mejora de los resultados de concordancia general. Una es la inclusión de edificios previamente clasificados como *No daño* en las categorías correspondientes que reflejan daño, lo que implicó la disminución del error de comisión para la categoría *No daño*. La otra es la correcta asignación a las categorías que reflejan daño, es decir, a cualquier excepto a *No daño*, lo que implicó la disminución de la omisión de estas tres categorías. Ambas razones se deben al uso de datos de entrada de mejor calidad que ofrecen un mayor nivel de detalle que permite el aumento del nivel de acuerdo, especialmente en las categorías de clasificación de daños más bajas. El salto relevante en la disminución de la comisión del *No daño* y en la omisión de las categorías que reflejan el daño no se alcanza hasta que no se consideran los datos de campo. La detección de edificios clasificados como *Destruído*, que solo existían en Arquata del Tronto, fue estable a excepción de las capas basadas en satélites. Se observó el mismo patrón en la clasificación en tres categorías de daño.

La Figura 6 muestra la relación entre la disminución de la comisión en la categoría *No daño* con la disminución de la omisión en la categoría *Dañado* para la clasificación de tres categorías y ambos AOIs, 01 Accumoli (Ac) y 02 Arquata del Tronto (Ar).

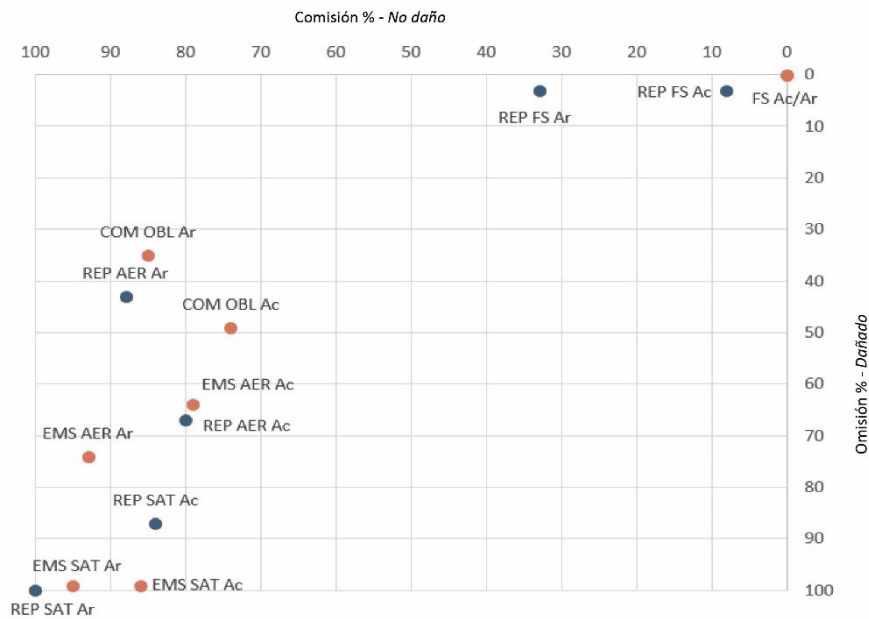


Figura 6. Relación entre la comisión para la categoría *No daño* y la omisión de la categoría *Dañado*.

5. Conclusiones

La EMS-98 ha demostrado ser un buen punto de partida para el componente de mapeo de *Copernicus EMS* en la creación de categorías de daños a edificios. En un primer momento, permitió al servicio tener unas categorías de daño como base sobre las que seguir trabajando. A pesar de las limitaciones descritas en el presente documento y en otras referencias bibliográficas (Cotrufo *et al.*, 2018), su uso ha permitido tener unas categorías definidas y comparables para los productos de asignación de daños, aportando coherencia al servicio *Copernicus EMS* en sus inicios.

A pesar de ello, uno de los problemas recurrentes es la comparabilidad de las categorías de daños entre productos que pueden estar situados en zonas muy diferentes del mundo y por ello tener características muy diversas. El hecho de que el servicio creó productos para zonas con características constructivas muy diferentes complica la creación de guías universales de fotointerpretación, lo cual implica que exista un margen de subjetividad a la hora de asignar daños. Varios resultados de este trabajo apuntan a que algunas de las discrepancias se debieron a diferencias en los criterios de asignación de daños, sobre todo al comparar las capas de *Copernicus EMS* con la de referencia y las capas reprocesadas con la de referencia. Con el objetivo de evitar en la medida de lo

posible que surgieran diferencias de criterio en las capas creadas en el marco de este análisis, se creó previamente una guía de fotointerpretación interna según la fuente de datos disponible acordada entre los técnicos que ejecutaron el trabajo.

Uno de los problemas más habituales es la falta de una imagen reciente anterior al evento que dé una idea del aspecto y características de los edificios antes del evento. Este problema se ve acentuado en aquellos países que no disponen de servicios de adquisición de ortofotografías aéreas, ya que en la mayoría de esos casos las imágenes recientes se reducen a la existencia de imágenes de satélite de menor resolución espacial, tales como Sentinel-2 o SPOT en el mejor de los casos, o dependen de la existencia de imágenes de muy alta resolución disponibles en programas como ArcGIS; como ESRI World Imagery, que en muchas zonas del mundo no son recientes.

En resumen, tanto el tipo de datos disponibles como el método, particularmente el criterio de asignación de daños, pueden variar dependiendo de la zona de estudio a nivel mundial. Ello puede requerir, como en este trabajo, que, previo al proceso de fotointerpretación, se establezcan criterios para asignar daños según el tipo de edificios y el tipo de dato disponible (que se cree una guía de fotointerpretación), e incluso establecer/adaptar las categorías de daños. Ogawa y Yamazaki (2000) presentan, por ejemplo, criterios para la identificación de daños en edificios de madera en Japón, producidos tras el terremoto en Kobe en 1995.

La comparación de los resultados considerando cinco o tres categorías muestra que las categorías de daño intermedio usadas en los productos, *Daños insignificantes o leves*, *Daños moderados* y *Daños muy graves*, son las responsables en gran parte de las diferencias encontradas. Utilizando tres categorías, la exactitud global y kappa suben notablemente. Esto implica que esas tres categorías son difícilmente distinguibles con base en datos como imágenes de satélite u ortofotos, que sólo dan idea de la parte de arriba de los edificios. Estudios como el presentado han permitido al servicio *Copernicus EMS* evolucionar y redefinir las categorías de daños con el fin de mejorar la comprensibilidad de los productos entre los usuarios y aumentar la coherencia entre productos. Los cambios introducidos en la última versión del Manual de Productos para Usuarios (Joubert-Boitat *et al.*, 2020) han incorporado cambios respecto a la primera versión basados en parte en las sugerencias dadas por el servicio de validación, demostrando su utilidad y la agilidad y adaptabilidad del componente de mapeo de *Copernicus EMS*. El presente estudio formó parte de un análisis más amplio sobre las categorías de daño cuyo objetivo era mejorar los productos tipo *Grading map* del servicio de mapeo de *Copernicus EMS*. Las recomendaciones hechas en el marco de dicho análisis se han traducido en una redefinición de las categorías de daño tal y como se muestra en la Tabla 13. Nótese que la categoría *No daño* desaparece y se ha sustituido por *Posiblemente dañado*. Este impacto del trabajo del servicio de validación en el servicio de

mapeo muestra la importancia de tener un servicio de validación que ayude a la mejora continua.

La capa creada con base en todas las fuentes de datos se vio influida por los datos de mayor calidad, que en la mayoría de los casos se correspondió al trabajo de campo. Esto se vio reflejado en el hecho de que no se encontraron diferencias significativas entre la capa creada con esos datos y la capa creada solamente con base en el trabajo de campo.

Tabla 13. Categorías de daños a edificios utilizadas actualmente en Copernicus EMS y comparación con la EMS-98

<i>Clases Copernicus EMS</i>	<i>Clases EMS-98</i>
<i>Posiblemente dañado</i>	No tiene equivalencia en EMS-98. Se refiere a casos en los que el nivel de confianza de la interpretación es ligeramente inferior (debido por ejemplo a una mala calidad de imagen)
<i>Dañado</i>	<i>Grado 1: Daños insignificantes o leves.</i> No hay daño estructural, o hay ligeros daños no estructurales. <i>Grado 2: Daño moderado.</i> Daño estructural leve o daño no estructural moderado. <i>Grado 3: Daños sustanciales a graves.</i> Daño estructural moderado o daños no estructurales graves.
<i>Destruído</i>	<i>Grado 4: Daños muy graves.</i> Daño estructural grave o daños no estructurales muy graves. <i>Grado 5: Destrucción.</i> Daños estructurales muy graves.

Fuente: Online Manual for Rapid Mapping Products, Copernicus EMS, 2020.

El análisis realizado respecto a la fuente de datos necesaria para la asignación de cada una de las categorías de datos se ve respaldado con los resultados numéricos de las validaciones. A saber, que la categoría más directa de asignar es *Destruído*, siempre y cuando se disponga de dato (por ejemplo, que no haya cobertura nubosa), y a pesar de que el criterio para asignar un edificio a esta categoría tiene un cierto margen de subjetividad. También muestra que para poder asegurar la ausencia de daño es necesario disponer de datos de campo.

Es importante resaltar que en el marco de este estudio para asignar la categoría No daño fue necesario el dato del trabajo de campo, ya que ninguna de las otras fuentes permite descartar con seguridad la presencia de daño. Esta conclusión dio pie a una recomendación para el servicio de *Copernicus EMS* para

cambiar la categoría de *No daño* a *No daño visible*, recomendación que está implementada en la actualidad.

Agradecimientos

Los autores agradecen la contribución de Massimiliano Rossi en la elaboración de los materiales analizados en este trabajo.

Bibliografía

- Altman, D. (2020). *Practical statistics for medical research*. New York: Chapman and Hall.
- Blom Web Viewer (2011). Obtenido de Copyright 2011 Blom. All rights reserved. Map data Copyright OpenStreetMap & contributors, CC-BY-SA. Recuperado de: <http://www.blomurbex.com/uk/>
- Boccardo, P. (2013). New perspectives in emergency mapping. *European Journal of Remote Sensing*, 46 (1), 571-582. <https://doi.org/10.5721/EuJRS20134633>
- Brogli, M., Corbane, C., Carrion, D., Lemoine, G., & Pasaresi, M. (2010). *Validation Protocol for Emergency Response Geo-information Products*. JRC59838. Luxembourg: Publications Office of the European Union. Recuperado de <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC59838/lbna24496enn.pdf>
- Brogli, M., Louvrier, C., & Lemoine, G. (2013). *Copernicus-EMS Mapping Guidelines and best practice*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. Recuperado de <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC83027/lb-na-26072-en-n.pdf>
- Chuvieco, E. (2002). *Teledetección ambiental: La observación de la Tierra desde el espacio*. Barcelona, España: Ciencia Editores.
- Copernicus EMS (2016). *Copernicus Emergency Management Service. EMSR177: Earthquake in Central Italy*. Recuperado de <https://emergency.copernicus.eu/mapping/list-of-components/EMSR177>
- Copernicus EMS (2017a). *Copernicus Emergency Management Service. Service overview*. Recuperado de http://emergency.copernicus.eu/mapping/sites/default/files/files/CopernicusEMS-Service_Overview_Brochure.pdf
- Copernicus EMS (2017b). *Copernicus Emergency Management Service-Mapping. Linking with Early Warning Systems*. Recuperado de <https://emergency.copernicus.eu/mapping/ems/early-warning-systems-efas-and-effis>
- Copernicus EMS (2018). *Copernicus Emergency Management Service-Mapping, Manual of Operational Procedures*. Recuperado de https://emergency.copernicus.eu/mapping/sites/default/files/files/EMS_Mapping_Manual_of_Procedures_v1_3_final.pdf
- Copernicus EMS. (2020). *Copernicus Management Service - Mapping. Online Manual for Rapid Mapping Products. Damage assessment*. Recuperado de <https://emergency.copernicus.eu/mapping/ems/online-manual-rapid-mapping-products>
- Corbane, C., Carrion, D., Lemoine, G., & Brogli, M. (2011a). Comparison of damage assessment maps derived from very high spatial resolution satellite and aerial imagery produced for the Haiti 2010 Earthquake. *Earthquake Spectra*, 27(S1), S199-S218. Recuperado de

https://www.researchgate.net/publication/258433908_Comparison_of_Damage_Assessment_Maps_Derived_from_Very_High_Spatial_Resolion_Satellite_and_Aerial_Imagery_Produced_for_the_Haiti_2010_Earthquake

- Corbane, C., Saito, K., Dell'Oro, L., Gill, S., Piard, B., Huyck, C., Kemper, T., Lemoine, G., Spence, R., Krishnan, R., Bjorgo, E., Senegas, O., Ghesquiere, F., Lallemand, D., Evans, G., Gartley, R., Toro, J., Ghosh, S., Svekla, W., Adams, B., & Eguchi, R. (2011b). A comprehensive analysis of building damage in the January 12, 2010 Mw7 Haiti earthquake using high resolution satellite and aerial imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing (PE&RS)*, 77(10). Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/266908454_A_Comprehensive_Analysis_of_Building_Damage_in_the_12_January_2010_Mw7_Haiti_Earthquake_Using_High-Resolution_Satelliteand_Aerial_Imagery
- Cotrufo, S., Sandu, C., Tonolo, F., & Boccardo, P. (2018). Building damage assessment scale tailored to remote sensing vertical imagery. *European Journal of Remote Sensing*, 51(1), 991-1005. <https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1527662>
- Dorati, C., Kucera, J., Marí i Rivera, I., & Wania, A. (2018). *Product User Manual for Copernicus EMS Rapid Mapping*. Recuperado de <https://emergency.copernicus.eu/mapping/ems/product-user-manual-cems-rapid-mapping>
- Grünthal, G., & Lorenzo Martín, F. (Eds.) (2009). *Escala Macrosísmica Europea 1998= European Macroseismic Scale 1998: EMS-98, (Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie; 27)*. Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie. <https://doi.org/10.2312/EMS-98.full.es>
- INGV (2016). *Secondo rapporto di sintesi sul terremoto di Amatrice ML 6.0 del 24 agosto 2016 (Italia Centrale)*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. Recuperado de https://ingvterremoti.files.wordpress.com/2016/09/20160920_secondo_rapporto_finale.pdf
- Joubert-Boitat, I., Wania, A., & Dalmasso S. (2020). *Manual for CEMS-Rapid Mapping Products, EUR 30370 EN, JRC121741*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. Recuperado de https://emergency.copernicus.eu/mapping/sites/default/files/files/JRCTechnicalReport_2020_Manual%20for%20Rapid%20Mapping%20Products_final.pdf
- Lemoine, G., Corbane, C., Louvrier, C., & Kauffmann, M. (2013). Intercomparison and validation of building damage assessments based on post-Haiti 2010 earthquake imagery using multi-source reference data. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss.*, 1, 1445-1486. <https://doi.org/10.5194/nhessd-1-1445-2013>
- Ogawa, N., & Yamazaki, F. (2000). Photo-interpretation of building damage due to earthquakes using aerial photographs. *12th World Conference on Earthquake Engineering, vol. 2. Earthquake engineering in practice. Social and economic issues, 1906*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/228905757_Photo-interpretation_of_building_damage_due_to_earthquakes_using_aerial_photographs
- OpenStreetMap contributors (2015). Planet dump [Data file from 2016]. Recuperado de <https://planet.openstreetmap.org>