

08-015

## **COLLAPSE OF BUILDINGS CAUSED BY THE EXECUTION OF WORKS ON ADJACENT PLOTS. CASEBASE**

*Huidobro Alberich, David <sup>(1)</sup>; Cremades Oliver, Lázaro V. <sup>(2)</sup>*

<sup>(1)</sup> Viseo Iberia, <sup>(2)</sup> UPC

Execution of construction works of a building with underground plants sharing dividing walls on adjacent plots usually affects the adjoining buildings and the surrounding environment. Between 2005 and 2010 more than one hundred cases of landslides of buildings in Spain were detected. These buildings shared dividing walls with contiguous plots where it was building or ex-cavating at that moment.

In order to establish a detailed registry of cases of building collapse and a link between the problem and its causes, a database of buildings that share walls with plots in which construction of buildings with underground plants is being executed, is pre-sented. This database is formed by 136 cases (55 with collapse) and 14 variables or attributes. It can be used in an expert sys-tem to determine the most appropriate method of foundation/containment in each case.

*Keywords: collapse; adjacent buildings; underground floors; adjacent plots; casebase*

## **DERRUMBE DE EDIFICIOS ENTRE MEDIANERAS CAUSADOS POR LA EJECUCIÓN DE OBRAS EN SOLARES CONTIGUOS. BASE DE CASOS**

La ejecución de las obras de construcción de un edificio con plantas subterráneas entre medianeras genera afectaciones de diversa consideración a los edificios colindantes y al entorno que la rodea. Entre los años 2005 y 2010 se detectaron más de un centenar de casos de derrumbes de edificios en España que compartían medianeras con solares contiguos donde se estaba edificando o excavando en ese momento. Con el fin de establecer un registro detallado de casos de derrumbe y una vinculación entre el problema y las causas que lo producen, se presenta una base de datos de edificios que comparten medianera con solares donde se ejecutan obras de construcción de edificios con plantas subterráneas, formada por 136 casos (55 con derrumbe) y 14 variables o atributos. Esta base de datos puede relacionarse con un sistema experto para determinar el método más apropiado de cimentación/contención en cada caso.

*Palabras clave: derrumbe; edificios entre medianeras; plantas subterráneas; solares contiguos; base de casos*

Correspondencia: Lázaro V. Cremades Oliver lazaro.cremades@upc.edu



©2020 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## 1. Introducción

La ejecución de las obras de construcción de un edificio con plantas subterráneas entre medianeras genera afectaciones de diversa consideración a los edificios colindantes y al entorno que la rodea. El vaciado de solares y la deconstrucción de edificios conlleva desplazamientos y deformaciones del terreno en busca de una nueva situación de equilibrio generando patologías en edificios cercanos (Lozano y Lozano, 1998). Por otro lado, las soluciones constructivas usadas antiguamente no son iguales a las actuales, ya que la ubicación de los aparcamientos en el subterráneo de los edificios más modernos supone un aumento de la complejidad en la ejecución de los mismos.

Entre los años 2005 y 2010 se detectaron más de un centenar de casos de derrumbes de edificios en España que compartían medianeras con solares contiguos donde se estaba edificando o excavando en ese momento. Así que lo que, inicialmente puede parecer un suceso puntual y residual, es realmente un problema, no tan solo por la cantidad de casos sucedidos sino por la gravedad de los mismos.

Los procesos patológicos que se observan pueden clasificarse en tres grupos (Lozano y Lozano, 1998): los producidos por el agua, los debidos a errores en el dimensionamiento y los generados por otras causas tales como rellenos, desconocimiento de los suelos, apertura de zanjas, etc. Y entre las causas generadoras de siniestros relacionados con la construcción, las más frecuentes son aquellas relacionadas con el suelo y la cimentación y/o contención utilizadas (García-Valcarce et al., 2003).

La metodología actual para el cálculo, selección y ejecución de los sistemas de contención-cimentación parece no tener en cuenta lo suficiente el entorno donde se ubica la obra. Es complejo valorar numéricamente cuál es la diferencia de aportación al riesgo de derrumbe de, por ejemplo, una cimentación antigua formada por una capa de ripios, un edificio colindante con más de 100 años de antigüedad o un remonte de un piso sobre el edificio sin haber reforzado la cimentación antigua original.

En cambio, un sistema experto basado en casos o CBR (*Case Based Reasoning*) puede tener en cuenta estos factores de entorno que, a priori, la metodología actual no valora lo suficiente y que, además, puede conservarlos y convertirlos en conocimiento. El CBR es una técnica de inteligencia artificial que, a diferencia de las técnicas basadas en tratamiento estadístico intensivo de datos, emula algunos de los procesos cognitivos que tienen lugar en la mente humana (Aamodt y Plaza, 1994; López de Mántaras, 2016). Los nuevos problemas se afrontan examinando casos similares resueltos en el pasado. El CBR ya ha sido aplicado con éxito en muchas áreas, desde el diagnóstico médico hasta la robótica (International Conference on Case-Based Reasoning [ICCBR], 2018).

En esta línea, aplicando dicha metodología al área de la cimentación/contención de edificios, el presente artículo muestra la elaboración de una base de casos de edificios que comparten medianera con solares donde se han ejecutado obras de construcción de edificios con plantas subterráneas. La base de datos contiene 136 casos, clasificados en dos grupos: un primer grupo formado por 55 casos en los que alguna de las fincas colindantes al edificio en ejecución ha sufrido derrumbe y, un segundo grupo formado por 81 casos que no lo han sufrido.

A continuación, se presenta la metodología utilizada para la elaboración de dicha base de datos y, a modo de ejemplo, algunos resultados de su aplicación con el fin de poder evaluar las causas que pueden provocar el posible derrumbe en un caso concreto.

## 2. Metodología

Para el desarrollo de la base de casos, se establecieron dos fases en la metodología seguida: 1) metodología para el trabajo de campo, y 2) metodología para la gestión de datos. Para la recogida de datos de casos, la zona de estudio se limitó a todo el territorio español. Aparte de los casos donde hubo derrumbe, se consideraron también como derrumbados los edificios que compartían medianeras en los que aparecían grietas con una magnitud tal que éstas obligaban al desalojo de sus ocupantes y posterior derribo.

Se acudió a diversas fuentes para la recogida de información: experiencias de compañeros y colegas, prensa escrita y digital, mediante buscadores en internet por palabras clave y experiencias propias. Por ejemplo, con la utilización del buscador de Google durante el periodo comprendido entre los años 2005 y 2010, se obtuvieron los resultados indicados en la Tabla 1.

**Tabla 1: Búsqueda a través del buscador Google por conceptos (Huidobro, 2015)**

Concepto de búsqueda	Número de resultados	Válidos
Derrumbe edificio	52	41
Derrumbe medianera	28	23
Derrumbe muros edificio	19	19
Derrumbe fachada	14	14
Desalojo viviendas	65	9
Derrumbe Andalucía	24	16
Derrumbe Alicante	16	8
Derrumbe Cataluña	16	11
Derrumbe Barcelona	13	9

Respecto a la determinación de las variables para el estudio del problema, inicialmente se recogieron 22 atributos que aportaban información relevante, relativa a: emplazamiento de la obra (coordenadas geográficas y ubicación); situación y estado en el tiempo (fecha del suceso, fecha de la visita, estado de la obra: parada o en ejecución y fase en que se encuentra); descripción de las características constructivas relevantes del edificio nuevo o a construir (tipología de la estructura de la obra nueva, tipología de cimentación/contención de la obra nueva, número de plantas subterráneas); descripción de las características constructivas relevantes del edificio colindante (tipología de la estructura del edificio colindante, tipología de cimentación/contención y edad de la finca colindante); descripción de las consecuencias derivadas del inicio de la construcción (medidas preventivas, daños observados, posibles causas y si ha habido o no derrumbe); e identificación de las empresas responsables de la obra (promotor y constructor).

Además, hubo que caracterizar los suelos sobre los que se iban a asentar los edificios y detectar la presencia de agua en los mismos mediante su estudio geotécnico. Por tal motivo, a los 22 atributos anteriores se le añadieron 12 atributos más hasta sumar un total de 34, cuya descripción completa se presenta en la Tabla 2.

Realmente una clasificación de suelos no es más que una agrupación ordenada de estos en función de su comportamiento en relación a una acción determinada a la que son sometidos. De hecho, la comunidad científica ha ido creando nuevas clasificaciones en función de las necesidades y de los problemas que se han ido sucediendo a lo largo del tiempo. Una de estas clasificaciones fue creada en 1952 por el *Bureau of Reclamation* y el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE.UU. Éstos presentaron un "sistema unificado" de clasificación

de suelos para ser usado en cualquier situación (Lambe y Whitman, 2002; García-Valcarce et al., 2003).

**Tabla 2. Atributos utilizados en la base de datos y sus posibles valores**

Orden	Denominación	Explicación
1	<b>Referencia</b>	Código de referencia para identificación del caso. Cadena de 11 caracteres donde los 5 primeros corresponden al código postal, los 3 siguientes a las 3 primeras letras de la calle y los 3 últimos al número de finca que ocupa la obra
2	<b>Sí/No derrumbe</b>	Se definen 2 subconjuntos dentro del conjunto de obras: las que producen el derrumbe y las que no lo producen
3	<b>Tipología de la contención de obra nueva</b>	Se definen 5 tipos de contención de obra nueva, es decir, la contención que se ejecuta en el terreno para poder iniciar las cimentaciones del edificio nuevo: <b>inexistente:</b> puede ser que exista muro o parte de él, pero no apto para la contención de tierras (muros sin armar y de material no resistente a empujes laterales) <b>muros contención a una cara:</b> son muros que contrarrestan el empuje horizontal generado por las tierras en su cara exterior. Sólo va encofrado por su cara interior. <b>muros pantalla:</b> es un muro de contención que se construye antes de efectuar el vaciado de tierras. <b>pantalla micropilotes:</b> estructura de contención a base de pilotes de diámetro pequeño, atados por viga de coronación en su parte superior y clavados en terreno. <b>pantalla pilotes:</b> estructura de contención flexible. Puede ser del tipo de pilotes separados, tangentes o secantes.
4	<b>Tipología de la estructura de obra nueva</b>	Se definen 4 tipos de estructura de obra nueva. Estos tipos son los más habituales y entre estos, actualmente lo son los 2 primeros: <b>estructura de hormigón y forjado reticular:</b> sus forjados poseen los elementos resistentes o nervios en las 2 direcciones horizontales (eje x, eje y) formando una retícula; los pilares también son armados y de hormigón. También llamados bidireccionales. <b>estructura de hormigón y forjado unidireccional:</b> disponen de los forjados unidireccionales; son aquellos que se apoyan o unen a la estructura portante a través de los bordes, jácenas y vigas, donde los elementos resistentes van dispuestos en una sola dirección. El forjado se compone de los elementos resistentes, elementos de entrevigado y chapa de compresión. Los pilares son armados de hormigón. <b>estructura metálica y forjado unidireccional:</b> disponen de los forjados unidireccionales; son aquellos que se apoyan o unen a la estructura portante a través de los bordes, jácenas y vigas, donde los elementos resistentes van dispuestos en una sola dirección. El forjado se compone de los elementos resistentes, elementos de entrevigado y chapa de compresión. Los pilares son perfiles metálicos. <b>estructura vertical de fábrica y forjado unidireccional:</b> disponen de los forjados unidireccionales; son aquellos que se apoyan o unen a la estructura portante a través de los bordes, donde los elementos resistentes, muros de carga, van dispuestos en una sola dirección. El forjado se compone de los elementos resistentes como viguetas de madera, metal u hormigón, elementos de entrevigado como bovedillas o arcos y chapa de compresión. Los muros son de carga hechos de ladrillo.
5	<b>Tipología de la estructura de finca colindante</b>	Se definen 3 tipos de estructura de fincas colindantes. Estos tipos son los más habituales; cuanto más antigua es la finca más utilizado es el último caso: <b>estructura de hormigón y forjado reticular:</b> sus forjados poseen los elementos resistentes o nervios en las 2 direcciones horizontales (eje x, eje y) formando una retícula, los pilares también son armados y de hormigón. También llamados bidireccionales. <b>estructura de hormigón y forjado unidireccional:</b> disponen de los forjados unidireccionales; son aquellos que se apoyan o unen a la estructura portante a través de los bordes, jácenas y vigas, donde los

		<p>elementos resistentes van dispuestos en una sola dirección. El forjado se compone de los elementos resistentes, elementos de entrevigado y chapa de compresión. Los pilares son armados de hormigón.</p> <p><b>estructura vertical de fábrica y forjado unidireccional:</b> disponen de los forjados unidireccionales; son aquellos que se apoyan o unen a la estructura portante a través de los bordes, donde los elementos resistentes, muros de carga, van dispuestos en una sola dirección. El forjado se compone de los elementos resistentes como viguetas de madera, metal u hormigón, elementos de entrevigado como bovedillas o arcos y chapa de compresión. Los muros son de carga hechos de ladrillo.</p>
6	<b>Tipología de la cimentación de finca colindante</b>	<p>Se definen 4 tipos de cimentación utilizada en fincas colindantes. Cuanto más antigua es la finca, más sencilla es su cimentación:</p> <p><b>inexistente:</b> en edificios construidos hasta principios del siglo pasado, las cimentaciones no se calculaban siguiendo la mecánica de suelos de Terzagui; se ejecutaban en base a la experiencia. En pequeñas edificaciones de 1 ó 2 plantas las cimentaciones eran inexistentes ya que se solían apoyar en los muros medianeros de los edificios vecinos.</p> <p><b>base de ripios:</b> en edificios ligeros como en el caso anterior, se realizaban cimentaciones basada en una capa de ripios con mortero de cal o sin él. Con el paso del tiempo el mortero de cal se degrada y se disgrega, provocando la separación de los ripios de la base.</p> <p><b>zapatas:</b> tipo de cimentación superficial. Consiste en un prisma de hormigón situado bajo los pilares de la estructura. Su función es transmitir al terreno las tensiones a las que está sometido el resto de la estructura.</p> <p><b>losa de cimentación:</b> es una placa de hormigón apoyada sobre el terreno. Esta reparte el peso y las cargas del edificio sobre toda la superficie de apoyo. Es un tipo de cimentación superficial que tiene muy buen comportamiento en terrenos poco homogéneos que con otro tipo de cimentación podrían sufrir asentamientos diferenciales.</p>
7	<b>Edad de la finca colindante</b>	<p>Se establecen 3 intervalos de antigüedad de fincas: <b>de 0 a 50 años, de 50 a 100 años, más de 100 años.</b></p>
8	<b>Presencia de agua</b>	<p>Se establecen 3 tipos de presencia de agua en el terreno. El agua es uno de los elementos que más influye en la aparición de patologías en las cimentaciones. En ella se combinan los tres tipos de agresiones que pueden darse: biológicas, químicas y físicas. Aunque hay más causas que producen variaciones de humedad en un terreno, se han establecido como valores de la variable las dos más importantes. Ambas pueden generar condiciones muy desfavorables para cimentaciones como: cambios de volumen en arcillas, alteración de resistencia del suelo, heladas, descalces, putrefacción, corrosión, etc.:</p> <p><b>inexistente:</b> los edificios que están dotados de forjado sanitario o plantas bajo rasante tienen menos escapes de agua en red por rotura de tuberías bajo el edificio, ya que cuando se producen movimientos entre edificio y/o terreno, al no encontrarse las tuberías presionadas, no se produce la rotura de las mismas. También se mejora el mantenimiento de la red ya que se tiene un fácil acceso a la misma.</p> <p><b>escape de agua de red:</b> se puede producir por roturas de bajantes, colectores, arquetas, red de recogida de aguas pluviales, fecales, redes de edificios vecinos, red de abastecimiento o saneamiento público, etc.</p> <p><b>freático en cota cimentación:</b> el nivel freático corresponde al nivel superior de una capa freática o de un acuífero en general. La presión del agua en este nivel es la presión atmosférica. En cimentaciones, sobre todo profundas, uno de los problemas que suelen aparecer es la existencia de nivel freático. La presencia de agua produce una disminución de las propiedades y características resistentes en suelos saturados y de la propia cimentación.</p>
9	<b>N plantas subterráneas</b>	<p>Indica el número de plantas del edificio construidas bajo rasante.</p> <p>Se establecen 5 tipos de terrenos en función del tamaño de sus granos (granulometría). Cada uno de estos, aunque dependiendo de la compacidad, tiene un valor diferente del ángulo de fricción o rozamiento interno. La horquilla de valores mayor es la correspondiente al ángulo de</p>

10	<b>arcillas</b>	fricción de las arcillas; esto se debe a la disminución de su cohesión a medida que aumenta su humedad:
11	<b>limos</b>	Tamaño de partículas < 0,002 mm; ángulo de fricción: 15° - 30°
12	<b>arenas</b>	Tamaño de partículas: 0,002 - 0,06 mm; ángulo de fricción: 30° - 34°
13	<b>gravas</b>	Tamaño de partículas: 0,06 - 2 mm; ángulo de fricción: 34° - 40°
14	<b>rocas</b>	Tamaño de partículas: 2 - 60 mm; ángulo de fricción: 40° - 48° Tamaño de partículas > 60 mm; ángulo de fricción > 48°
15	<b>e: 1/50.000 escaneado</b>	En la web del IGME, accediendo a Información geocientífica / Cartografía digital / Cartografía geológica / Cartografía 1:50.000, se encuentra la serie MAGNA 50 que es la serie que se ha utilizado para informar este atributo. Esta serie está disponible en 3 formatos: jpg, pdf y formato web (dinámico). En este atributo se ha incluido la información recopilada desde los mapas en formato jpg y pdf.
16	<b>mapa dinámico e: 1/50.000</b>	En la web del IGME, igual que en el caso anterior, se accede a la serie MAGNA 50 para poder acceder al visor IGME del mapa dinámico. Desde el mapa se accede a la información, composición y situación del terreno sobreponiendo el cursor. Este mapa dinámico consta de varias capas; esta es la capa de detalle a escala 1:50.000.
17	<b>e: 1/200.000 escaneado</b>	En la web del IGME, accediendo a Información geocientífica / Cartografía digital / Cartografía geológica / Otras series geológicas, se encuentra la serie 1:200.000. Esta sólo está disponible en formato jpg que es el formato digital correspondiente al escaneado de los planos originales.
18	<b>mapa dinámico e: 1/1.000.000</b>	En la web del IGME, igual que en el caso anterior se accede a la serie MAGNA 50 para poder acceder al visor IGME del mapa dinámico. Desde el mapa se accede a la información, composición y situación del terreno sobreponiendo el cursor. Este mapa dinámico consta de varias capas; ésta es la capa general a escala 1:1.000.000.
19	<b>e: 1/50.000</b>	En la web de IGC, accediendo a Geoindex / Cartografía geológica, se accede al visor de la distribución de los planos a escala 1: 250.000 y 1: 50.000. Por otro lado, desde Geoindex / Catálogo de Cartografía se accede al listado de planos que se pueden consultar en formato GeoPDF. La ventaja de este formato es que, utilizando el programa suministrado en la misma web, se obtienen las coordenadas de cualquier punto del plano sobreponiendo el cursor en él.
20	<b>Latitud</b>	Pertenece al sistema de coordenadas geográficas es la coordenada que se encarga de medir el ángulo de la orientación Norte-Sur, es decir, el ángulo entre cualquier punto y el Ecuador. Determina la latitud donde se encuentra situado cada uno de los casos
21	<b>Longitud</b>	Pertenece al sistema de coordenadas geográficas es la coordenada que se encarga de medir el ángulo de la orientación Este-Oeste, es decir, a lo largo del Ecuador. Determina la longitud donde se encuentra situado cada uno de los casos
22	<b>Com. Autónoma</b>	Ubicación exacta donde se ejecuta la obra
23	<b>Provincia</b>	
24	<b>Población</b>	
25	<b>calle / plaza / paseo</b>	
26	<b>Fecha suceso</b>	Cadena de 10 caracteres: dd/mm/aaaa. Día, mes y año de cuando sucede el derrumbe; si no hay derrumbe la fecha es NA
27	<b>Fecha visita</b>	Cadena de 10 caracteres: dd/mm/aaaa. Día, mes y año de cuando se realiza la visita al edificio; si no se realiza visita la fecha es NA
28	<b>Promotor</b>	Persona física o jurídica que impulsa y financia, con recursos propios o ajenos, la obra para sí o para su posterior venta, entrega o cesión a terceros de una o varias viviendas.
29	<b>Constructor</b>	Es el agente que asume contractualmente ante el promotor, el compromiso de ejecutar con medios humanos y materiales, propios o ajenos, la obra o parte de ella con sujeción al proyecto y al contrato.
30	<b>Estado de la obra en fecha de visita</b>	Se definen 6 estados de obra. A partir de que el estado avanza, aumenta la estabilidad de la estructura del edificio y mayor es el tiempo transcurrido desde los estados de movimiento de tierras y contención/cimentación que son los estados con mayor riesgo de derrumbe: <b>Movimiento de tierras:</b> conjunto de actuaciones a realizarse en un terreno para la ejecución de una obra.

**Cimentación:** elementos estructurales cuya misión es transmitir las cargas al suelo distribuyéndolas de forma que no superen la presión admisible del terreno. Contención: destinado a contener masas de tierra y a contrarrestar sus empujes cuando las condiciones no permiten que estas masas asuman sus pendientes naturales.

**Estructura:** está compuesta por un conjunto de elementos unidos entre sí formando el esqueleto del edificio y es capaz de soportar las fuerzas que actúan sobre ella conservando su forma inicial.

**Cerramientos:** conjunto de sistemas constructivos del edificio que constituye los límites o fronteras con el ambiente exterior.

**Acabados:** fase de prefinalización del edificio donde se realizan los últimos ajustes y retoques.

**Finalizada:** cuando la obra ha concluido

31	<b>Medidas preventivas</b>	Apuntalamiento y subestructuras de soporte y estabilización
32	<b>Daños observados</b>	Derrumbes parciales (fachadas, medianeras, forjados) o totales producidos en las fincas colindantes a la obra nueva
33	<b>Posibles causas</b>	Sucesos o eventos que tienen por resultado efectos. Vibraciones por deconstrucciones y maquinaria pesada, filtraciones de agua, aberturas excesivas de bataches...
34	<b>Emplazamiento de la finca afectada</b>	Calle y número de la finca o fincas afectadas. Es posible que la calle sea diferente a la de la obra ya que puede lindar lateralmente, en esquina o por la parte trasera.

Precisamente es en esta clasificación en la que se basan las variables correspondientes a la descripción del suelo y su comportamiento incluidas en la base de datos presentada en este trabajo. Así, los suelos se clasificaron por tamaño de grano del material, esto es: arcillas, limos, arenas, gravas y rocas (Tabla 3).

**Tabla 3. Clasificación de terrenos por granulometría y ángulos de fricción utilizados en la base de casos (Huidobro, 2015)**

Denominación	Tamaño de partículas	Angulo de fricción
arcillas	< 0,002 mm	15 – 30°
limos	0,002 – 0,006 mm	30 – 34°
arenas	0,06 – 2 mm	34 – 40°
gravas	2 – 60 mm	40 – 48°
rocas	> 60 mm	> 48°

Esta clasificación es una simplificación de la sugerida por Lambe y Whitman (2002). Como se puede observar en ella, la denominación y el ángulo de fricción de los terrenos sólo depende del tamaño de las partículas del suelo.

Cabe destacar que el ángulo de fricción o ángulo de rozamiento interno depende de varias propiedades como son la cohesión para ciertos tamaños de partículas, forma geométrica de sus granos y compacidad (García-Valcarce et al., 2003). La cohesión, a la vez, depende la humedad contenida en dicho suelo (Lambe y Whitman, 2002; García-Valcarce et al., 2003).

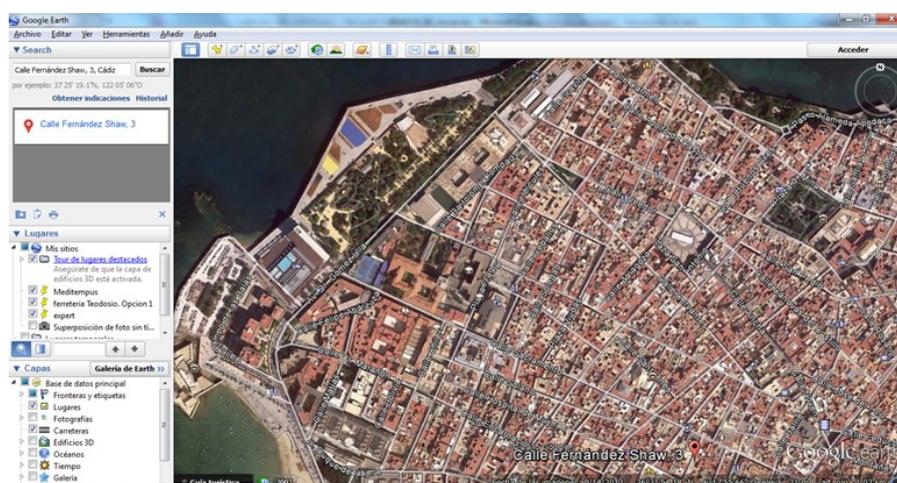
Esta última propiedad también se ha tenido en cuenta en el estudio ya que la cohesión depende de la humedad y ésta está representada por la variable “Presencia o no de agua en la finca”, mientras que la compacidad se considera constante para terrenos ya asentados bajo edificios de cierta antigüedad. Esta clasificación de suelos facilita en gran medida la

determinación del comportamiento individual de cada uno de ellos, e incluso, del conjunto de varios tipos de suelos comprendidos en un terreno concreto.

Para la determinación del tipo de suelo presente en un punto determinado, cuando no se disponía de un estudio geotécnico del solar en cuestión, se utilizaron tres fuentes de información accesibles vía *online*: Google Earth (2020), el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) (2020), y el Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) (2020).

Google Earth es un programa informático que muestra un globo terráqueo virtual que permite visualizar cartografía múltiple, con base en fotografía satelital (Wikipedia, 2020). Este programa es de gran utilidad ya que permite determinar las coordenadas geográficas de cualquier punto del territorio a través de su dirección postal (Fig. 1).

**Figura 1: Localización de la obra-suceso en la Calle Fernández Shaw, 3, Cádiz. Relación entre dirección y coordenadas usando Google Earth (2020)**



En segundo lugar, el visor de cartografía geológica de España para la visualización de mapas web de la serie MAGNA 50 del IGME, que permite seleccionar el mapa en el que están representadas las coordenadas geográficas obtenidas desde el Google Earth. Una vez obtenido el mapa correspondiente, se determina el tipo de terreno existente en esa coordenada en concreto (Figs. 2 y 3).

Por último, el visor de cartografía geológica de Cataluña para la visualización de mapas en GeoPDF del ICGC tiene un funcionamiento muy parecido al del IGME.

### 3. Resultados y discusión

Tras un análisis estadístico de dependencia de variables (Huidobro, 2015), la base de casos que contenía 34 variables quedó simplificada a 14 variables: 13 variables independientes y una dependiente. Por lo tanto, la base de casos definitiva tiene la forma de una hoja de cálculo formada por 136 casos y 14 variables, donde cada caso está representado por una fila y cada variable por una columna.

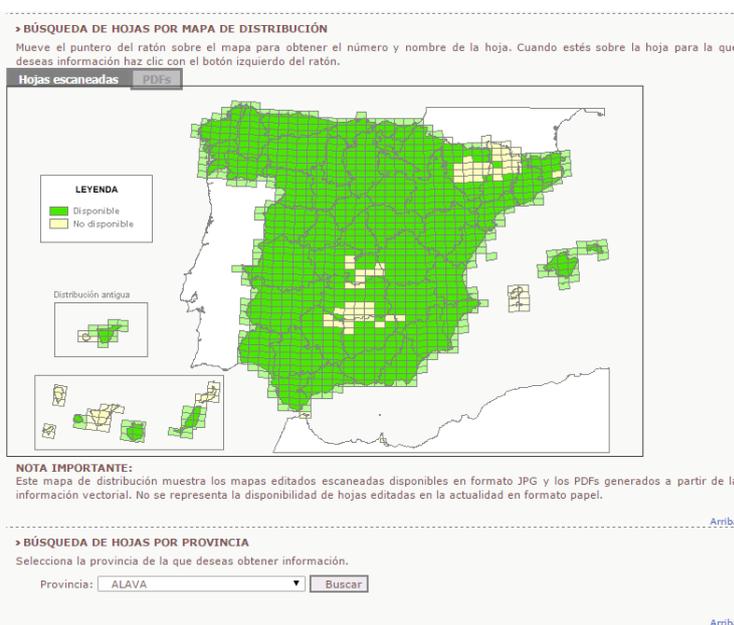
Las variables independientes resultantes son: referencia; tipo de estructura de la obra nueva; tipo de estructura de la finca colindante; tipo de cimentación de la finca colindante; edad de la

finca colindante; presencia de agua; “n” plantas subterráneas; arcillas; limos; arenas; gravas; rocas; tipo de contención de la obra nueva. La variable dependiente es: derrumbe.

Una muestra de una parte de la base de casos final en forma de hoja Excel se presenta en la Fig. 4.

De entre todas las variables que se incluyen en la base de casos definitiva, destacan dos por su importancia: “derrumbe” y “tipo de contención de la obra nueva”. “Derrumbe” sólo puede adquirir dos valores, “Sí” y “No”, es decir, el valor “Sí” representa que en ese caso sí que ha existido derrumbe. En cuanto al “tipo de contención de la obra nueva” es la variable que determina qué sistema de contención de tierras se ha usado en la construcción del nuevo edificio.

**Figura 2: Serie cartográfica geológica MAGNA 50 a escala 1:50.000 del IGME (2020)**



**Figura 3: Mapa dinámico del IGME (2020)**

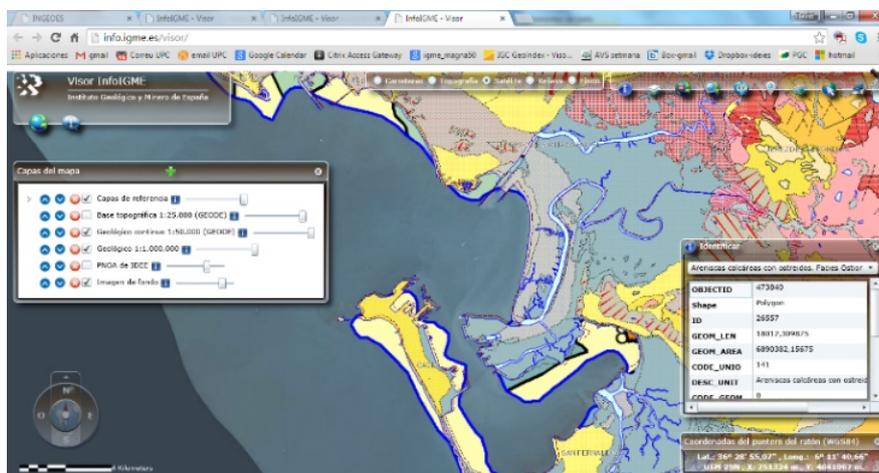


Figura 4: Muestra de la base de casos en hoja Excel

Tipología cimentación finca colindante	Edad finca colindante	Presencia de agua	Nº plantas subterráneas	Arcillas	Limo	Arena	Grava	Roca	Derrumbe	Tipología de obra nueva
zapatas	de_50_a_100_años	freatico_en_cota_cim	2	1	0	0	0	1	SC	muros_cont
zapatas	de_50_a_100_años	freatico_en_cota_cim	3	0	1	1	0	1	SC	muros_pante
base_de_ripios	de_50_a_100_años	escape_de_agua_de	2	0	1	1	0	1	SC	pantalla_mic
inexistente	mas_de_100_años	freatico_en_cota_cim	4	0	1	1	0	1	SC	muros_pante
zapatas	de_50_a_100_años	freatico_en_cota_cim	2	0	1	1	0	1	SC	muros_pante
zapatas	de_50_a_100_años	freatico_en_cota_cim	2	0	0	0	0	1	SC	muros_cont
inexistente	mas_de_100_años	freatico_en_cota_cim	5	0	1	1	0	1	NC	muros_pante
inexistente	mas_de_100_años	inexistente	1	0	1	1	0	1	NC	muros_pante
inexistente	mas_de_100_años	inexistente	1	0	0	0	0	1	NC	muros_cont
base_de_ripios	mas_de_100_años	inexistente	5	1	0	1	0	1	NC	muros_pante
losa_de_cimentacion	de_0_a_50_años	inexistente	2	1	0	1	0	1	NC	pantalla_pilol
inexistente	mas_de_100_años	inexistente	2	1	0	1	0	1	NC	muros_pante
zapatas	de_50_a_100_años	freatico_en_cota_cim	2	1	0	1	0	1	NC	muros_cont

Como se puede apreciar, el resultado es una base de casos que puede ayudar a determinar el tipo de contención a utilizar en la ejecución de un edificio entre medianeras para que la construcción del mismo no implique el derrumbe de edificios colindantes de mayor antigüedad.

A continuación, se ilustra a modo de ejemplo un caso que forma parte de la base de casos:

El caso es un edificio ya finalizado con éxito, situado en el número 1 de la calle Sagunto de Barcelona, esquina con calle de la Constitución.

El edificio que existió anteriormente fue demolido para la construcción del nuevo y estaba compuesto por una planta baja más dos plantas sobre rasante. El nuevo edificio ocupa la misma superficie de parcela, pero con una mayor superficie construida, ya que está compuesto por una planta baja, dos bajo rasante y cuatro sobre rasante.

Los datos que se incorporaron a la base de datos inicial fueron las que se aparecen en la Tabla 4.

Tabla 4. Ejemplo de un caso introducido en la base de datos

Campo	Valor
Referencia	08014SAG001
Estado finca colindante	No caída
Coordenadas geográficas: latitud y longitud	41°22'10" N, 02°08'2" E
Comunidad autónoma	Cataluña
Provincia	Barcelona
Municipio	Barcelona
Calle	Sagunt 001
Fecha de visita	03/07/2017
Fase de la obra en fecha de visita	Contención / cimentación
Medidas preventivas	Inexistentes
Tipología de contención de obra nueva	Estructura de hormigón y forjado reticular
Tipología de estructura de finca colindante	Estructura vertical de fábrica y forjado unidireccional
Tipología de cimentación de obra colindante	Zapatas
Edad de la finca colindante	De 50 a 100 años
Presencia de agua	Inexistente
Número de plantas subterráneas	2
Estudio geotécnico / Información IGME / IGC	gravas, brechas, arcillas, limos amarillentos y costras de caliche, que, codificando su

Respecto a las implicaciones de este estudio y de los resultados del mismo cabe destacar la simplicidad del método para la futura determinación del comportamiento de los edificios colindantes a solares donde se está construyendo un nuevo edificio, basado en la experiencia de casos anteriores.

Las limitaciones del estudio son diversas. La discretización de algunas de las variables continuas para el posterior estudio de la base de datos, puede no reflejar exactamente las características del caso concreto. Por ejemplo, la antigüedad de los edificios colindantes, sólo está representada por 3 tramos: menos de 50 años, de 50 a 100 años y más de 100 años.

Para la definición de las variables correspondientes a la representación del terreno se ha seguido la clasificación realizada por Lambe y Whitman (2002) y García-Valcarce et al. (2003) de una forma algo simplificada. Por ejemplo, estos autores distinguen la arcilla grasa y orgánica, arena gruesa y fina, mientras que en este estudio todas las arcillas y arenas han sido agrupadas en "arcilla" y "arena", respectivamente.

#### **4. Conclusiones**

Existe una inquietud generalizada por la afectación que produce la ejecución de las obras correspondientes a la construcción de un edificio entre sus vecinos y se ha detectado un número de casos lo suficientemente amplio como para ser considerado un problema.

La base de casos desarrollada es lo suficientemente significativa como para poder obtener resultados razonablemente satisfactorios a partir de un sistema experto, como hemos podido comprobar (Huidobro, 2015).

La utilización de Internet y del buscador Google ha facilitado enormemente la búsqueda de noticias, que posteriormente han sido incorporadas a la base de datos como conocimiento del sistema. A la vez, Google Earth ha servido como punto de partida para la posterior visita y comprobación de cada uno de ellos. Estas visitas también han aportado información adicional no adquirida desde Internet.

El resultado final (que se derrumbe o no el edificio colindante) puede depender también, de otros factores que no han sido incluidos en la base de datos como los errores humanos, las condiciones meteorológicas adversas excepcionales, el estado de conservación de las fincas colindantes, etc. No obstante, la inclusión de ésta y el estudio de la misma a través de un sistema experto, aporta cuál es el tipo de cimentación/contención más correcta para cada caso de estudio futuro.

En definitiva, deben ganar peso factores que habitualmente no cuentan con la suficiente atención por parte de los responsables de la realización del proyecto de edificación (diseño y ejecución) como son: generación de movimientos, aparición de grietas en fincas colindantes, periodo estacional, régimen de lluvias, proximidad de acuíferos y ríos, estado de conservación y antigüedad de las fincas vecinas, características constructivas de los edificios colindantes.

#### **5. Referencias**

Aamodt, A. & Plaza, E. (1994). Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches. *AI Communications*, 7 (1), 39-52.

- García-Valcarce, A., González, P., Hernández, J., Pascual, R, Sánchez-Ostiz, A., Irigoyen, D. (2003). *Manual de edificación. Mecánica de los terrenos y cimientos*. Editorial CIE Inversiones Editoriales Dossat 2000.
- Google Earth. Página de inicio. <https://www.google.es/intl/es/earth/index.html> [Consulta: 15/02/2020].
- Huidobro, D. (2015). *Nueva metodología basada en un sistema experto para la selección de cimentaciones-contenciones de edificios entre medianeras*. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya.
- ICCBR, 26th International Conference on Case-Based Reasoning, (2018), 9-12/07/2018, Estocolmo: <http://iccb18.com/accepted-papers/> [Consulta: 29/07/2019].
- ICT. Página de inicio del Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. <http://www.icgc.cat/> [Consulta 15/02/2020].
- IGME. Página de inicio del Instituto Geológico y Minero de España. <http://www.igme.es/> [Consulta 15/02/2020].
- Lambe, W. & Whitman, R. (2002). *Mecánica de suelos*. Instituto Tecnológico de Massachusetts. Editorial Limusa, Grupo Noriega Editores.
- López de Mántaras, R. (2016) El valor de la experiencia para los robots. *Investigación y Ciencia*, 479, 56-61.
- Lozano, A.L. & Lozano, G. (1998). *Curso de diseño, cálculo, construcción y patología de cimentaciones y recalces*. Lozano y asociados. Consultores técnicos de construcción, S.L., 3ª ed. Gijón.
- Wikipedia. Descripción de Google Earth. [https://es.wikipedia.org/wiki/Google\\_Earth](https://es.wikipedia.org/wiki/Google_Earth) [Consulta 15/02/2020].

## Comunicación alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

