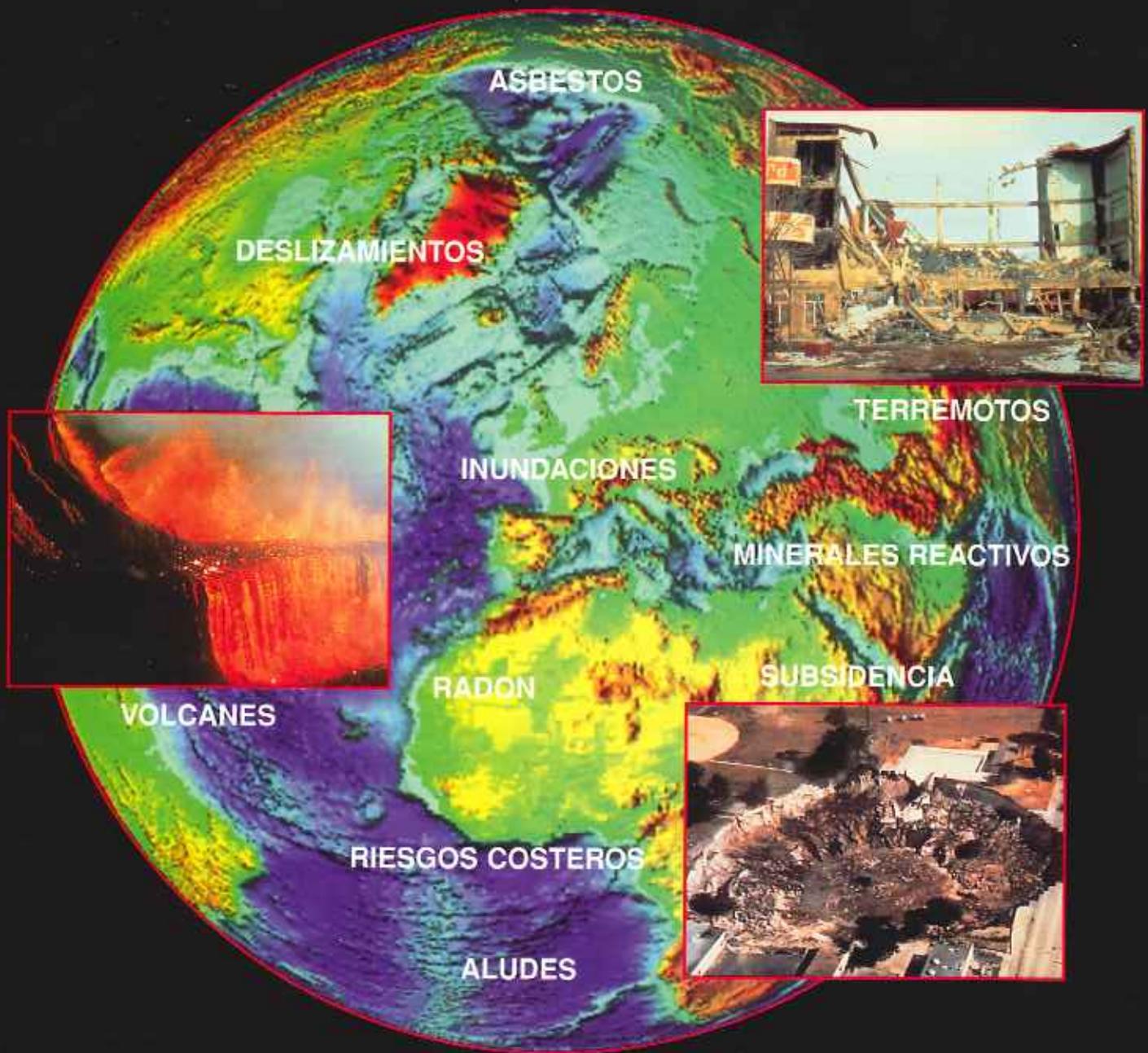


THE AMERICAN INSTITUTE OF
PROFESSIONAL GEOLOGISTS



GUIA CIUDADANA DE LOS RIESGOS GEOLOGICOS



Editado en versión española por
L. Suárez & M. Regueiro



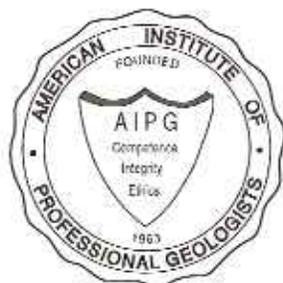
Ilustre Colegio Oficial de
Geólogos de España

Guía Ciudadana de los Riesgos Geológicos

Guía para comprender los riesgos geológicos, incluyendo suelos expansivos, asbestos, radón, terremotos, volcanes, deslizamientos, subsidencia, inundaciones y riesgos costeros

Realizado por el Instituto Americano de Geólogos Profesionales

Publicado en español por el Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de España



Autores

Edward B. Nuhfer, Universidad de Colorado en Denver, Richard J. Proctor, Consultor Independiente, Arcadia, California; y Paul H. Moser, Servicio Geológico de Alabama

con

John E. Allen, James T. Bales, Jr., Janet M. Blabaum, Richard C. Benson, Jerome DeGraff, Jeffrey L. Hynes, William V. Knight, John Mayberry, Edith McKee, John Montagne, Douglas A. Sprinkel y Jerry D. Vineyard

ayudados por los comentarios y contribuciones de los

Revisores Técnicos

Bernard Amadei, Dwight Grandell, Phillip Gerla, Linda Gundersen, Philip LaMoreaux, Eugene L. Lecomte, Francis V. Reilly, Malcom Ross, y Richard Waugh.

y la edición de

Mary P. Dalles, Thomas Z. Jones, Charles Wm. Dimmick y Wendy J. Davidson

Adaptado al español por

José L. Barrera, Ramón Capote, Juan J. Durán, Mercedes Ferrer, Luis I. González de Vallejo, Máximo Hernández, Félix Quiralte, Manuel Regueiro y Luis Suárez

Editado en versión española por

Luis Suárez & Manuel Regueiro

Publicado con la colaboración especial del Consorcio de Compensación de Seguros

Pedidos a: I.C.O.G. Avda. Reina Victoria, nº 8, 4º B, 28003 Madrid.

Tfno. (91) - 553 24 03. Fax (91) 533 03 43. <http://www.icog.es>. e-mail: icog@icog.es

AVISO AL LECTOR

La información publicada en la *Guía Ciudadana de los Riesgos Geológicos* pretende exclusivamente informar a los lectores y hacerles conscientes de los riesgos geológicos. Este libro no pretende sustituir las recomendaciones de un profesional de la geología. Los hechos y materiales contenidos en este libro son los juicios informados de los autores y sus opiniones están basadas en la mejor información disponible hasta el momento. Aunque este libro fue compilado y revisado con cuidado, ni el *Instituto Americano de Geólogos Profesionales* ni el *Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de España* garantizan ni explícita ni tácitamente la veracidad de cualquier hecho o supuesto de hecho referido en este libro. Nadie del *Instituto Americano de los Geólogos Profesionales*, ni del *Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de España* ni sus secciones, delegaciones, miembros, afiliados, autores, editores, revisores técnicos, concesionarios o distribuidores serán responsables ante el comprador de este libro o ante cualquier otra persona o entidad por la pérdida, riesgo o daño que se pueda producir por el uso, abuso o exceso de confianza en la información contenida en este libro. Al utilizar este libro, el lector está de acuerdo y conoce que este libro se vende sin garantías de ninguna clase, expresa o tácita, con respecto a los contenidos de este libro, y sin garantía de calidad comercial o adecuación para un uso en particular.

La publicación de este libro fue posible gracias al generoso apoyo financiero de Russel G. Slayback, CPG, James A. Gibbs, CPG, William V. Knight, CPG, que hicieron las contribuciones a través de la Fundación AIPG Inc.

Lista de palabras claves para catalogación: *áridos reactivos, asbestos, avalanchas, catástrofes, deslizamientos, erosión costera, estabilidad de taludes, geología, geología ambiental, geólogo, ingeniería geológica, inundaciones, ondas de tormenta, radón, riesgos costeros, riesgos geológicos, riesgos por gases, seguros, subsidencia, suelos expansivos, terremotos, tsunamis, volcanes.*

The American Institute of Professional Geologists,
7828 Vance Drive, Arvada, CO 80003,
Phone (303) 431 - 0831
96 95 94 93 54321
Biblioteca del Congreso
Número de Tarjeta del Catálogo 92 - 073848

© «1993 by The American Institute of Professional Geologists».
Esta traducción y adaptación de «The Citizens' Guide to Geologic Hazards» publicada por primera vez en 1993, se edita por contrato con The American Institute of Professional Geologists»

EL ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEOLOGOS DE ESPAÑA

El antecedente histórico del Colegio fue la Asociación de Geólogos Españoles (A.G.E.), que dió paso al Ilustre Colegio Oficial de Geólogos (I.C.O.G.), creado por Ley 73, de veintiséis de diciembre de 1978. El I.C.O.G. es una corporación de Derecho Público, amparada por la Ley y reconocida por el Estado, con personalidad jurídica y capacidad plena para el ejercicio de sus funciones y el cumplimiento de sus fines: la ordenación del ejercicio de la profesión de geólogo, representación exclusiva y defensa de los intereses de la misma y el fomento de la solidaridad entre geólogos, orientadas en beneficio de la sociedad en general. Tiene ámbito nacional, con la sede central en Madrid y Delegaciones en la Comunidades Autónomas de Andalucía, Aragón y Asturias.

La colegiación está permitida y es obligatoria por ley para los Licenciados o Doctores en Geología, estando abierta la participación de otros profesionales en las actividades formativas y externas del Colegio.

Si desea más información sobre el I.C.O.G. puede solicitarla a la Secretaría General: Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de España, Avda. Reina Victoria, 8, 4.ª B. 28003 Madrid (España).

Título original: «The Citizens' Guide to Geologic Hazards»

Copyright © 1997
Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de España (I.C.O.G.)
Avda. Reina Victoria, 8, 4.ª B
28003 Madrid. Teléfono 5532403. Fax 5330343
E-mail: icog@icog.es

Imprime Gráficas Summa, S.A.
ISBN: 84 920097-3-X
Depósito Legal: AS. 2.549-1997

Copyright del texto original © 1993
The American Institute of Professional Geologists

Distribuidores

Delegación de Andalucía
C/ Brasil, 1, Local 2
41013 Sevilla
Teléf: (95) 4240068
Fax: (95) 4240384

Delegación de Aragón
Paseo Fernando el Católico, 37, 3.ª 1.ª
Teléf: (976) 569137
Fax: (98) 5270427

Delegación de Asturias
C/ Pérez de Ayala, 3, Esc. izquierda.
33007 Oviedo
Teléf: (98) 5270427

Reservado todos los derechos. No está permitida la reproducción total o parcial de este libro, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, por fotocopia, por registro a otros métodos, sin el permiso previo y por escrito de los titulares de los Derechos de autor de la presente edición.

Reservados todos los derechos, incluido el derecho de venta, alquiler, préstamo o cualquier otra forma de cesión del uso de este ejemplar.

**El Instituto Americano de Geólogos Profesionales
&
El Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de España
dedican este libro a la memoria de**

Maurice and Katia Krafft

quienes a través de sus libros y películas transmitieron su amor a la geología, y cautivaron la conciencia de los ciudadanos del mundo, sobre la belleza y los peligros de los volcanes.



Katia y Maurice Krafft, los geólogos franceses que dedicaron sus vidas a la documentación de las mayores erupciones volcánicas a través de películas, fotografías y libros para el público. Este matrimonio pereció en Junio, 1991, en la erupción del Monte Unzen, Japón. (Esta foto fue tomada en Agosto, 1983, en Jakarta, Indonesia, en el simposio celebrado con motivo del centenario de la erupción del Volcán Krakatoa en 1883, cortesía de Dr. Richard S. Fiske, Smithsonian Institution.)

Indice

PROLOGO	vii
PREAMBULO	viii
PREFACIO	ix
INTRODUCCION	xi
Agradecimientos	xiii
PARTE I - Geología, Geólogos y Riesgos Geológicos	1
RESUMEN de la PARTE I	14
Bibliografía	15
PARTE II - Riesgos causados por Materiales Geológicos	20
MINERALES REACTIVOS	21
Suelos Expansivos	21
El riesgo por arcillas expansivas en España	24
Aridos Reactivos en el hormigón	27
Drenaje ácido	27
El papel del geólogo en la lucha contra los minerales reactivos	31
Bibliografía	31
ASBESTOS	33
La sustancia y sus usos	33
Los peligros de los asbestos	35
La controversia sobre los asbestos	35
La legislación y los asbestos	36
El papel del geólogo en la eliminación de los asbestos	37
Los asbestos en España	38
Bibliografía	41
RADON Y OTROS GASES PELIGROSOS	43
Reconocimiento del problema del radón	43
La radiación de los materiales geológicos	44
Relaciones entre radón en espacios cerrados y los materiales geológicos	44
¿Por qué el radón es un peligro?	45
Medidas del radón	46
La controversia sobre el radón	47
Otros gases tóxicos	48
El riesgo por radón en España y en Europa	50
El proyecto Mapa de Radiación Natural de España (MARNA)	53
Radón en Europa	55
El papel del geólogo en la reducción de los riesgos por gases	55
RESUMEN de la PARTE II	56
Bibliografía	57
PARTE III - Riesgos derivados de los Procesos Geológicos	61
TERREMOTOS	61
Intensidad y magnitud de los terremotos	62
Distribución de los terremotos	63
La génesis de terremotos y el concepto de Tiempo Geológico	64
Los peligros de los terremotos	65
El riesgo sísmico en España	67
La reducción de los daños por terremotos	69
El papel del geólogo en la reducción de los riesgos por terremotos	70
Bibliografía	74
VOLCANES	79
Acontecimientos volcánicos	79
Vulcanismo y el Concepto de Tiempo Geológico	81
La explosividad de los volcanes	83

Los peligros de los volcanes	84
Riesgos Volcánicos en España	89
El papel del geólogo en la reducción de los Riesgos Volcánicos	92
Bibliografía	94
DESLIZAMIENTOS Y ALUDES	97
Dónde ocurren los deslizamientos	97
Riesgos por deslizamientos	99
Indicadores de inestabilidad natural	99
Causas humanas de roturas rápidas en laderas	101
Deslizamientos y el concepto de tiempo geológico	105
Importancia y Extensión de los Movimientos de Ladera en España	107
El papel del geólogo en la disminución de la peligrosidad por movimientos de ladera	111
Bibliografía	114
SUBSIDENCIA	116
Dónde se produce la subsidencia	116
Subsidencia y el concepto de tiempo geológico	124
Los peligros de la subsidencia	125
El riesgo de subsidencia en España	126
El papel del geólogo en la mitigación de los daños por subsidencia	129
Bibliografía	129
INUNDACIONES	131
Génesis de las inundaciones	131
La Génesis de las inundaciones y el concepto de Tiempo Geológico	135
Los peligros de las inundaciones	138
Cómo mitigar los efectos de las inundaciones	139
Controversias sobre el control de las inundaciones	140
Las inundaciones en España	142
El papel del geólogo en la predicción y el control de las inundaciones	147
Bibliografía	149
RIESGOS COSTEROS: Ondas de Tormenta, Maremotos y erosión costera	152
Génesis de los Riesgos Costeros	152
La importancia del Sustrato Geológico en la Erosión Costera	156
Riesgos Costeros y el Concepto de Tiempo Geológico	159
Los Peligros de los Riesgos Costeros	163
Las Posibles Consecuencias Globales del Desarrollo Costero	164
El papel del geólogo en la Reducción de los Riesgos Costeros	164
RESUMEN DE LA PARTE III	166
Bibliografía	166
PARTE IV - El Sistema Español de Cobertura de los Riesgos Catastróficos	168
EL CONSORCIO DE COMPENSACION DE SEGUROS	168
Los riesgos catastróficos: el caso español	168
Marco legal de la cobertura	171
¿Cómo y cuándo actúa el Consorcio como asegurador?	172
Los riesgos cubiertos	173
Obligación de aseguramiento	174
Daños indemnizables	174
Sumas aseguradas, franquicia y plazo de carencia	175
Financiación de la cobertura del Consorcio: recargos, provisiones técnicas y garantía del Estado	176
¿Cómo afronta el Consorcio los especiales requerimientos de esta cobertura?	177
La cobertura de los riesgos catastróficos en otros países	178
RESUMEN DE LA PARTE IV	180
APENDICE A - Dónde obtener asistencia técnica de los Geólogos	181
APENDICE B - Dónde obtener la ayuda de las organizaciones aseguradoras	192
INDICE DE PALABRAS CLAVE	195

PROLOGO



España es un país de múltiples paisajes, tras los cuales se encuentra un entorno natural característico que identifica a cada uno de nuestros pueblos. Más de 8.000 Corporaciones Locales atienden, de modo directo e inmediato a los ciudadanos y, gracias a esa proximidad, llegan a conocer sus problemas y a ofrecerles soluciones, con el fin de que pueblos y naturaleza convivan y se desarrollen de un modo armónico.

La peculiar combinación de clima y geología de cada región influye, entre otras cosas, en la variedad del paisaje. Precisamente estos aspectos de la naturaleza pueden representar, en ocasiones, peligros potenciales para los habitantes de una determinada zona, si no se conocen las características y el comportamiento de ambos aspectos en circunstancias concretas.

Llegado este momento, cuando se produce una catástrofe como las que de forma periódica suceden en algunos municipios de nuestro país, el ciudadano busca inmediatamente el apoyo y la ayuda de las autoridades municipales de las que espera, no sólo que tomen las necesarias medidas para paliar los daños que se producen, sino que se coordinen eficazmente con los equipos de protección civil de las Comunidades Autónomas.

Si bien tradicionalmente las medidas paliativas se han tomado a posteriori, y en muchos casos, éstas exceden de la competencia municipal, a través de la Federación Española de Municipios y Provincias, los municipios españoles llevan trabajando duro durante años para ampliar las actuales competencias en materia de protección y educación civil, con objeto de que exista una correcta planificación territorial, diseñada desde los propios municipios, que tenga en cuenta aspectos como el de los riesgos geológicos, y que permita evitar las innecesarias pérdidas que estos riesgos originan, en ocasiones, en personas y bienes.

La educación y concienciación ciudadana, sin duda alguna, se convierte en uno de los factores fundamentales para **la gestión de catástrofes desde la perspectiva municipal**. Por ello, saludo con satisfacción la publicación de esta *Guía Ciudadana de los Riesgos Geológicos* que, dirigida específicamente a la población española con el fin de que comprenda y conozca los riesgos naturales, se convierta en el necesario punto de partida de una labor que busca formar a la ciudadanía; una labor que puede prolongarse en el tiempo pero que finalmente persigue, que en el tramo final de la **Década Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales (ONU)**, se consiga una reducción efectiva de las pérdidas catastróficas que tan gravemente han afectado a nuestros municipios en los últimos años.

Rita Barberá Nolla
Presidenta de la Federación Española de Municipios y Provincias

PREAMBULO



Los riesgos geológicos afectan de una u otra manera a todo el mundo. Incluso las personas que viven en zonas de relativa tranquilidad geológica pueden ver como una catástrofe remota, cuyas imágenes y efectos han podido conocer a través de los medios de difusión globales y de la que perciben una sensación de riesgo más bien lejana, influye en su vida diaria. Ese es el caso del verano de 1992 en todo el mundo, el año mágico de las Olimpiadas de Barcelona y de la Expo de Sevilla, muchos ni siquiera notaron que fue un verano más frío de lo normal como consecuencia de la erupción del Pinatubo en Filipinas.

La percepción que tienen la mayoría de los ciudadanos de este país de los riesgos geológicos es más bien vaga, salvo si les afectan de modo directo, y sin embargo el año 1997, como casi todos los años, ha sido pródigo en catástrofes naturales; los terremotos de Lugo, las inundaciones del Sureste con abundantes carreteras cortadas por deslizamientos y la impresionante avenida de Alicante

de este mismo otoño, han producido cuantiosos daños materiales y lo que es más grave, la pérdida de vidas humanas.

La tendencia natural a justificar las pérdidas como inevitables, procede, en gran medida, de la escasa educación ciudadana sobre los diferentes tipos de riesgos geológicos y de los medios a emplear para prevenirlos.

Precisamente el Estado, como responsable subsidiario de los daños sobre las personas y las propiedades que producen los peligros geológicos, debe ser el primer interesado en potenciar la educación y la formación de los ciudadanos para que sean ellos mismos los que, siendo capaces de valorar el posible riesgo al que se exponen, exijan de las Administraciones que desarrollen normas de planificación que impidan, corrijan o minimicen los riesgos y al mismo tiempo sean individualmente conscientes de tales riesgos y los eviten.

Por este motivo esta versión adaptada a España de la *Guía Ciudadana de los Riesgos Geológicos*, adquiere hoy una especial relevancia, porque repasa todos y cada uno de los posibles riesgos geológicos a los que se exponen los habitantes de nuestro país (suelos expansivos, asbestos, radón, terremotos, volcanes, deslizamientos, subsidencia, inundaciones y riesgos costeros), en un lenguaje asequible para cualquier lector, propone medidas preventivas en cada caso y sugiere, cuando se precise, la asistencia técnica de los profesionales de la geología y de los seguros.

Creo que el texto será de gran ayuda para el público en general, pero en especial para estudiantes, profesores, legisladores, mediadores de seguros, planificadores, arquitectos, ingenieros, abogados y responsables de protección civil, y que sin duda servirá para que, en adelante, los ciudadanos tomen decisiones informadas que les permitan adoptar las adecuadas medidas preventivas y que sus reacciones en situaciones de catástrofe sean prudentes y eficaces.

Excmo Sr D. Clemente Sanz Blanco
Presidente de la Comisión Especial para el Estudio de las Políticas
de Prevención y Asistencia en Situaciones de Catástrofe
Senado Español

PREFACIO



El Consorcio de Compensación de Seguros, sociedad estatal con personalidad jurídica propia, e instrumento plenamente integrado en el sistema español de seguros, cuenta una dilatada historia –quizás no demasiado conocida entre el público en general– en la cobertura aseguradora de los daños producidos en nuestro país como consecuencia de las catástrofes naturales. Realmente pocos sistemas de cobertura de estos riesgos en el mundo pueden hacer gala de la experiencia de que disfruta el Consorcio en este ámbito, en el que viene actuando, cada vez con una mayor eficiencia e implantación, desde comienzos de los años cuarenta.

Desde la perspectiva de su actividad aseguradora de daños por eventos de la naturaleza –en los términos legalmente establecidos– junto con su función primordial de peritación, tramitación e indemnización de los siniestros catastróficos que corresponda, reviste especial interés para el Consorcio cuanto directamente se relaciona con la investigación y estudio en torno a tales eventos, así como la prevención de los daños que éstos son susceptibles de ocasionar. En este sentido, cabe mencionar que dentro de su Programa de Actuación Trienal (1997-1999), nuestra Entidad tiene previsto desarrollar un completo programa de prevención en el que se dedica prioritaria atención a la investigación y al estudio sobre este tipo de riesgos, así como al estímulo de las medidas de autoprotección social frente a los mismos. Ello abre al Consorcio a la colaboración con otras instancias e instituciones, y de forma particular con aquellas que desde el campo de la investigación pueden incidir en el conocimiento de los fenómenos naturales y en la prevención de las catástrofes que de ellos en no pocas ocasiones se derivan.

Por lo anterior, me es especialmente grato poder introducir, con estas breves líneas, la obra que el lector tiene en sus manos, y que es precisamente producto de ese espíritu de colaboración que, en el caso presente, se concreta en apoyar la excelente iniciativa que tuvo el Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de España de publicar esta «Guía Ciudadana de los Riesgos Geológicos», con la esperanza de que, individual y colectivamente, conozcamos mejor los fenómenos de la naturaleza y seamos más conscientes de los riesgos que representan y tomemos las medidas que mejor nos protejan de sus desastrosas consecuencias.

Madrid, octubre de 1997.
M.ª del Pilar González de Frutos,
Presidenta del Consorcio de
Compensación de Seguros

INTRODUCCION

Si alguna vez ha tenido dudas sobre el verdadero peligro de los riesgos geológicos, como los asbestos, el radón, los terremotos, etc. que son mencionados pero no muy bien explicados por los medios de comunicación, este libro es sin duda para Ud. La edición americana de este libro la encargó el Instituto Americano de los Geólogos Profesionales (American Institute of Professional Geologists, AIPG) siendo adaptada y realizada la edición española por un equipo de geólogos especialistas del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de España, a fin de proporcionar conocimientos a los lectores con el propósito de salvar vidas y haciendas. Explica los peligros geológicos, los riesgos que plantean estos peligros y como ayudan los geólogos a mitigar tales riesgos. Redactamos este libro para lectores no científicos, en especial para planificadores, contratistas, propietarios de fincas, políticos, aseguradores, asegurados, financieros, avalistas, prestatarios, profesores de ciencias y estudiantes. Aunque los geólogos tienen conocimientos que pueden reducir los riesgos, el valor de dichos conocimientos aumentará enormemente cuando también la mayoría de los ciudadanos entiendan los peligros y exijan políticas públicas que garanticen el empleo de los conocimientos disponibles. Muchas de las pérdidas de las que se mencionan en este libro, son evitables si la gente aplica los conocimientos de que se dispone hoy en día. Los conocimientos y la voluntad de actuar sobre los mismos pueden prevenir escenarios como los que siguen:

Una joven pareja de León gasta todos sus ahorros en pagar la entrada para adquirir su primera casa. Dos meses más tarde el suelo se hundió en la esquina noreste de su casa de ladrillos. Las cimentaciones se desintegran, las puertas se descuadran, las ventanas se rompen, las paredes se agrietan y finalmente la vivienda es desahuciada. La pareja se entera que su seguro no cubre los daños por subsidencia. En España se pueden gestionar seguros que cubran los daños por subsidencia debida a explotaciones subterráneas abandonadas; los jóvenes propietarios simplemente nunca se dieron cuenta de que podrían necesitarlos. La subsidencia debida a las minas nunca se discutió en las clases del colegio.

En un vecindario del Sur de Madrid, las aceras y las calles comenzaron a elevarse y ondularse. Dos años más tarde varias casas de la manzana comenzaron a sufrir agrietamiento en las cimentaciones como resultado de los mismos suelos expansivos sobre los que se había construido el proyecto inmobiliario. El precio de las propiedades de la zona se vino abajo. Desde hacía muchos años se disponía de los mapas que mostraban la situación de los suelos expansivos, pero ningún comprador se dignó siquiera a consultarlos.

Un fallo en el diseño o construcción de un terraplén de autovía sobre una ladera en Guipúzcoa pudo ser la causa de la rotura del mismo. La resistencia del relleno no fue suficiente para soportar las presiones de agua originadas por las frecuentes lluvias en la zona, produciéndose una rotura circular que a su vez empujó el terreno de la base del terraplén, sepultando una vivienda y matando a dos personas en su interior.

Las viviendas y los edificios públicos del norte de Armenia están hechos de mampostería de piedra y una estructura de hormigón compuesto. Al final del invierno, un terremoto destruye dichas estructuras. En un momento en que mueren 25.000 personas entre los edificios que se colapsan y son heridas otras 15.000, sólo queda vivo un 20% del personal sanitario de la zona para atender a todas las bajas, el otro 80% ha muerto aplastado por el colapso de los muros de hormigón de sus hospitales. Los servicios quedan destruidos y más de medio millón de personas quedan sin hogar, sin calefacción ni agua y a temperaturas bajo cero. Las viviendas y los hospitales no estaban adecuadamente diseñados para resistir las vibraciones, a pesar de que el historial de terremotos de la región estaba bien documentado.

La causa de estas desgracias, todas basadas en casos reales documentados, son los **riesgos geológicos**, fenómenos geológicos que plantean generalmente peligros para vidas y propiedades. Se producen cuando individuos o comunidades enteras hacen planes sin tener una adecuada consideración de la constitución geológica de la zona. La ignorancia es el catalizador primario que proporciona a los riesgos geológicos un poder especial para producir daños. Los ciudadanos que adquieren una formación en Geología no son tan propensos a sufrir pérdidas de vidas y propiedades como resultado de los riesgos geológicos, ni tampoco es probable que adquieran una propiedad que en realidad no es adecuada para los usos que se le pretenden dar.

Con demasiada frecuencia la experiencia y los conocimientos geológicos no se tienen en cuenta a la hora de tomar decisiones que afectan a la calidad del agua, la planificación del territorio, el almacenamiento de residuos y las normas de higiene industrial y doméstica. Esto podría deberse a que muy pocos ciudadanos tienen una adecuada educación geológica como para permitirles apreciar la importancia de dicha ciencia en las aplicaciones medioambientales.

Un ejemplo de los beneficios que se derivan de la educación del público puede encontrarse en el campo de la salud. La longevidad y el bienestar no han resultado simplemente de los avances y conocimientos médicos de unos pocos expertos. Los importantes y apreciables beneficios fueron posibles sólo después de que una población educada en estos temas comprendiera las causas de las enfermedades y tomaran ellos mismos medidas preventivas, teniendo comportamientos higiénicos, vacunándose y consultando a los expertos directamente con respecto a la medicación. La educación falla estrepitosamente cuando los conocimientos relativos al bienestar público no son

transmitidos correctamente desde los expertos al público en general. Los años desde el 1990 al 2000, han sido declarados la **Década Internacional para la Reducción de los Riesgos Geológicos**. Al aproximarnos al siglo XXI nos damos cuenta que la educación sobre las Ciencias de la Tierra no ha llegado a la población de un modo comparable a la de las ciencias de la vida o de la salud. Este desconocimiento de la Geología es resultado de la escasa atención que se le presta durante la educación básica a las Ciencias de la Tierra y la baja calidad de los cursos relativos a dichas materias. En la enseñanza de Bachillerato o incluso en la Universidad, los responsables educativos suponen que "Cualquiera puede enseñar Ciencias de la Tierra". En muchas ocasiones los profesores encargados de dichos cursos no tienen la preparación adecuada, ya que ellos mismos no han cursado durante su formación ninguna materia geológica, lo que finalmente conduce a situaciones que nos se tolerarían en ninguna otra disciplina científica como las matemáticas, la biología, la química o la física, es decir, que profesores sin la titulación o formación mínima adecuada en una ciencia específica asuman la responsabilidad de enseñarla.

Una de las razones por la que muchos procesos geológicos se convierten en peligrosos, es porque a muchos ciudadanos no se les educa en la comprensión y la secuencia de eventos en términos del tiempo geológico (inmensos lapsos de tiempo que acompañan a los eventos naturales que se producen de manera repetitiva cada varios siglos, cada miles de años o incluso cada diez millones de años). Cuando se comprende cómo funcionan estos procesos en el transcurso del tiempo, se puede realmente entender el nivel de riesgo, sin dejarse llevar, bien por la complacencia que produce la ignorancia, o por la preocupación que produce la especulación salvaje y la exageración.

Este libro es un tipo de libro científico muy práctico porque está diseñado para permitir al lector utilizar la información interesante, valorar si algún riesgo amenaza a su propiedad y después obtener ayuda para realizar una evaluación detallada, planificar los remedios necesarios e incluso obtener cobertura por seguros. Los Apéndices A y B incluyen las principales referencias de ayuda en esos aspectos. El borrador de la edición americana de este libro se utilizó en cursos para estudiantes de ingeniería civil como primera introducción a las ciencias geológicas en sus aspectos aplicados.

El texto se complementa con muchas ilustraciones en color tomadas tanto de la edición americana como de riesgos geológicos en España, gracias a las cuales una persona que no tenga formación geológica puede comprender sus contenidos rápidamente. Dado que los riesgos geológicos no suelen estar incluidos en muchos cursos de introducción a las Ciencias de la Tierra o a la Geología, este libro es un extraordinario complemento para dichos cursos. Las referencias bibliográficas de la edición americana y española de cada capítulo sirven para satisfacer la curiosidad, incluso de los profesores de Geología. Dado que actualmente existen reproductores de vídeo, tanto en los hogares como en las escuelas, se ha recopilado una lista de cintas de vídeo, diferenciando las referencias de la edición americana y de la española, sobre los riesgos geológicos. Los profesores encontrarán dichas listas especialmente útiles.

La contaminación del agua, el almacenamiento de residuos y probablemente el calentamiento global y la reducción de la capa de ozono son riesgos tecnológicos que precisan de un amplio conocimiento de la Geología para entenderlos y combatirlos. Tales áreas son además interdisciplinarias con la biología, la ingeniería, la química y las ciencias ambientales. En este caso nos centraremos fundamentalmente en los riesgos naturales que pertenecen al campo de la Geología.

Cada capítulo de la edición americana de este libro ha sido revisado por especialistas españoles, no siendo una mera traducción literal de la edición americana, sino que se han adaptado a las particularidades concretas de los riesgos geológicos en España. A este fin, de acuerdo con las normas de edición de los editores, los autores de la versión española, han desarrollado sus respectivos capítulos de acuerdo con la incidencia de cada tipo de riesgo geológico en España, sustituyendo y aumentando con respecto a la edición americana, algunas ilustraciones, gráficas, tablas, estadísticas, mapas, ejemplos concretos, etc., por sus correspondientes referencias a nuestro país. Por otra parte, en cada capítulo se ha incorporado un apartado concreto sobre la importancia de cada tipo de riesgo en España, así como una Parte IV dedicada a "El Sistema Español de Riesgos Catastróficos", realizada por el Consorcio de Compensación de Seguros. Las afirmaciones que se vierten en sus páginas se basan en los conocimientos de que se dispone en el momento en que se han redactado. Algunos temas, como los asbestos y el radón, son controvertidos, y se ha intentado presentar los argumentos en conflicto de la manera más equilibrada posible. Las argumentaciones que se plasman aquí, reflejan la mejor representación del autor de los conocimientos actuales, pero no representan ninguna política oficial o el respaldo del Instituto Americano de los Geólogos Profesionales o del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de España.

Los fenómenos geológicos son fascinantes y el atractivo de aprender más sobre ellos, es lo que conduce a los geólogos al campo, algunas veces explorando volcanes activos o en los laboratorios, donde incluso a altas horas de la noche es difícil desviar la atención de la emoción que produce el descubrir y aprender. Los riesgos geológicos son una ciencia fascinante, como el lector descubrirá enseguida. Va Ud a entrar en las páginas siguientes en un recorrido guiado por un planeta dinámico, ya que afecta los lugares donde vivimos y trabajamos y saldrá de estas páginas contemplando viviendas, pendientes, autopistas, presas, ríos y costas de un modo que nunca antes lo había hecho. ¡Bienvenido a una maravillosa y útil aventura de aprendizaje!

Agradecimientos

La transcripción extractada del capítulo de agradecimientos de la edición americana de este libro titulado «*The Citizens' Guide to Geological Hazards*» redactada por el coautor principal **Edward B. Nuhfer**, permite entender al lector de esta edición española, la importante y compleja labor llevada a cabo en la realización del libro original americano:

«La publicación a todo color de un libro de esta magnitud, fue un importante compromiso financiero para una organización del tamaño del Instituto Americano de Geólogos Profesionales (AIPG). El valor y el compromiso del Director Ejecutivo y del Comité Ejecutivo del AIPG desde 1990 a 1993 garantizó que este libro se convirtiera en un producto real para el público en general, más que una simple aspiración. La financiación para producir y publicar este libro procedió fundamentalmente del AIPG. Dicha financiación cubrió los gastos del coautor principal para desarrollar el trabajo en las oficinas centrales del AIPG durante el verano de 1991 para preparar el manuscrito a partir de su propio material y de los archivos proporcionados por los coautores americanos. Su antiguo empleador, la Universidad de Wisconsin en Platteville, también le proporcionó tiempo para planificar el diseño y producir el primer borrador gracias a un año sabático durante 1988 y 1989 y la Universidad de Colorado en Denver, le apoyó para poder terminar este proyecto. El personal del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) también se merecen una mención especial por mantener una excelente colección de fotografías y de videos en el Centro Federal de Denver. También fue de agradecer la especial experiencia de los revisores técnicos del USGS de los capítulos de asbestos, radón y volcanes. Técnicos del Instituto Smithsonian, de la Administración Federal de Control de Emergencias (FEMA), del Cuerpo de Ingenieros del Ejército Norteamericano y, de las Secciones de Meteorología y de Hidrología del Servicio Nacional Meteorológico, contribuyeron a editar los datos que aparecen en partes del texto, las tablas y los apéndices. Los responsables del Programa Nacional de Aseguramiento por Avenidas del FEMA proporcionaron muchas sugerencias editoriales útiles sobre el tema de las inundaciones y los seguros. Profesores de las Universidades de Colorado, Dakota del Norte, Duke y Wisconsin, proporcionaron su experiencia en la revisión y aportaron ilustraciones para los diferentes capítulos del libro. Otros profesionales de la industria privada como LaMoreaux Associated, el Instituto de Información sobre Seguros y el Comité Nacional sobre los Seguros para Propiedades, prestaron su experiencia en la revisión del texto y contactos con expertos. La facilidad de lectura de este libro se debe en gran medida a dos estudiantes de educación secundaria que señalaron los pasajes difíciles de leer, aburridos o que simplemente era necesario reescribir.»

Certificada la excelente calidad de la edición americana de este libro y la necesidad de abordar la realización de una edición adaptada para España, la Junta de Gobierno del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de España aprobó, a propuesta de los autores de la edición española, la adquisición de los derechos de edición al Instituto Americano de Geólogos Profesionales (AIPG). Seguidamente y con motivo de la participación de los geólogos especialistas en la Comisión Especial del Senado Español sobre la Prevención y Asistencia en Situaciones de Catástrofes, presidida por el Senador **Clemente Sanz**, se propuso a los comparecientes la traducción y adaptación de cada uno de los capítulos del libro americano con la siguiente división del trabajo: Geología, Geólogos y Riesgos Geológicos: **Luis Suárez** (ICOG); Riesgos causados por materiales geológicos: **Manuel Regueiro** (UCM/ITGE); Riesgos de Procesos Geológicos: Terremotos: **Ramón Capote** (UCM); Volcanes: **José Luis Barrera** (Consultor); Deslizamientos y aludes: **Luis I. González de Vallejo** (UCM) y **Mercedes Ferrer** (ITGE); Subsistencia: **Felix Quiralte** (Iberinsa); Inundaciones: **Juan José Durán** (ITGE); Riesgos Costeros: **Máximo Hernández** (Consultor); y El Sistema Español de Cobertura de Riesgos Catastróficos: **Consorcio de Compensación de Seguros**.

Los editores de la versión española agradecen a los mencionados autores el extraordinario trabajo realizado en cada uno de los capítulos y aprovechan estas líneas para expresar su agradecimiento a las siguientes instituciones, empresas y particulares:

A la **Junta del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de España (ICOG)**, por el apoyo institucional prestado en la edición de este libro.

A la **U. N. de Mantenimiento de Infraestructura de RENFE**, al **Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE)** y al **Consejo de Seguridad Nuclear (CSN)**, por su contribución a la información técnica contenida en este libro.

Al **Consorcio de Compensación de Seguros**, por su apoyo financiero en la adquisición y difusión del libro.

A **Luis García Prieto**, **Ana García Barona** y **Alfonso Nájera Prieto**, del Consorcio de Compensación de Seguros por su contribución en la realización de la Parte IV y el apéndice B y en la adaptación de cada capítulo a la cobertura legal de riesgos en España.

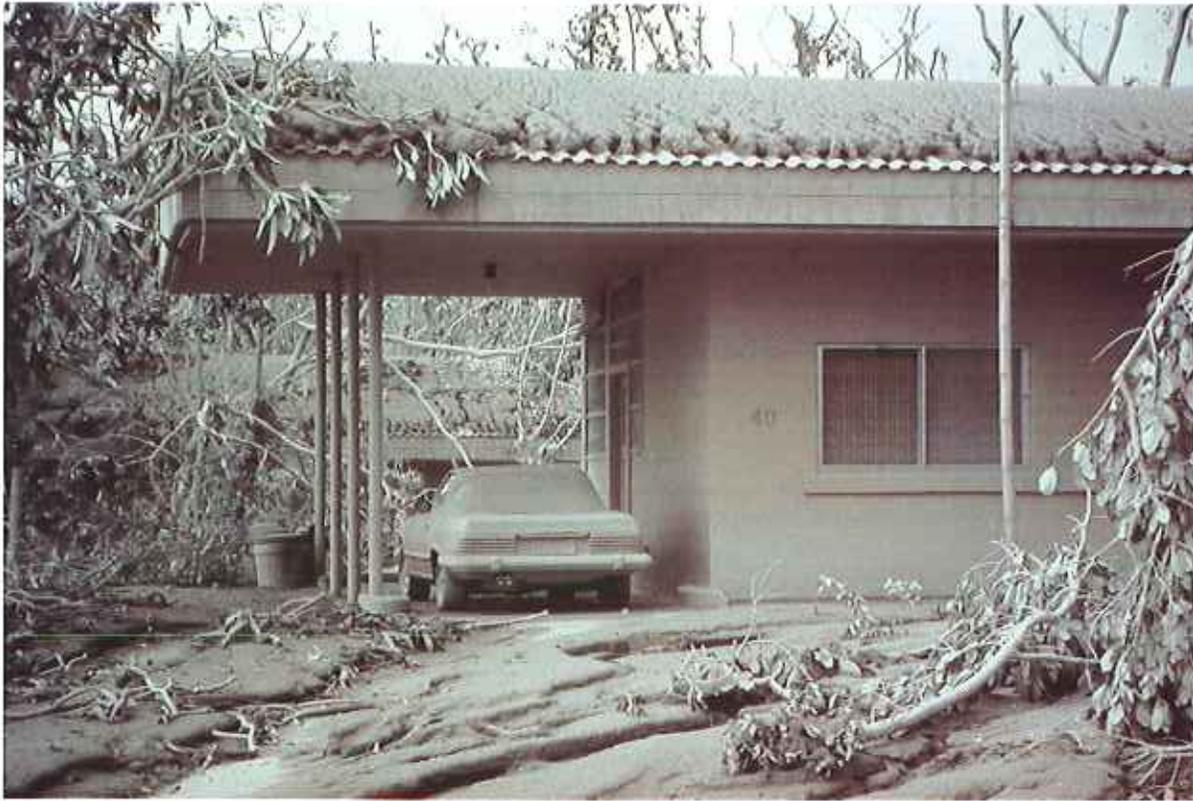
A **Clemente Sanz Blanco**, Presidente de la Comisión Especial del Senado Español sobre la Prevención y Asistencia en Situaciones de Catástrofes, por su apoyo personal e institucional en la edición de este libro.

A **José Antonio Saez de Santamaría**, Jefe del Departamento de Geología de Huesca, por su contribución acerca de la subsidencia minera en España, a **Luis Santiago Quindós Poncela**, profesor de la Cátedra de Física Médica de la Universidad de Cantabria, por la ingente información aportada sobre el riesgo de radón en España, a **Carlos Busón** por su aportación a la comercialización del libro y a **Berta García Pérez** por su colaboración en la revisión del texto definitivo.

Al personal administrativo del ICOG, **Enrique Pampliega** y **Fátima Camacho**, por su inestimable colaboración en la edición y distribución del libro.

A **Daniel García Magariños**, **Miguel Angel Verdugo Bravo**, **José M.ª Morales** y **Roberto Parra**, que han realizado la Prestación Social Sustitutoria en el ICOG, por su desinteresada colaboración en la realización de la presente edición española del libro.

Luis Suárez y Manuel Regueiro, 1997



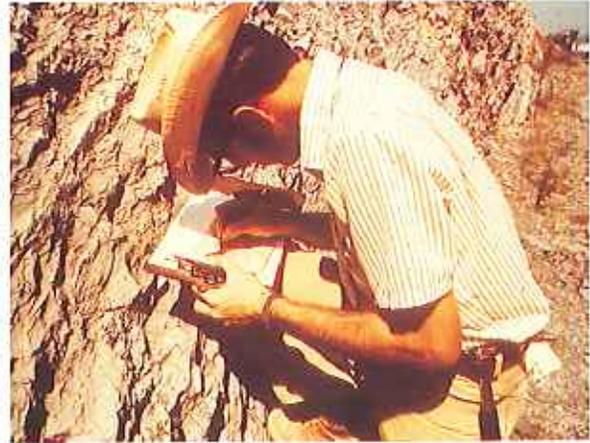
A todo el mundo le afectan los riesgos geológicos de alguna manera. Esta «nevada tropical», que en realidad se trata de cenizas volcánicas del Monte Pinatubo en Filipinas, forzó el cierre de la cercana Base Aérea Clark en el verano de 1991. Aquellos que contemplaban los rojos atardeceres de finales de 1991 y principios de 1992 todavía vieron las cenizas del Monte Pinatubo ascendiendo a la parte superior de la atmósfera. Las cenizas volcánicas en la atmósfera superior reflejan los rayos solares que de otra forma serían absorbidos y transformados en calor en el planeta Tierra. La erupción del Pinatubo tuvo además un elevado contenido de azufre que, según dedujeron los científicos en 1992, influyó tanto en las alteraciones climáticas, como el contenido en cenizas. Los científicos en el verano de 1991 pronosticaron para 1992 un verano más frío en todo el planeta, como resultado de la erupción de cenizas del Pinatubo; las observaciones realizadas en 1992 ratificaron la predicción. La erupción del Pinatubo afectó al clima global en ese año más que ninguna otra erupción desde 1883 en que se produjo la erupción del Krakatoa en Indonesia. (Fotografía cortesía del Observatorio Volcánico de las Cascadas del USGS, Vancouver, Washington.)

Parte I - Geología, Geólogos y Riesgos Geológicos

Los riesgos geológicos cuestan anualmente más de 100.000 vidas y generan daños de billones de pesetas a la economía mundial. Se ha demostrado repetidamente, que la participación de geólogos profesionales en el estudio de estos procesos puede minimizar los riesgos geológicos y reducir sus pérdidas.

La Geología es la ciencia de *los materiales, los procesos y los cambios a través de inmensos periodos de tiempo (tiempo geológico)*. Entre estos materiales se incluyen los sólidos, los líquidos y los gases del planeta, y entre los procesos se encuentran las transformaciones físicas y químicas que tienen lugar fuera y dentro del Planeta. La geología abarca la historia de la vida y la interacción entre los organismos vivos (incluyendo los seres humanos) y el planeta en el que viven. En particular, la geología considera la velocidad y naturaleza de los cambios, así como el orden en que se suceden en la historia de la Tierra.

Los Geólogos son los profesionales que poseen la formación para trabajar en cualquier rama de la geología. En España, de acuerdo con el artículo 3.2 de la Ley 2/1974, reguladora de los Colegios Profesionales, modificada por la Ley 7/1997, de medidas liberalizadoras en materia de Colegios Profesionales, «es requisito indispensable para el ejercicio de las profesiones colegiadas, hallarse incorporado al Colegio correspondiente». Dentro del ámbito de las profesiones colegiadas,



Un geólogo toma datos de un afloramiento rocoso para la realización de un mapa geológico. Estos mapas son imprescindibles para la planificación del territorio y para el estudio de los riesgos geológicos, los cuales suelen fundamentarse en estudios geológicos de campo. Estos estudios suelen iniciarse con una recopilación general de datos para elaborar planos regionales o la toma de muestras y datos de un emplazamiento en concreto. (Foto de Paul Moser).

Geólogos dedicados al estudio de los efectos de las cenizas volcánicas procedentes del Monte Saint Helens en los lagos del entorno, recogen una muestra correspondiente a la deposición de un año de un dispositivo de recogida y datación colocado en el lago Merrill en Washington (EE.UU.) (Foto de Walter E. Dean).



Víctimas causadas por riesgos geológicos específicos en comparación con otras catástrofes sociales más conocidas

Causas de las víctimas	Número de víctimas
Guerras en comparación con Terremotos	
Muertos norteamericanos en batallas durante la Segunda Guerra Mundial	292.131
Bomba atómica de Hiroshima, Japón, 1945	entre 80.000 y 200.000
TERREMOTO de Tangshan, 1976	242.000
Asesinatos en EE.UU. en comparación con una sola erupción volcánica	
Asesinatos en E.UU. en 1990	20.045
ERUPCION VOLCANICA en Colombia, 1985	22.000
Muertes por SIDA en EE.UU. en comparación con un solo deslizamiento de tierras	
Muertes por SIDA en EE.UU. hasta abril de 1992	141.200
DESLIZAMIENTOS DE TIERRA, Kansu, China, 1920	200.000
El mayor genocidio en comparación con las mayores inundaciones	
El Holocausto, Europa, 1939-45	6.000.000
INUNDACION, Río Amarillo, China, 1887	entre 900.000 y 6.000.000
INUNDACION, Río Yang Tse, China, 1931	3.700.000

Los datos de las catástrofes sociales más conocidas han sido tomados de *The World Almanac*, 1993, Nueva York, Pharos Books; y de *The Universal Almanac*, 1993, Kansas City, Andrews and McMeel; las catástrofes geológicas han sido recopiladas a partir de Tufry, 1969, y de la Oficina de asistencia a Catástrofes en el Extranjero, 1992, *Disaster History*.

se incluye la profesión de geólogo, de acuerdo con la Ley 73/1978, por la que se creó el Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de España (ICOG), cuyos Estatutos fueron aprobados por Real Decreto 1709/1981. Estos Estatutos en su artículo 20 regulan que «para ejercer la profesión de Geólogo son requisitos indispensables: a) Estar en posesión del título académico correspondiente (Licenciado o Doctor en Geología) y b) Estar colegiado en el Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de España.» A sensu contrario, ningún Licenciado o Doctor en Geología puede legalmente conceptuarse o ejercer la profesión de geólogo si no está colegiado en el ICOG, pudiendo ser el citado ejercicio, de acuerdo con el artículo 21 de los Estatutos del Colegio, «de forma libre, individual o asociado, en relación laboral, con empresas, y organismos públicos o privados, al servicio de la Administración del Estado, de entes autonómicos o locales, o en cualquier otra forma reconocida».

Los geólogos, que ejercen su profesión en la investigación y alumbramiento de las aguas subterráneas, emplazamientos de almacenamientos de residuos, estudios de impacto ambiental, estudio de cimentaciones para trabajos de ingeniería, valoración de riesgos geológicos..., trabajan en áreas que están especialmente relacionadas con el bienestar público.

Los costes de la ignorancia geológica son asombrosos. La mayoría de estas pérdidas se pueden evitar;

sin embargo, se producen cuando la necesaria evaluación geológica no se realiza o se realiza mal, por alguien que carezca de la preparación necesaria. No es probable que los ciudadanos, que relacionan la geología con el estudio de los dinosaurios, la producción de petróleo y gas, o la búsqueda de metales preciosos, consulten con un geólogo al comprar una propiedad, tomar decisiones sobre los usos del territorio, aprobar una legislación medioambiental, o redactar normas para la construcción de edificios. Sin embargo, en estas áreas de la vida cotidiana es donde la pericia profesional de los geólogos puede evitar pérdidas importantes.

Los geólogos son esenciales para la realización de planes regionales para enfrentarse a los principales riesgos geológicos. Los datos que proporcionan los geólogos sobre la historia y la naturaleza inmediata de cualquier riesgo geológico son la base para la valoración de riesgos, la preparación de emergencias, la planificación del uso del suelo, y de los programas de concienciación ciudadana. Las principales tareas profesionales de los geólogos en proyectos regionales o autonómicos son: (1) Determinar qué riesgos pueden existir en el área de estudio; (2) Investigarlos con bastante profundidad como para proporcionar datos que permitan caracterizar los riesgos y prevenir sus efectos; (3) Reunir y comunicar la información pertinente de forma concisa y completa a otros miembros del equipo (tales como ingenieros, planificadores, representantes de las

autoridades y propietarios); y (4) Garantizar que se tienen en cuenta los riesgos en el plan de trabajo final.

Los geólogos son igualmente indispensables en el estudio y evaluación de emplazamientos locales. Las evaluaciones de emplazamientos deben preceder a todo tipo de proyectos, desde la construcción de una vivienda familiar hasta la instalación de una central nuclear. Los geólogos trabajan de forma eficaz con propietarios, ingenieros civiles, arquitectos, constructores y representantes de las Administraciones Públicas.

El geólogo debe responder, al menos, a **dos importantes preguntas**: "¿Cómo afectarán las condiciones geológicas al uso previsto de un emplazamiento concre-

to?" (Por ejemplo, ¿Cumplirá una casa recién construida el periodo de vida útil previsto?) y "¿Hasta qué punto el emplazamiento de la obra puede causar impactos adversos a través de su entorno geológico?" (p.e.: Si el tanque de almacenamiento tuviera filtraciones, ¿Es probable que contamine las aguas subterráneas de un área importante?).

Entre los **materiales geológicos peligrosos** se pueden mencionar los **suelos expansivos**, que incrementan su volumen en presencia de agua, por lo que pueden ejercer una presión tan fuerte como para levantar pavimentos y cimentaciones; los **minerales tóxicos**, como ciertos tipos de asbestos, que pueden ser peligrosos para la salud, y los **gases tóxicos**, entre los que se puede incluir el gas radón.

Coste económico de los riesgos geológicos en los EE.UU.

Riesgo geológico	Coste en dólares de 1990	Fuentes
Riesgos por materiales		
Suelos expansivos	De 6.000 a 11.000 millones	Jones and Holtz, 1973, Civil Engrg. v. 43, n. 8, pp. 49-51; Krohn and Slosson, 1980, ASCE Proc. 4 ^o Intl. Conf. Swelling Soils pp. 596-608
Aridos reactivos (1)	Sin estimaciones	—
Filtraciones ácidas	365 millones anuales para su control; de 13 a 54 miles de millones acumulados para su reparación	USBM, 1985, IC 9027; Informe del Senado, 1977, 95-128
Asbestos	12 a 75 miles de millones acumulados para la reparación de viviendas y edificios comerciales; el total supera 100.000 millones, incluyendo demandas y ejecuciones	Croke and others., 1989, The Environmental Professional, v. 11, pp. 256-263. Malcom Ross, USGS, 1993, comunicación personal. Los costes dependen de la extensión y el tipo de remediación realizada; la eliminación es la opción más costosa
Radón	100.000 millones para reducir los niveles a los recomendados por la EPA de 4 pCi/L	La estimación está basada en aplicar remediación a un tercio de los hogares de EE.UU. con un coste de 2.500 dólares cada uno más los costes energéticos y de los edificios públicos
Riesgos por procesos		
Terremotos	230 millones al año en la década anterior a 1989; más de 6.000 millones en 1989	USGS, 1978, Prof. Paper 950; Ward and Page, 1990, Folleto del USGS. "The Loma Prieta Earthquake of October 17, 1989"
Volcanes	4.000 millones en 1980; varios millones al año en daños a aviones	Circulares 1065 (1991) y 1073 (1992) del USGS
Deslizamientos de tierras y avalanchas	2.000 millones ó 0,5 millones al año	Schuster & Fleming, 1986, Bull. Assoc. Engrg. Geols., v. 23, pp. 11-28 / Armstrong & Willians 1986, The Avalanche Book
Subsistencia (2) y permafrost (3)	Al menos 125 millones anuales por subsistencia causada por la actividad humana; 5 millones anuales de subsistencia por karst	Holzer 1984, GSA Reviews in Engr. Geology VI; FEMA, 1980, Subsidence Task Force Report
Inundaciones	Entre 3.000 y 4.000 millones al año	USGS Prof. Paper 950
Ondas de tormenta (4) y Riesgos costeros	700 millones al año en erosión costera; más de 40.000 en huracanes y olas de tormenta (1989-principios de 1993)	Sorensen y Mitchell, 1975 Univ. CO Institute of Behavioral Sci. NSF-RA-E-75.014; Inst. of Behavioral Sci., comunicación personal

*Los costes de las fechas indicadas en la columna "FUENTES" se mencionan en términos de dólares de 1990. Con ésto se ignoran los cambios en la población y en los usos del suelo desde que se realizó el estudio original, pero da una aproximación comparativa razonable entre los riesgos. (1) **Los áridos** son substancias como la arena, la grava o la roca machacada que se suelen mezclar con cemento para hacer hormigón. (2) **La subsistencia** es un hundimiento del terreno debido a un soporte insuficiente del subsuelo. (3) **El Permafrost** consiste en terreno normalmente congelado en regiones alpinas o polares, que se puede descongelar brevemente en las temporadas cálidas o por actividades y flujos humanos. (4) **Las ondas de tormenta** tienen lugar cuando las condiciones meteorológicas causan una repentina elevación local en el nivel de mar que causa un apilamiento de agua a lo largo de una costa, especialmente cuando coinciden fuertes vientos hacia la costa con periodos de marea alta. Entonces se producen grandes inundaciones en los niveles bajos de las llanuras de inundación de los ríos y en las llanuras costeras.

Los **procesos geológicos peligrosos** más conocidos para el público son los que tienen lugar de forma repentina. Los **terremotos** son producidos por el deslizamiento rápido de fallas, los **volcanes** por magma en ascensión, los **corrimientos de tierras**, por movimientos instantáneos de materiales geológicos bajo la fuerza de la gravedad y las **inundaciones** por la combinación de eventos meteorológicos y el uso del suelo. Todos estos procesos producen pérdidas cuantiosas y permiten la publicación de grandes titulares en los medios de comunicación. Otros procesos geológicos, como las **reptaciones** (lentos deslizamientos de suelos, que a menudo hacen que se descoloquen postes de vallado o que se rompan las cimentaciones de edificios antiguos), la **elevación por heladas** (elevación del terreno debido a las heladas estacionales de los niveles superficiales del mismo) y la **subsistencia del terreno**, actúan más lentamente y en regiones más amplias. Estos procesos más lentos tienen su importancia en la economía. La interacción humana puede ser un factor importante en el desencadenamiento o aceleración de estos procesos naturales.

La falta de conciencia de los sucesos que ocurren en el tiempo geológico provoca una complacencia que en ocasiones es fatal. Es difícil percibir los peligros naturales en un área donde han vivido generaciones con seguridad y comodidad, debido a que la mayoría de los riesgos geológicos no tienen lugar en una escala de tiempo que permita percibirlos por la experiencia de una vida. Sin embargo, el desarrollo humano dentro de un área de riesgo tiene inevitablemente consecuencias para sus habitantes. Cientos de miles de personas desafortunadas que han perdido la vida en catástrofes geológicas como los corrimientos de tierras, las inundaciones o las erupciones volcánicas se sintieron seguras hasta el último momento. En junio de 1991, la base aérea de Clark en Filipinas fue evacuada cuando el Monte Pinatubo, que había estado tranquilo durante 600 años, entró en erupción poniendo en peligro vidas y propiedades. Si se hubiera realizado una encuesta a los clientes del camping «Las Nieves» en Biescas, en los días anteriores a la inundación torrencial del 7 de agosto de 1996, que causó ochenta y dos víctimas, casi en su totalidad hubieran contestado que el camping era seguro. Esta respuesta no es un problema de falta de prudencia, sino de la habitual falta de conciencia de los ciudadanos ante los fenómenos geológicos que ocurren en un tiempo geológico de difícil percepción para la normal experiencia de las personas.

Los riesgos geológicos no son triviales. En términos de pérdidas personales, los riesgos geológicos son comparables a las peores catástrofes de la sociedad contemporánea. Ciertos eventos geológicos han acabado de una sola vez con más vidas que el número actual

de habitantes de Oviedo, la capital del Principado de Asturias (200.000 hab.). Al incrementarse la densidad de población en zonas urbanas y aumentar el desarrollo del territorio, aumenta la importancia potencial de pérdidas personales o materiales.

En España el Instituto Geológico y Minero de España (I.G.M.E.) ha elaborado en 1987 un importante documento titulado «**Impacto económico y social de los Riesgos Geológicos en España**», cuyo contenido resumimos seguidamente.

El citado estudio evalúa de forma orientativa las posibles pérdidas económicas debidas a los riesgos geológicos en España para el horizonte de los próximos treinta años, estimándose el coste parcial al que contribuye cada tipo de riesgo y su distribución geográfica. La metodología seguida está basada en el *Master Plan for California (1973)*, modificándose parte de sus criterios, tanto en cuestiones conceptuales como en la necesaria adaptación a la casuística española.

El territorio español ha quedado dividido en 1.078 cuadrículas y en cada una de ellas se ha analizado la incidencia específica de los siguientes tipos de riesgos geológicos: terremotos, fallas activas, tsunamis, volcanes, inundaciones, erosión de suelos, deslizamientos y movimientos de terreno, expansividad en suelos, hundimientos del terreno y erosión costera.

El proceso metodológico seguido ha comprendido los siguientes pasos: 1) Identificación geológica del riesgo, 2) Distribución geográfica, 3) Grado de peligrosidad, 4) Inventario de pérdidas y daños asociados a los riesgos, 5) Población afectada y expuesta a cada riesgo, 6) Pérdidas por persona / suceso, según el grado de peligrosidad, 7) Pérdidas totales para un período de 30 años (período de retorno elegido), 8) Pérdidas potenciales de vidas y 9) Análisis beneficio - coste.

En el cálculo de las pérdidas se han establecido las siguientes hipótesis de riesgo:

- Riesgo máximo, equivalente a una situación en la que se produce el máximo suceso histórico ocurrido.
- Riesgo medio, situación en la que se produce el suceso histórico más frecuente o el equivalente a la mitad del período de retorno del máximo suceso histórico.

Para la hipótesis de riesgo máximo las pérdidas totales alcanzan la cifra de 16,2 billones de pesetas, cifra en la que se incluye un crecimiento económico del 2% anual a lo largo de los treinta años considerados (1986 - 2016), actualizadas a 1997.

Para las hipótesis de riesgo medio las pérdidas totales son de 9,8 billones de pesetas, actualizadas a 1997.

Los riesgos más importantes en cuanto a pérdidas son los siguientes (Figuras 1.1 y 1.2):

Hipótesis riesgo máximo	
Inundaciones	34,8%
Terremotos	33,1%
Hipótesis riesgo medio	
Inundaciones	51,0%
Erosión suelos	17,5%

En las figuras 1.3 y 1.4 se indican también los resultados de las pérdidas totales, tanto en el supuesto de que no se mejoren las actuales medidas de prevención y control de riesgos, como si se aplicaran medidas de mitigación.

La máxima relación entre el beneficio, expresado como la reducción de pérdidas de aplicar medidas, y el coste de dichas medidas, se obtiene en la expansividad de suelos con una relación del 19,8, seguida por los deslizamientos y movimientos del terreno con un 8,7, y los terremotos con un 5.

La eficacia de las medidas de reducción de pérdidas se traduce en una posible disminución de 4,69 billones de pesetas, en el caso de riesgo máximo, y de 2,87 billones de pesetas para el riesgo medio. Las pérdidas totales resultantes, si se aplican tales medidas, serían de 3,41 billones de pesetas o de 2,1 billones de pesetas, según la hipótesis de riesgo considerada.

La distribución geográfica de pérdidas económicas para la hipótesis de riesgo máximo y medio se presenta en las Figuras 1.5 y 1.6. Las comunidades autónomas más expuestas a los riesgos geológicos son:

Riesgo máximo (*)	
Andalucía	37,0%
Valencia	14,7%
Cataluña	12,1%
Murcia	12,0%
Riesgo medio (*)	
Andalucía	22,5%
Valencia	22,5%
Cataluña	18,6%
Murcia	11,3%

(*) % de pérdidas sobre el total.

Con respecto a la incidencia sobre las vidas humanas, con carácter orientativo, se han estimado ciertos intervalos de acuerdo con la hipótesis de riesgo considerada. Estos intervalos pueden variar entre 7.000 a 40.000 muertos (riesgo máximo) y de 500 a 1.000 muertos (riesgo medio) para el período de treinta años.

La repercusión de los riesgos geológicos en España sobre su economía podría representar del 0,68 al 1,13% de la Renta Nacional (según la hipótesis de riesgo), o el 0,5% del PIB (año 1986) en hipótesis media. El coste por persona puede oscilar entre 4.400 pesetas a 7.300 pesetas anuales, que supone el 2% del presupuesto del Estado del año 1986.

En el mapa adjunto de la figura 1.7 se puede visualizar las pérdidas económicas para la hipótesis de riesgo máximo.

Ciertos riesgos geológicos, como el gas radón y los asbestos han sido recientemente reconocidos como riesgos, aunque todavía no se ha valorado exactamente el eventual coste que pueden suponer para nuestra sociedad y el grado de peligrosidad que realmente representan. Sin embargo, se están gastando importantes cantidades de dinero para poner remedio a los riesgos percibidos. No obstante, la magnitud del riesgo debe ser conocida a ciencia cierta, en orden a establecer una relación coste/beneficio, que permita conocer si el coste de las soluciones hace que sea adecuada la inversión.

A menudo tenemos que tomar una decisión sobre si podemos vivir en áreas donde las fuerzas geológicas pueden oponerse de forma activa a que las condiciones de vida sean agradables. **Una decisión informada puede basarse en siguientes premisas:**

(1) Evitar una zona donde existan riesgos conocidos. Evitar o abandonar grandes áreas no suele ser una opción práctica o necesaria. Una cartografía precisa de los riesgos geológicos señalará áreas muy concretas que deben evitarse para determinados tipos de desarrollos. Terrenos que podrían ser peligrosos se pueden utilizar como cinturones verdes o parques. En ciudades como Janesville (Wisconsin, E.E.U.U.), se han creado hermosos parques en áreas calificadas como llanura de inundación, evitando así la instalación de costosas infraestructuras que podrían resultar dañadas por las inundaciones.

(2) Evaluar el peligro potencial de un riesgo, si se activa. Nunca se puede eliminar totalmente un riesgo y para reducirlo es necesario dedicar recursos. No basta con asumir que un riesgo no es peligroso sin rea-

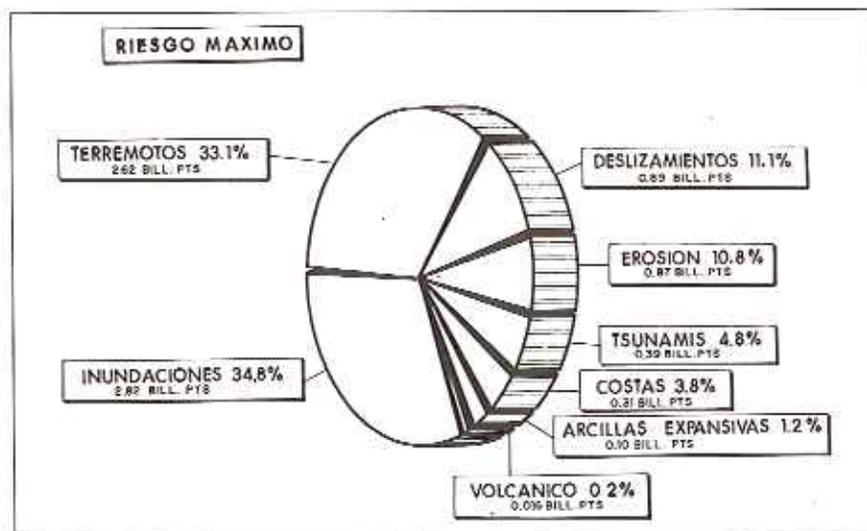


Figura 1.1. Riesgos geológicos en España para el período 1986/2016. Pérdidas potenciales previstas según la hipótesis de riesgo máximo de 8,1 billones de pesetas.

* En pesetas actualizadas a 1997 por la inflación, las cifras serían aproximadamente el doble. (IGME, 1987)

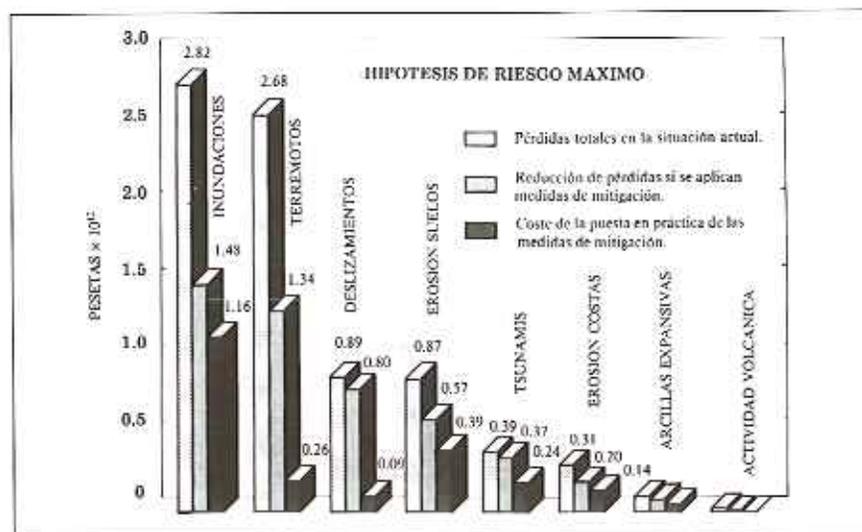


Figura 1.3. Pérdidas totales por riesgos geológicos en España en el período 1986/2016, junto a la reducción de pérdidas si se aplican medidas de mitigación y el coste de tales medidas, en hipótesis de riesgo máximo.

* En pesetas actualizadas a 1997 por la inflación, las cifras serían aproximadamente el doble. (IGME, 1987)

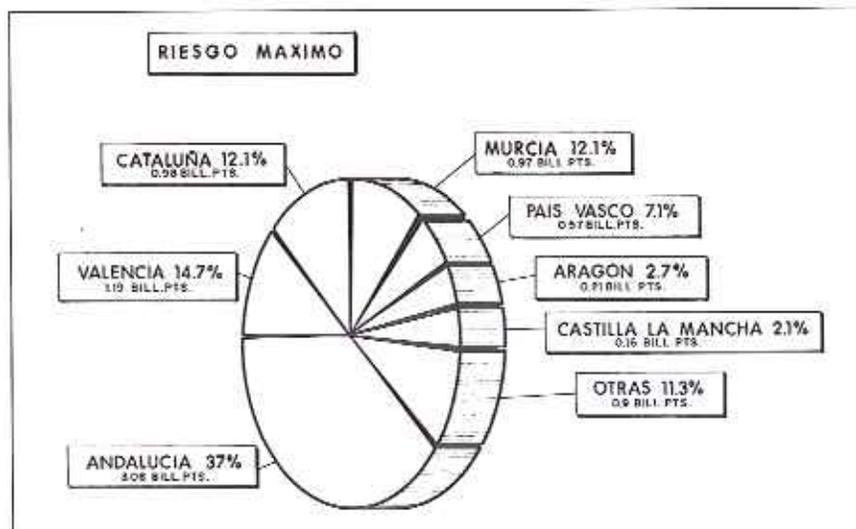


Figura 1.5. Riesgos geológicos en España para el período 1986/2016. Distribución de las pérdidas económicas en las diferentes Comunidades Autónomas según la hipótesis de riesgo máximo.

* En pesetas actualizadas a 1997 por la inflación, las cifras serían aproximadamente el doble. (IGME, 1987)

Figura 1.2. Riesgos geológicos en España para el período 1986/2016. Pérdidas potenciales previstas según la hipótesis de riesgo medio de 4,9 billones de pesetas.

* En pesetas actualizadas a 1997 por la inflación, las cifras serían aproximadamente el doble. (IGME, 1987)

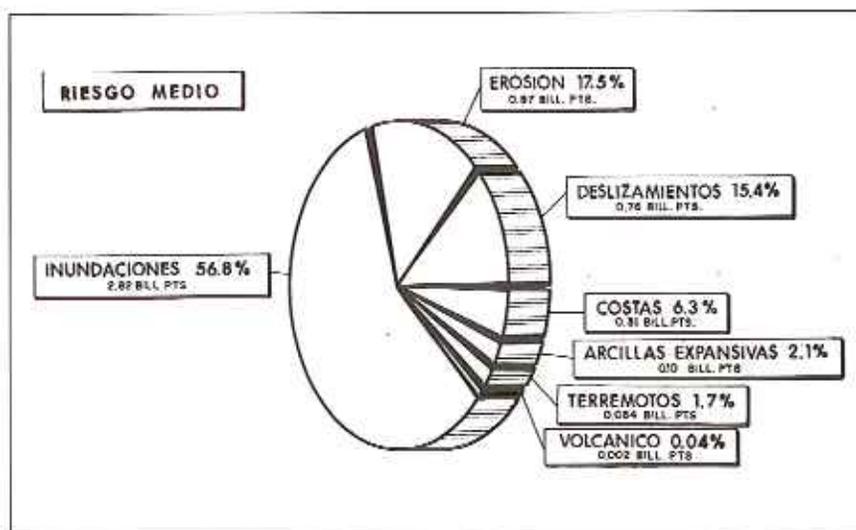


Figura 1.4. Pérdidas totales por riesgos geológicos en España en el período 1986/2016, junto a la reducción de pérdidas si se aplican medidas de mitigación y el coste de tales medidas, en hipótesis de riesgo medio.

* En pesetas actualizadas a 1997 por la inflación, las cifras serían aproximadamente el doble. (IGME, 1987)

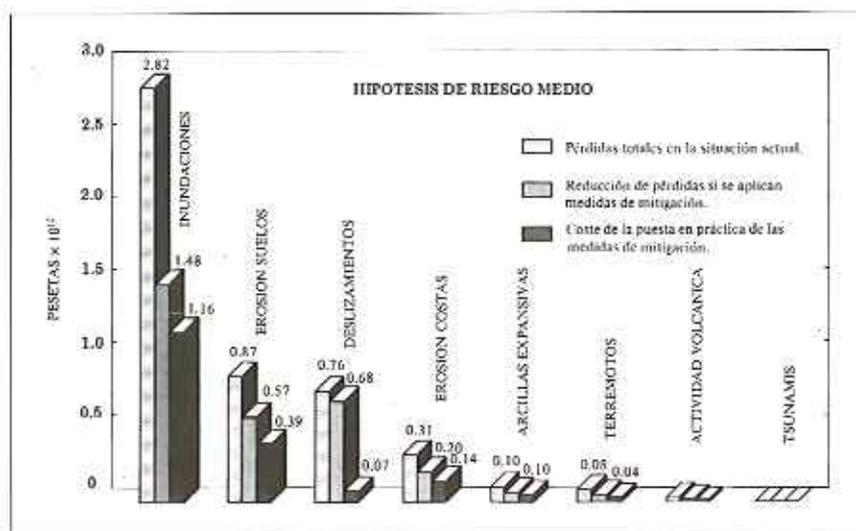
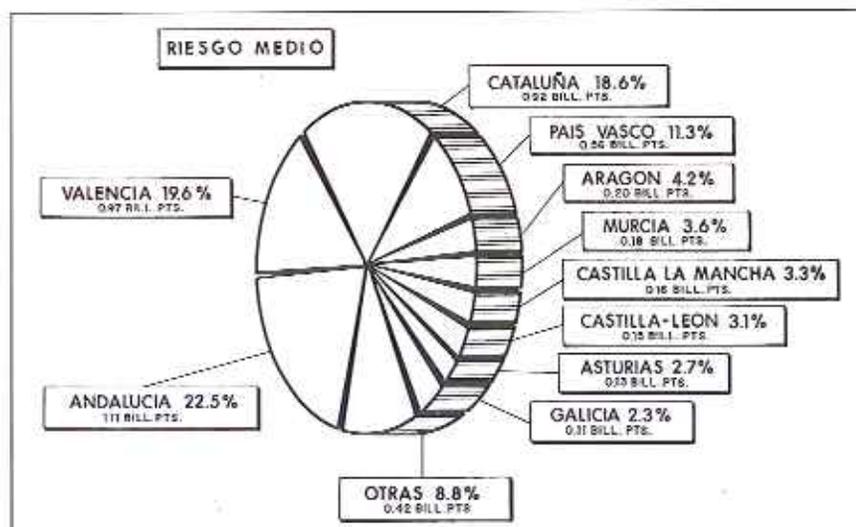


Figura 1.6. Riesgos geológicos en España para el período 1986/2016. Distribución de las pérdidas económicas en las diferentes Comunidades Autónomas según la hipótesis de riesgo medio.

* En pesetas actualizadas a 1997 por la inflación, las cifras serían aproximadamente el doble. (IGME, 1987)



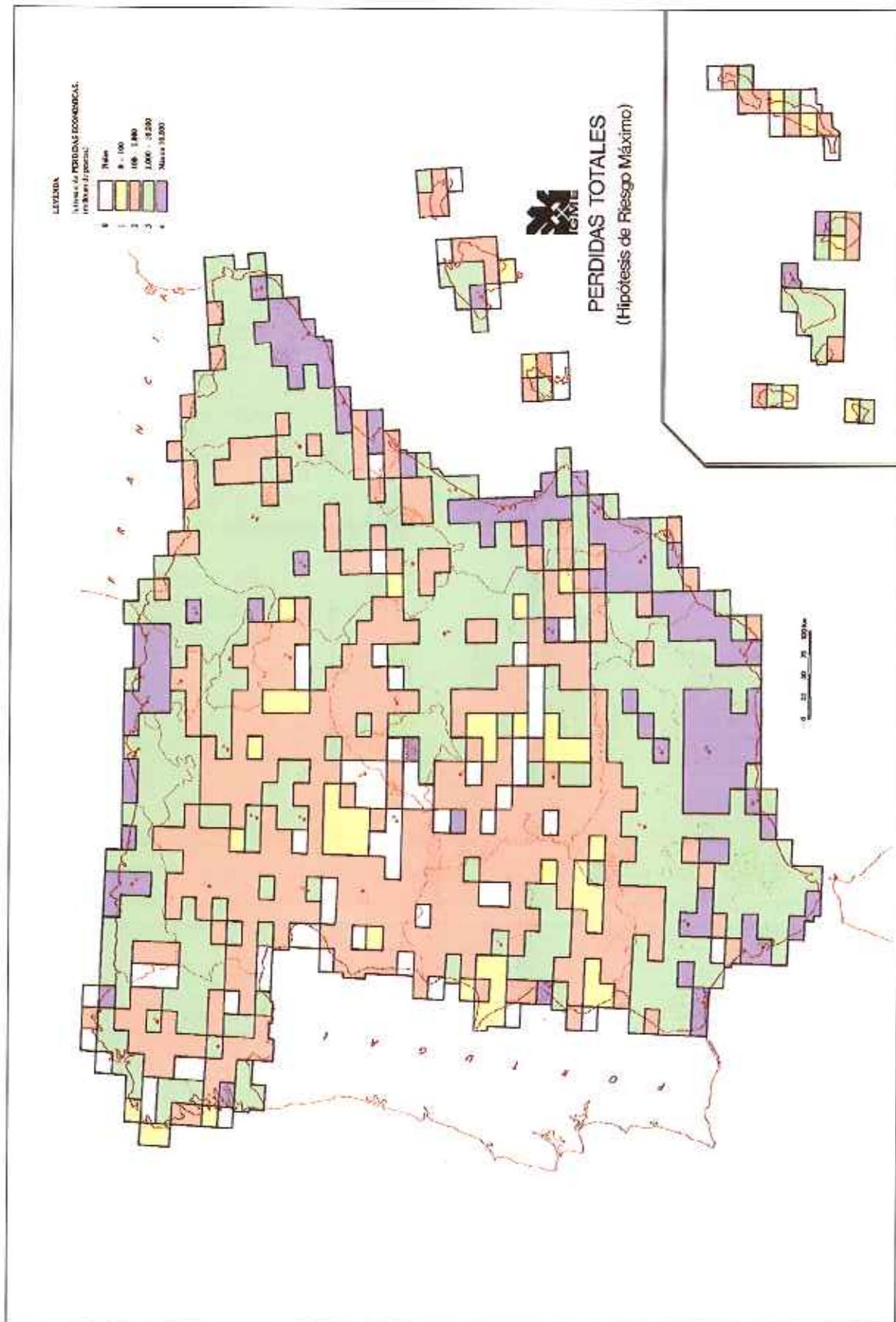


Figura 1.7.

lizar un estudio. La vida continuará entonces como si no existiera el riesgo. La expresión "aquí no puede ocurrir" ha sido la causa de las mayores pérdidas. Sin embargo, resulta igualmente importante no dedicar grandes cantidades de recursos para reducir un riesgo que en realidad no es importante.

(3) Reducir al mínimo el efecto de los riesgos por medio de proyectos de ingeniería y una zonación adecuada de terrenos. Los ingenieros civiles, que han aprendido a trabajar con geólogos como miembros del equipo, pueden hacer contribuciones importantes para reducir el peligro de los riesgos geológicos. La mayoría de los fallos de las estructuras se producen por valorar incorrectamente o no tener en cuenta las condiciones geológicas del emplazamiento y no por errores en los diseños de ingeniería. Este hecho ha sido la causa de que, en muchas zonas, sea obligatorio que un geólogo cualificado realice una valoración geológica del terreno. Tener en cuenta las condiciones geológicas del terreno al redactar la normativa de construcción puede suponer unas ventajas muy importantes. El terremoto, que tuvo lugar en el noroeste de Armenia en diciembre de 1988, y que mató a 25.000 personas, tuvo una magnitud más pequeña (un 40%) que el de Loma Prieta (California), California, en octubre de 1989, que afectó a un área con más densidad de población, produciendo tan sólo 67 muertos. La buena práctica en los proyectos y en la construcción de edificios en California hizo que se salvarán vidas y propiedades.

En algunas universidades norteamericanas, no se

requiere a los ingenieros civiles que realicen asignaturas de geología. Consideramos, que tal y como ocurre en concretas universidades españolas, es necesario que la geología, con profesores que sean geólogos cualificados, sea una parte adecuada de la formación de los arquitectos, los ingenieros de caminos y técnicos medioambientales. Estos profesionales tienen que ser conscientes de las ventajas de los estudios geológicos y deben ser capaces de comunicarse con los geólogos profesionales. Es igual de inútil que un ingeniero, sin una adecuada formación y experiencia en geología, realice investigaciones geológicas en un terreno, que, alguien sin formación ingenieril, realice trabajos de ingeniería.

California, que en 1968 fue el primer estado norteamericano que hizo obligatorias las investigaciones geológicas en los terrenos para construcciones, ha obtenido muchos beneficios por esta decisión. Desde entonces, muchos estados norteamericanos han promulgado diferente legislación con el objetivo de garantizar que geólogos cualificados realicen adecuadas evaluaciones de la geología del terreno soporte de futuras estructuras, tales como desarrollos urbanísticos o vertederos. La mayoría de estas leyes fueron aprobadas después de 1980.

En España existe una normativa dispersa acerca de los estudios geológicos de terrenos soporte de estructuras e infraestructuras, como edificios, carreteras, ferrocarriles, presas, canales, obras marítimas, aeropuertos..., pero en lo referente a sus carácter imperativo, no obliga a la realización de adecuados estudios geológicos. Como carácter paradigmático, nos

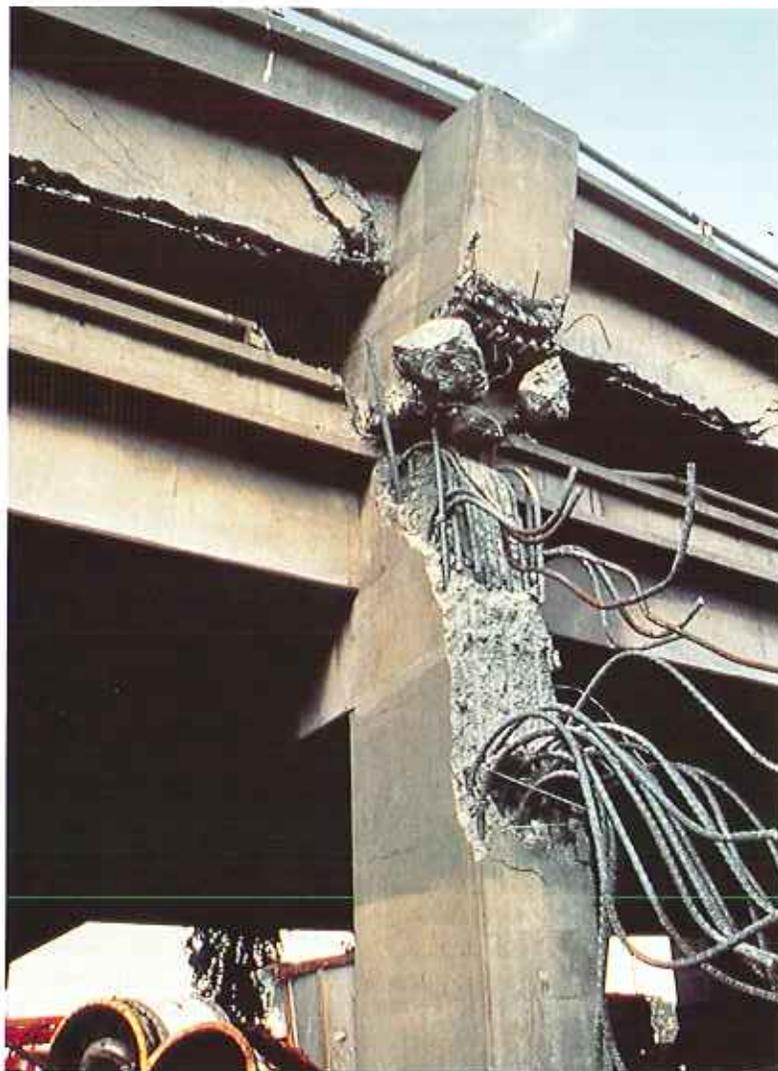


Cartel anunciador instalado en una llanura de inundación del Cinturón Verde de Janesville (Wisconsin, E.E.U.U.), actualmente conocida como «La ciudad de los parques». Muchos de los parques están en llanuras de inundación que podrían haber sido urbanizados con peligro para sus futuros propietarios y riesgo para los ciudadanos. La calificación de los terrenos propensos a las inundaciones y otros riesgos geológicos, como terrenos urbanizables de baja densidad, es un ejemplo de una acción efectiva que las autoridades locales pueden tomar para evitar futuros desastres. (Foto de la División de Servicios de Tiempo Libre de la Ciudad de Janesville).

referimos a la normativa de edificación española, la **Norma Básica de la Edificación NBE - AE/88 «Acciones en la Edificación»**, que recogen varios capítulos referentes al terreno de cimentación. Esta norma de edificación, como todas las NBE son de obligado cumplimiento para todos los proyectos y obras de edificación». (artículo único del Decreto 1650 / 1877). Sin embargo, en el artículo 1.2 de la Norma queda totalmente minimizada la obligatoriedad al regular que «el técnico autor del proyecto de una edificación está obligado a conocer y a tener en cuenta la Norma, pero puede, bajo su personal responsabilidad, adoptar valores de acciones y reacciones diferentes de los marcados en ella». La consecuencia práctica es que los autores de proyectos, en ocasiones, no realizan adecuados estudios geológicos del terreno de cimentación, con el consiguiente riesgo que ello conlleva.

En cuanto a la coercitividad de los estudios geológicos en los proyectos públicos, la **Ley 30 / 1995, de 18 de mayo, de Contratos de las Administraciones Públicas**, regula en su artículo 124.3, que «salvo que resulte incompatible con la naturaleza de la obra, el proyecto deberá incluir un estudio de los terrenos sobre los que la obra se va a asentar».

Por otra parte, el artículo 127 de esta Ley regula que «los proyectos deberán sujetarse a las instrucciones técnicas que sean de obligado cumplimiento para las respectivas Administraciones Públicas». Estamos ante una nueva declaración legal de obligatoriedad de la realización de estudios geológicos y de instrucciones técnicas, que, por el momento, no ha supuesto una mejora sustancial de los estudios geológicos de proyectos públicos en España. No obstante, en la regulación del Reglamento de Aplicación de esta ley y en la reglamentación geotécnica futura, deberá concretarse los tipos de proyectos y su normativa geotécnica para que se produzca la



Un ejemplo de tragedia a causa de un diseño estructural: el paso elevado de Nimitz en la autopista Interestatal 880 en Oakland (California), se colapsó durante el terremoto de Loma Prieta. La columna de apoyo falló durante la sacudida y las armaduras «explosionaron» de las pilas de hormigón y se dispusieron como espaguetis. En otras partes, las pilas de apoyo envueltas con planchas de hierro, resistieron. Estaba previsto envolver estas columnas también, pero se perdieron más de 40 vidas en el colapso antes de que se ejecutara la obra. El área afectada se comportó bien para un terremoto de esta magnitud, debido a la buena práctica de diseño sísmico. (Foto de H. G. Wilshire USGS).

necesaria mejora de los estudios geológicos de proyectos públicos, que redunden en unos beneficios sustanciales para la sociedad.

Los reglamentos de zonación de terrenos y las normas constructivas que se basan en información solvente y que son ejecutadas escrupulosamente, son los documentos legales más eficaces para reducir la destrucción debida a riesgos geológicos. Después de una

importante inundación, frecuentemente se ha vuelto a instalar a los ciudadanos en la misma ubicación, con el apoyo económico del gobierno. Esto es un ejemplo de cómo se puede «vivir con riesgo geológico» en un sentido ilógico. Una alternativa menos costosa sería calificar la mayoría de las llanuras de inundación como terreno no urbanizable, e incentivar económicamente a las comunidades y vecindarios, que sufren daños de forma continuada, para que se recolocuen en terrenos más adecuados. Cuando se producen daños o pérdidas en una zona residencial, debido a un desastre geológico, la solución suele ser emprender un pleito contra el constructor. El problema todavía no ha sido solucionado verdaderamente; los costes del error simplemente han sido transferidos a una parte más desafortunada: las personas que quieren hacerse seguros de responsabilidad civil y domésticos, con más altas primas. Una solución sería tener disponible una cartografía que delineara claramente las áreas de riesgo en las que está prohibida la construcción de viviendas. Una alternativa adecuada sería una reglamentación que exigiera la valoración del terreno por parte de un geólogo cualificado antes de poder construir en un área determinada. Una utilización adecuada del terreno, que tenga en cuenta la geología, puede impedir –sobre todo en muchos países donde la cobertura la asume el mercado privado– unas primas de seguros excesivamente altas, evitar litigios jurídicos, y acabar con unos gastos continuados del gobierno para ayudar a las víctimas de desastres geológicos por los mismos errores.

En España, la Sentencia del Tribunal Constitucional del 20 de marzo de 1997 que declaró inconstitucionales más de la mitad de los artículos de la ley sobre Régimen del Suelo y Ordenación Urbana, aprobado por Real Decreto Legislativo 1/1992, interpretó que a la luz de la Constitución Española, el legislador estatal carece constitucionalmente de competencias en materia de urbanismo y de ordenación del territorio, limitando su competencia a regular el derecho de propiedad del suelo, por lo que su obra reclama una continuación por parte de los legisladores de las Comunidades Autónomas. No obstante, al Proyecto de Ley de Régimen del Suelo y Valoraciones que se ha discutido en otoño de 1997 en el Parlamento español, el I.C.O.G. ha presentado una propuesta de enmienda al artículo 9 del Título II «Régimen Urbanístico de la Propiedad del Suelo», referido al suelo no urbanizable, que aboga por la realización de una zonación geológica para la declaración de suelo no urbanizable, por ser éste incompatible con un riesgo natural. En concreto, además de tener la condición de suelo no urbanizable, los terrenos en que concu-

rran las circunstancias, 1) de estar sometidos a algún régimen especial de protección, 2) para preservar su valor agrícola, forestal, ganadero o por sus riquezas naturales, el I.C.O.G. ha propuesto «que se incluya en la clase de suelo no urbanizable por estar sometidos a un riesgo natural incompatible con su utilización como suelo urbano, en razón a la potencial ocurrencia o concurrencia de fenómenos naturales como sismos, volcanes, inundaciones, deslizamientos, subsidencias, desertización, erosión costera, así como aquellos otros que se consideren técnicamente inadecuados para su desarrollo urbano racional».

(4) Desarrollar una red de seguros y planes de contingencia para cubrir las pérdidas o daños potenciales causados por riesgos geológicos. Los constructores y propietarios no tienen porqué ser geólogos, pero les resultará útil poder reconocer las condiciones geológicas del área en la que viven y saber cuándo necesitarán los servicios de un geólogo. En muchos países el seguro no cubre una parte importante de los daños producidos por terremotos, y en otros no se encuentra cobertura en el mercado para este riesgo. Pero incluso en los países en que es posible garantizar los daños contra terremotos (ver caso español en la Parte IV), a veces las pérdidas aseguradas, en su conjunto, constituyen una parte muy pequeña de los daños económicos totales, bien porque muchos perjudicados no se han preocupado por asegurarse o por tener la cobertura en regla, o bien porque, interesados en adquirir el seguro, éste resulte excesivamente caro. A pesar de la concienciación pública sobre los movimientos sísmicos, el terremoto de Whittier de 1987 causó unas pérdidas de 358 millones de dólares, de los cuales sólo 30 millones estaban cubiertas por seguros.

Para el propietario, especialmente si piensa vivir en la zona, una valoración geológica puede responder a las siguientes preguntas:

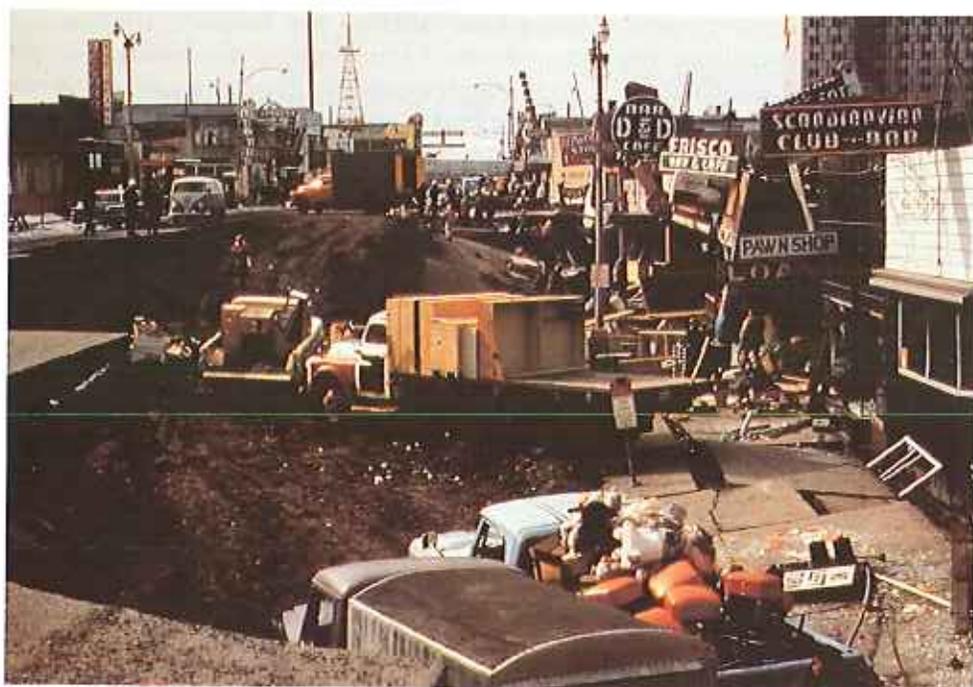
¿Está el terreno en un área donde se han producido en tiempos históricos deslizamientos de tierras, terremotos, volcanes o inundaciones? ¿Se han efectuado en la zona trabajos de minería subterránea o existen referencias pasadas de producción de pozos? ¿Se ha utilizado el terreno de alguna manera que pudiera implicar trabajos subterráneos o tanques de almacenamiento que ahora podrían estar enterrados?

¿Se encuentra el emplazamiento sobre rellenos antrópicos y se conoce la calidad de

los mismos, así como la del terreno del sustrato? ¿Hay suelos expansivos en la zona? ¿Han dañado los desastres geológicos estructuras en otras zonas con las mismas formaciones de roca y suelo, que el emplazamiento en cuestión? ¿Se han hecho pruebas de radón en la casa? Si la casa se abastece de un pozo doméstico, ¿Se ha analizado la calidad del agua recientemente? ¿Está la propiedad en la llanura de inundación de algún cauce? ¿Está la propiedad junto a un lecho de agua como un lago o el mar en el que haya habido importantes problemas de erosión costera después de infrecuentes (20 ó 50 años) tormentas?

Las respuestas a estas preguntas no son siempre evidentes. Personas que asumían que vivían en zonas en las que nunca se habían producido inundaciones, se vieron frecuentemente sorprendidas por grandes pérdidas. Un buen comienzo para la valoración del propietario de una casa puede ser ponerse en contacto con el Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de España (ICOG), con el Instituto Tecnológico y Geominero de España (ITGE) o con el Servicio Geológico de la Comunidad Autónoma respectiva, si está constituido, o con un consultor geólogo de la zona (Apéndice A).

Los agentes de seguros no siempre conocen bien los riesgos geológicos locales. Después de valorar



La compactación y asentamiento de formaciones sedimentarias blandas bajo Anchorage (Alaska), provocó la destrucción del centro de la ciudad en el terremoto de 1964. Nótese la diferente elevación de cada lado de la calle. (Foto del archivo fotográfico del Servicio Geológico de Estados Unidos, Denver, Colorado).

Se puede vivir bien o mal con riesgo geológico. La reinstalación de estructuras en terrenos que se inundan con frecuencia, es una forma ilógica de vivir con riesgo, que provocará pérdidas económicas, concretadas en subvenciones del gobierno o pagos de seguros. El cambio de emplazamiento o la elevación de las estructuras puede ser una medida más inteligente y más beneficiosa a largo plazo. (Foto del Servicio Geológico de Alabama).



los riesgos, se puede consultar a un profesional del seguro para saber qué empresas ofrecen cobertura que incluiría los riesgos pertinentes. (Nota: normalmente, los seguros para propietarios domésticos no contemplan riesgos geológicos como la subsidencia o los terremotos). Desde la perspectiva aseguradora, el Consorcio de Compensación de Seguros, a través de su sede central o de sus delegaciones regionales (Apéndice B), o cualquier entidad que suscriba pólizas de seguro de daños o de accidentes personales, bien a través de sus agencias o de los canales de mediación (agentes, corredores) pueden

dar cumplida información sobre la cobertura de los riesgos catastróficos en España (ver Parte IV).

Las Gobiernos Autonómicos y locales deberían planificar la ordenación urbana y las medidas de contingencias como evacuaciones, con la participación de los geólogos. La primera referencia para los Gobiernos Autónomos y las autoridades locales es el propio Servicio Geológico de su Comunidad Autónoma (Apéndice A). Sin embargo, a diferencia de países más avanzados como Estados Unidos donde cada uno de los Estados de la Unión tiene su propio Servicio

Ignorancia Aplicada frente a Ciencia Aplicada

La «Planificación», en ocasiones, consiste en ignorar o carecer de los informes geológicos disponibles. Un buen ejemplo de ello es la zona residencial Turnagain Heights en Anchorage (Alaska). Dos geólogos habían realizado en 1950 un informe preliminar con cartografía sobre las arcillas movedizas (sedimentos de granulometría fina que pueden ser sólidos durante un tiempo, pero que pueden fluir como un líquido, cuando se agitan) en los terrenos del sustrato de la ciudad de Anchorage. El Servicio Geológico de EE.UU. (USGS) publicó otro informe sobre este riesgo geológico en 1959. El informe mencionaba la presencia de arcillas movedizas bajo la ciudad, conociéndose que el sur de Alaska era una zona afectada frecuentemente por los terremotos. Los planificadores y los constructores no fueron conscientes o ignoraron esta información. La «planificación», por tanto, no prestó atención a lo que podría ocurrirle a las estructuras construidas sobre las arcillas movedizas cuando se asentaran y se movieran durante un terremoto. Los constructores empezaron a construir en la zona de riesgo y los ciudadanos compraron sus casas, ignorando la inestabilidad que había. Durante el terremoto del Viernes Santo del 27 de marzo de 1964, las casas de las colinas de Turnagain volcaron y se deslizaron ladera abajo en un flujo de lodo que causó daños materiales por millones de dólares. Irónicamente, se volvieron a construir casas nuevas encima de las mismas arcillas movedizas, demostrando que no hay errores tan grandes que no puedan repetirse.

Por el contrario, en 1969, el Departamento de Construcción y Seguridad de Los Ángeles realizó un impresionante estudio que reveló las ventajas de la evaluación de los emplazamientos geológicos. En él se examinaba la historia de daños a edificios por deslizamientos de ladera durante un periodo de más de 40 años. La gran revelación de este estudio fue que cuando se exigió por ley, que se realizaran estudios geológicos y de mecánica de suelos y que los profesionales certificaran su trabajo, los porcentajes de fallos se redujeron de un 10% antes de 1952 a un 0,15% entre 1963 y 1969. La consiguiente reducción en los costes de reparación permitieron realizar un ahorro que superó con creces el coste de las investigaciones geológicas de los emplazamientos.

Reducción progresiva en pérdidas por fallos de laderas y cimentaciones en la ciudad de Los Angeles

Situación antes de 1952	Situación entre 1952 y 1962	Situación entre 1963 y 1969
Sin código de clasificación, ni ingeniería de suelos o ingeniería geológica	Código de clasificación mejorado, se requiere ingeniería de suelos, se requieren estudios geológicos muy limitados, pero sin requisitos profesionales formalizados o responsabilidad legal para los geólogos	Códigos de clasificación actualizados, se requiere tanto ingeniería de suelos como geológica para el diseño y la construcción. Los ingenieros de suelos, de diseño y geólogos logran status profesional y asumen una responsabilidad legal
10.000 emplazamientos	27.000 emplazamientos	11.000 emplazamientos
Daños geotécnicos por 3.330.000 dólares en 1.040 emplazamientos	Daños geotécnicos por 2.767.000 dólares en 350 emplazamientos	Daños geotécnicos por 80.000 dólares en 17 emplazamientos
Pérdidas medias por emplazamiento de 330 dólares por número producido	Pérdidas medias por emplazamiento de 100 dólares por número producido	Pérdidas medias por emplazamiento de 7 dólares por número producido
Pérdidas medias de 133 dólares por emplazamiento dañado	Pérdidas medias de 7.095 dólares por emplazamiento dañado	Pérdidas medias de 4.705 dólares por emplazamiento dañado
El porcentaje de emplazamientos construidos dañados fue del 10,4%	El porcentaje de emplazamientos construidos dañados fue del 1,3%	El porcentaje de emplazamientos construidos dañados fue del 0,15%

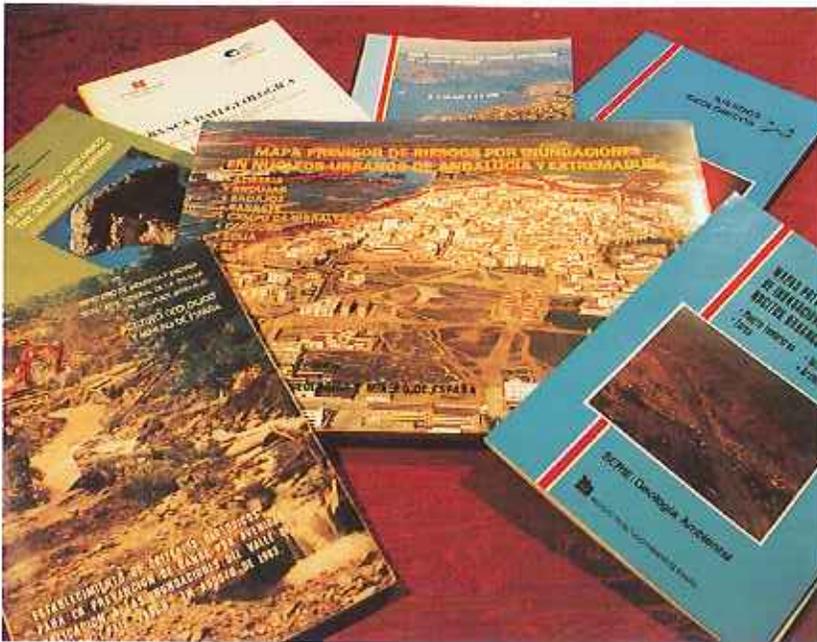
Según se va requiriendo más información geológica, se reducen en gran medida los riesgos geológicos (modificado de Slosson, 1969)

Geológico, en España existe un Servicio Geológico Estatal, el I.T.G.E., pero sólo algunas Comunidades Autónomas tienen su propio Servicio Geológico Autonómico. En ellos trabajan geólogos para servir al público. Aunque al tratarse de funcionarios legalmente no pueden trabajar como consultores, podrán proporcionar la mayor parte de la información disponible sobre un terreno o región y podrán facilitar otras fuentes de información adicionales. En muchos casos, bastará con la información que pueden proporcionar el Instituto Tecnológico y Geominero de

España (ITGE) o los Servicios Geológicos de las Comunidades Autónomas. Así mismo, los mapas e informes geológicos de organismos públicos y privados resultan muy útiles para aquellos que tengan la formación adecuada para interpretarlos. Es posible que en un informe o un mapa se mencione un riesgo geológico, pero que no sea evidente para un usuario con una formación básica en geología. Si Ud. como ciudadano, piensa que existen y pueden afectarle los riesgos geológicos, entonces debe consultar con un geólogo profesional.

Resumen de la Parte I

Los riesgos geológicos cuestan anualmente más de 100.000 vidas y billones de pesetas a la economía mundial. Estos riesgos se pueden dividir en riesgos causados por un tipo particular de materiales o por un tipo particular de procesos. La mayoría de estas pérdidas se podrían evitar, si la sociedad utilizara los últimos avances de la geología en la planificación y el desarrollo urbanístico. Se ha demostrado en múltiples ocasiones que la participación de geólogos profesionales puede reducir los riesgos y las pérdidas. Una sociedad que desconoce la geología no puede percibir la necesidad de geólogos en muchos proyectos de ingeniería, medioambientales o incluso domésticos. Actualmente la sociedad no está lo bastante formada en las ciencias geológicas, debido, en parte, a que en pocos colegios e institutos se requiere su estudio y, en parte, porque hay poco rigor en las cualificaciones necesarias para enseñar esta materia. El resultado es que se tienden a cometer errores que resultan costosos, especialmente en las políticas públicas.



La educación es una de las formas más eficaces de abordar con éxito los riesgos geológicos. El Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de España, el Instituto Tecnológico y Geominero de España (ITGE) y los Servicios Geológicos de las Comunidades Autónomas proporcionan expertos, mapas y respuestas a las preguntas del público. Desgraciadamente, la falta de formación en ciencias de la tierra hace que muchos ciudadanos no sean conscientes de los recursos proporcionados por los Servicios Geológicos. Se anima a los lectores a contactar con el Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de España, el Servicio Geológico Estatal (ITGE) y los servicios geológicos de las Comunidades Autónomas en las direcciones proporcionadas en el Apéndice A.

Adaptación realizada por Eur Geol. Luis E. Suárez Ordóñez, Presidente del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de España (ICOG), está en posesión de los títulos de Licenciado en Geología (Univ. Oviedo), Licenciado en Derecho (UNED), Diplomado en Ingeniería Geológica y Master en Ingeniería Geológica (UCM). Ejerce el cargo de Jefe de Geotecnia en la Dirección Técnica de Infraestructura de R.E.N.F.E., donde ha dirigido los Programas de Estudios de Riesgos Geológicos de la Infraestructura (ERGI), de Avenidas (ERA) y de Riesgos Sísmicos (ERSI).

Bibliografía sobre Riesgos Geológicos de la edición americana

(*) Indica referencias bibliográficas especialmente adecuadas para educadores

La literatura de riesgos geológicos se encuadra principalmente en dos ramas de la geología: *la geología ambiental y la ingeniería geológica*, aunque ciertos riesgos de inundaciones también pueden encuadrarse en la rama de la hidrología. Se indican los libros (en bastardilla), y otras referencias figuran a continuación de cada capítulo de este libro. Los señalados con una (*) se consideran como especialmente adecuados para estudiantes y profesores de cursos previos a la universidad.

- American Society of Civil Engineers, 1974, *Analysis and Design in Geotechnical Engineering*: New York, Amer. Soc. Civil Engrs.
- American Society of Civil Engineers, 1976, *Liquefaction Problems in Geotechnical Engineering*: New York, Amer. Soc. Civil Engrs.
- American Society of Foundation Engineers, 1975-Ongoing, *Case History Series: ASFE/The Association of Engineering Firms Practicing in the Geosciences*, 811 Colesville Road Suite G 106, Silver Spring, MD, 20910.
- Atwell, P., and Farmer, I., 1976, *Principles of Engineering Geology*: New York, Methuen.
- (*) Bolt, B. A. Horn, W. L., Macdonald, G. A., and Scott, R. P., 1977, *Geological Hazards*: New York, Springer-Verlag.
- Bowen, F. G., 1984, *Geology in Engineering*: New York, Elsevier.
- Bryant, E. A., 1991, *Natural Hazards*: New York, Cambridge University Press.
- Burton, L., Kates, R. W., and White, G. F., 1978, *The Environment as Hazard*: New York, Oxford Univ. Press.
- Coates, D. R., 1981, *Environmental Geology*: New York, John Wiley.
- Coates, D. R., 1985, *Geology and Society*: New York, Chapman and Hall.
- (*) Cornell, J., 1976, *The Great International Disaster Book* New York, Charles Scribner's Sons, Pocket Books.
- (*) Creath, W. B., 1996, *Home Buyer's Guide to Geologic Hazards AIPC 7826 Vanie Drive, Suite 103 Arvada, Colorado 80003*.
- Dapples, E. C., 1973, *Basic Geology for Science and Engineering*: Melbourne, FL., Krieger Pub.
- Costa, J. E., and Baker, V. R., 1981, *Surficial Geology-Building with the Earth*: New York, John Wiley.
- Dennen, W. H., and Moore, H. R., 1986, *Geology and Engineering*: Dubuque, IA, Wm. C. Brown.
- (*) Dodd, K., Fuller, H. K., and Clarke, P. F., 1989, *Guide to Obtaining USGS Information* U.S. Geol. Survey Circular 900. Books and Open-File Reports Section, USGS, Federal Center, Box 25425, Denver, CO 80225.
- El-Subk, M. I., and Marty, T. C. (eds.), 1988, *Natural and Man-Made Hazards*: Dordrecht, Netherlands, Reidel.
- Fang, H. Y., 1986, *Environmental Geotechnology*: Bethlehem, PA, Enviro Pub.
- Farmer, I., 1983, *Engineering Behavior of Rocks* (2nd. ed.): London, Chapman and Hall.
- (*) Federal Emergency Management Agency (FEMA), 1991, *Are you ready? Your guide to disaster preparedness* FEMA, Publications Dept., P. O. Box 70274, Washington, DC, 20224.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA), 1991, *How to help children after a disaster: A guidebook for teachers* FEMA Earthquake Education Program, 500 C Street S. W., Washington, DC 20472, (202) 646-2812.
- (*) Finkel, C. W. (ed.), 1984, *The Encyclopedia of Applied Geology* New York, Van Nostrand Reinhold.
- Flawn, P. T., 1970, *Environmental Geology*: New York, Harper & Row.
- Foster, H. D., 1980, *Disaster Mitigation for Planners: The Preservation of Life and Property*: New York, Springer-Verlag.
- Frazier, K., 1979, *The Violent Face of Nature: Severe Phenomena and Natural Disasters* E: William Morrow.
- Gerla, P. J., and Jehn-Dellaport, T., 1989, *Environmental impact assessment for commercial real estate transfers*: Bull. Assoc. Engrg. Geologists, v. 26, pp. 531-540.
- Gregory, K. J., and Walling, D. F., 1987, *Human Activity and Environmental Processes*: New York, John Wiley.
- Griggs, G. B., and Gilchrist, J. A., 1983, *Geologic Hazards, Resources, and Environmental Planning* (2nd. ed.): Belmont, CA, Wadsworth.
- Haney, D. C., Mankin, C. J., and Kottowski, 1990, *Geologic mapping: a critical need for the nation*: Washington Concentrates, Amer. Mining Congress, June 29, 1990.
- Hanna, J. A., 1991, *Disaster Planning for Health Care Facilities*: Canadian Hospital Assoc., 17 York St. Suite 100, Ottawa, Ontario, Canada, K1N 9J6, 273 p.
- (*) Harris, S. L., 1990, *Agents of Chaos* Missoula, MT, Mountain Press.
- Harvey, J. C., 1983, *Geology for Geotechnical Engineers*: New York, Cambridge Univ. Press.
- (*) Hays, W. W., (ed), 1981, *Facing geologic and hydrologic hazards* U.S. Geol. Survey Prof. Paper 1240-B.
- Henderson, R., Heath, E. G., and Leighton, F. B., 1973, *What land use planners need from geologists: in Geology, Seismicity, and Environmental Impact*: Assoc. Engrg. Geologists Spec. Pub., Los Angeles, CA, pp. 37-43.
- Howard, A. D., and Remson, I., 1978, *Geology in Environmental Planning*: New York, McGraw-Hill.
- Hunt, R. F., 1984, *Geotechnical Engineering Practice*: New York, McGraw-Hill.
- Hunt, R. E., 1984, *Geotechnical Engineering Investigation Manual*: New York, McGraw-Hill.
- Johnson, R. B., and DeGraff, J. V., 1988, *Principles of Engineering Geology*: New York, John Wiley.
- Kelley, A. E., 1988, *General Geology for Engineers*: Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall.
- Keller, E. A., 1985, *Environmental Geology* (5th ed.) E: Columbus, OH, Charles E. Merrill.
- Krynine, D. P., and Judd, W. P., 1957, *Principles of Engineering Geology and Geotechnics*: New York, McGraw-Hill.
- Leggett, R. F., 1973, *Cities and Geology*: New York, McGraw-Hill.
- Leggett, R. F., and Hatheway, A. W., 1988, *Geology and Engineering* (3rd ed.): New York, McGraw-Hill.
- Leggett, R. F., and Karrow, P. F., 1982, *Handbook of Geology in Civil Engineering*: New York, McGraw-Hill.
- Lundgren, L., 1986, *Environmental Geology*: Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall.
- Lykes, R.S., 1990, *Are you ready for disaster? A corporate guide for preparedness and response*: Manufacturers' Alliance for Productivity and Innovation, 1200 1888th St. N.W., Washington, DC 20036.

GUIA CIUDADANA DE LOS RIESGOS GEOLOGICOS

- McAlpin, J., 1985, **Engineering geology at the local government level: planning, review, and enforcement**; Bull. Assoc. Engrg. Geologists, v. 22, p. 315-327.
- (*) McHarg, I. L., 1969, **Design with Nature** New York Natural History Press.
- McLean, A. C., and Gribble, C. D., 1988, **Geology for Civil Engineers** (2nd ed.): London, Unwin-Hyman.
- Matthewson, C. C., 1981, **Engineering Geology**; Columbus, OH, Charles E. Merrill.
- Mileti, D. S., 1975, **Natural Hazard Warning Systems in the U.S.:** Natural Hazards Research and Applications Information Center, Univ. Colorado at Boulder.
- Milnes, A. G., 1985, **Geology and Radwaste**; London, Academic Press.
- (*) Montgomery, C. W., 1985, **Environmental Geology** Dubuque, IA, Wm. C. Brown.
- (*) National Geographic, 1986, **When the earth moves** Natl. Geog., May., pp. 638-654.
- (*) National Research Council, 1987, **Confronting natural disasters** NRC/NAS/NAE Advisory Committee on DNHR, 2101 Constitution Ave. NW, Washington, D. C. 20418. 60 p.
- Natural Hazards Research and Applications Information Center, 1975 - present, **Natural Hazards Observer E: Natural Hazards Research and Applications Information Center**, Univ. CO, Boulder.
- Palm, R. I., 1990, **Natural Hazards: An Integrative Framework for Research and Planning**; Baltimore, MD, Johns Hopkins University Press.
- (*) Peck, D. L., 1991, **Natural hazards and public perception: earth scientists can make the difference** Geotimes, v. 36, n. 5, p. 5.
- Petak, W., and Atkinson, A., 1982, **Natural Hazard Risk Assessment and Public Policy; Anticipating the Unexpected**; New York, Springer-Verlag.
- Pitts, J. A., 1986, **Manual of Geology for Civil Engineers**; New York, Halsted Pub.
- Raha, P. H., 1986, **Engineering Geology - An Environmental Approach**; New York, Elsevier.
- Roberts, A., 1982, **Applied Geotechnology: a Text for Students and Engineers on Rock Excavation and Related Topics**; Hlmsford, NY, Pergamon.
- Scheidegger, A. B., 1975, **Physical Aspects of Natural Catastrophes**; New York, Elsevier.
- Schuirman, G., and Slosson, J. H., 1992, **Forensic Engineering**; New York, Academic Press.
- Sinha, D. K. (ed.), 1990, **Natural disaster reduction for the nineties: perspectives, aspects and strategies**; International Journal Services, Rabindra Pally, P. O. Prafulla Kanan, Calcutta, 700-059 India, 750 p.
- Slosson, J. H., 1969, **The role of engineering geology in urban planning**; in Governor's Conference on Environmental Geology; Colorado Geol. Survey Spec. Pub. n. 1, pp. 8-15.
- Smith, K., 1992, **Environmental Hazards**; New York, Routledge, Chapman Hall, Inc.
- Smith, J. V., 1985, **Protection of the human race against natural hazards (asteroids, comets, volcanoes, earthquakes)**; Geology, v. 13, pp. 675-678.
- Spangle, W., and Associates, and others, 1976, **Earth science information in land-use planning; guidelines for earth scientists and planners**; U.S. Geol. Survey Circular 721.
- Steinbrugge, K. V., 1982, **Earthquakes, Volcanoes, and Tsunamis, Anatomy of Hazards**; New York, Skandia America Group.
- (*) Tank, R. W., (ed), 1983, **Environmental Geology; Text and Readings** (3rd ed.) New York, Oxford Univ. Press.
- Tufty, B., 1969, **1001 Questions Answered About Earthquakes, Avalanches, Floods and Other Natural Disasters E**; New York, Dover Pub.
- (*) United States Geological Survey, 1968 - present, **Earthquakes and Volcanoes** USGS, Denver Federal Center, Bldg. 41, Box 25425, Denver, CO 80225.
- Utah Geological Survey, 1991, **Places with Hazards: A Teacher's Handbook on Natural Hazards in Utah for Secondary Earth Science Classes, Geologic Hazards Lecture Set E**; UT Geol. Survey, 2363 Foothill Drive, Salt Lake City, UT 84109-1491, (801) 267-7970.
- Varnes, D. J., 1974, **The logic of geologic maps, with reference to their interpretation and use for engineering purposes**; U. S. Geol. Survey Prof. Paper 837.
- Way, D. S., 1978, **Terrain Analysis: A Guide to Site Selection Using Aerial Photographic Interpretation**; McGraw-Hill Community Development Series, New York, McGraw-Hill.
- Wernund, R. G., 1974, **Approaches to Environmental Geology - a Colloquium and Workshop**; Austin, TX, Texas Bureau Econ. Geol.
- (*) White, G. F., 1974, **Natural Hazards: Local, National, Global** New York, Oxford Univ. Press.
- Whittow, J., 1979, **Disasters: The anatomy of Environmental Hazards**; Univ. Georgia Press.
- Wiggins, J. H., Slosson, J. H., and Krohn, J., 1978, **Natural hazards: earthquake, landslide, expansive soil loss models**; Natl. Sci. Foundation, NTIS, PB-294686/AS.
- Williams, P. J., 1982, **The Surface of the Earth - an Introduction to Geotechnical Science**; New York, Longman.
- Young, R. N., 1983, **Geological Environment and Soil Properties**; New York, Amer. Soc. Civil Engrs.
- Zaruba, Q., and Mencl, Y., 1976, **Engineering Geology**; New York, Elsevier.
- Zeckhauser, R. J., and Vicusi, W. K., 1990, **Risk within reason**; Science, v. 248, pp. 559-563.

Bibliografía sobre Riesgos Geológicos de la edición española

- Aguilera, A. (1986): **Más allá del milagro**, en Revista del M.O.P.U., marzo 86, pp. 54-59, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Madrid.
- Alcocer, A., y López Marinas, J. M. (1983): **Nuevos datos históricos para el conocimiento de la sismicidad almeriense**, en Sismicidad Histórica de la región de la Península Ibérica, pp. 5-8, Asociación Española de Ingeniería Sísmica, Madrid.
- Alfors, J.; Burnett, J. L., y Gay, T. E. (1973): **Urban geology, Master plan for California: the nature, magnitude and cost of geologic hazards in California and recommendations for their mitigation**, en Bulletin of Calif. Div. of Mines and Geology, núm. 198, 112 pp., California Division of Mines and Geology, California.
- Alonso Pérez de Agreda, E. (1986): **Influencia del agua en la estabilidad de taludes. Roturas en roca. Casos reales**, en Riesgos Naturales en Ingeniería Civil, pp. 99-135, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
- Alonso Pérez de Agreda, E. (1986): **Movimientos del terreno. Roturas en suelos. Casos reales**, en Riesgos Naturales en Ingeniería Civil, pp. 44-97, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
- Ambraseys, N. N. (1980): **Estudio de los terremotos en el terreno, en Terremotos - Evaluación y mitigación de su peligrosidad**, pp. 147-163, Blume - UNESCO, Barcelona.
- Ancochea, E., y Hernán, F. (1981): **Riesgo volcánico**, en Geología y Medio Ambiente, 11, Serie Monografías, pp. 269-292, C.B.O.T.M.A. (Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo), Madrid.
- Antonopoulos, J. (1970): **Seismic sea-waves in the Eastern Mediterranean (Tsunamis)**, en III European Symposium on Earthquake Engineering, pp. 125-128, III European Symposium Earthquake Engineering, Bulgaria.

- Araña, V. (1986): **Riesgo volcánico**, 135 pp., Universidad Internacional Menéndez Pelayo, C.S.I.C., Santa Cruz de Tenerife.
- Asociación Española de Ingeniería Sísmica (1978): **Seminario sobre criterios sísmicos para instalaciones nucleares y obras públicas**, 344 pp., Instituto Geográfico Nacional, M.O.P.U., Madrid.
- Auci, M. (1978): **Airphoto interpretation of mass movements with special reference to the Spanish Pyrenees, Tremp, Northern Spain**, en III Congreso Internacional I.A.E.G., vol. II, núm. 26, pp. 72-81, Asociación Española de Geología Aplicada a la Ingeniería, Madrid.
- Ayuntamiento de Azagra (Navarra) (1974): **Una fecha en la Historia de Azagra**, en Programa de Fiestas del Año 1974, 70 pp., Ayuntamiento de Azagra, Azagra (Navarra).
- Banda, F. y Correig, A. M. (1984): **The Catalan Earthquake of February 2, 1428**, en *Engineering Geology*, vol. XX, núms. 1-2, pp. 89-98, Elsevier Science Publishers, Holanda.
- Baquero de la Cruz, G. (1964): **Aspectos Económicos de la Conservación de Suelos (Artículo)**, 18 pp., Conservación de Suelos, Dirección General Agricultura, Ministerio de Agricultura, Madrid.
- Barbat, A. H. (1986): **Elementos de sismología. Definición de los parámetros básicos de los grandes terremotos**, en *Riesgos Naturales en Ingeniería Civil*, pp. 189-237, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
- Bolt, D. A.; Horn, W. L.; McDonald, G. A., y Scott, T. F. (1975): **Geological Hazards**, 328 pp., Editorial Springer Verlag, Nueva York.
- Bores, P. S. (1978): **Shore classification-simple forms with prevailing wave action**, en III Congreso Internacional I.A.E.G., sec. I, vol. II, núm. 52, pp. 150-169, Asociación Española de Geología Aplicada a la Ingeniería, Madrid.
- Canas Salas, J.: **La desertización en España: ejemplos prácticos (artículo)**, 6 pp., Dirección General de Política Territorial, Madrid.
- Capote, R., et al. (1984): **Investigaciones sobre neotectónica en el centro sur y levante de la península**, en *Energía Nuclear Revista-Monográfico neotectónica*, tomo 28, núms. 149-150, pp. 223-230, Publicaciones Junta de Energía Nuclear, Madrid.
- Carracedo, J. C. (1984): **Geografía de Canarias**, tomo I. Ed. Interinsular Canaria. Sta. Cruz de Tenerife.
- Casteleiro Maldonado, M. (1986): **Conceptos de riesgo. Desarrollo histórico y su tratamiento estadístico**, en *Riesgos naturales en Ingeniería Civil*, pp. 11-13, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
- Catalán, M.; Boloix, M., y Valenzuela, J.: **Propagación de maremotos en la región de Azores-Gibraltar**, pp. 419-437, Instituto y Observatorio de la Marina, San Fernando (Cádiz).
- Chacón Montero, J. (1986): **El Deslizamiento de tierras de Olivares (Moclín, Granada) (artículo)**, 12 pp., Granada.
- Comisión Técnica de Emergencia por Inundaciones (1983): **Las inundaciones en España. Informe General**, tomos I y II (3 mapas), 146 y 284 pp., Comisión Nacional de Protección Civil, Madrid.
- Corominas, J., y Alonso, E. (1984): **Inestabilidad de laderas en el Pirineo Catalán. Tipología y causas**, en *Inestabilidad de Laderas en el Pirineo (Ponencias y Comunicaciones)*, pp. C1-C53, E. T. S. Ingenieros Caminos, Canales y Puertos, Barcelona.
- Domercq, J. (1978): **El Riesgo de Inundaciones en su Relación con la Ordenación Territorial Española**, Comunicación núm. 1-02 del Coloquio sobre Ordenación Territorial, 15 pp., M.O.P.U., Dirección General de Ordenación Territorial, Madrid.
- Durán Valsero, J. J., y Elizaga, E. (1986): **Algunos datos y reflexiones sobre el problema de las Inundaciones en España: La elaboración del mapa para la prevención de Avenidas (artículo)**, 4 pp., Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- Durán Valsero, J. J., y Lamas Romero, J. L. (1985): **Las inundaciones en Andalucía**, en *Geología y Prevención de Daños por Inundaciones*, pp. 335-412, Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- Durán Valsero, J. J., y Val Melus, J. (1984): **El Karst yesífero en España: Condicionantes geológicos y problemática territorial, ambiental y geotécnica**, en I Congreso Español de Geología, tomo I, pp. 623-634, Ilustre Colegio Oficial de Geólogos, Segovia.
- E. N. ADARO (1977): **Proyecto ERGON, Fase II. Estudio sismotectónico de la España peninsular para la selección de emplazamientos de centrales nucleares**, 88 pp., Informe Técnico, Madrid.
- Estévez, A., y Sanz de Galdeano, C. (1984): **Neotectónica en la Depresión de Granada y áreas próximas, métodos empleados para el estudio de las deformaciones neotectónicas**, en *Energía Nuclear Revista-Monográfico neotectónica*, tomo 28, núm. 149-150, pp. 249-257, Publicaciones Junta de Energía Nuclear, Madrid.
- Fernández Montero, A. y García Yagüe, A. (1984): **Movimientos de ladera en el curso alto del río Pas (Cantabria)**, en I Congreso Español de Geología, tomo III, pp. 423-430 Ilustre Colegio Oficial de Geólogos, Segovia.
- García Dueñas, V., et al. (1984): **Neotectónica y sismicidad en las Cordilleras Béticas: una revisión de resultados**, en *Energía Nuclear Revista-Monográfico neotectónica*, tomo 28, núms. 149-150, pp. 231-237, Publicaciones Junta de Energía Nuclear, Madrid.
- García Remuerta, C. (1984): **La larga lucha contra las riadas**, en *Revista del M.O.P.U.*, abril, 1984, pp. 36-42, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Madrid.
- García Yagüe, A. (1986): **Daños producidos por los terremotos**, en *Jornadas de Estudio del Fenómeno Sísmico y su Incidencia en la Ordenación Territorial*, Ponencia, 6 pp., Consejería de Política Territorial y Obras Públicas, Murcia.
- Garzón Heydt, M. G. (1981): **Avenidas, torrentes y avalanchas**, en *Geología y Medio Ambiente*, 11 Serie Monografías, pp. 313-321, C.E.O.T.M.A. (Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo), Madrid.
- Garzón Heydt, G. (1985): **Las avenidas como fenómeno geológico**, en *Geología y Prevención de Daños por Inundaciones*, pp. 5-53, Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- González de Vallejo, L. I. (1984): **Fenómenos de inestabilidad geológica y su incidencia en la ingeniería**, en I Congreso Español de Geología, tomo V, pp. 397-414, Ilustre Colegio Oficial de Geólogos, Segovia.
- González de Vallejo, L.; Capote, R., y Carbo, A. (1980): **Metodología para la ordenación territorial en función del riesgo sismotectónico. Aplicación a la España peninsular**, en I Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio, 16 pp., Comunicación, Santander.
- González de Vallejo, L. I.; Capote, R., y Carbo, A. (1981): **Sismotectónica y riesgo sísmico**, en *Geología y Medio Ambiente*, 11 Serie Monografías, pp. 293-300, C.E.O.T.M.A. (Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo), Madrid.
- González de Vallejo, L. y Skipp, B. O. (1980): **A general procedure for regional seisnotectonic mapping for engineering purposes**, en *Bulletin of the I.A.E.G.*, núm 21, pp.118-121, International Association of Engineering Geology Postfach, R. F. A.
- Hernández Pacheco, A. (1982): **Sobre una posible erupción en 1983 en la Isla de Hierro**, en *Estudios Geológicos*, vol. 38, núms. 1-2, pp. 15-25, Instituto Lucas Mallada, Madrid.
- I.G.M.E. (1980): **Mapa geotectónico y de riesgos geológicos para la ordenación urbana de Alcoy (165 pp.)**, Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- I.G.M.E. (1980): **Mapa de riesgos naturales ligados a movimientos del terreno, Zona de Granada, escala 1 : 25.000**, Mapa, 37 pp., Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- I.G.M.E. (1980): **Mapa de riesgos naturales ligados a movimientos de terrenos**, 37 pp. Dir. Instituto Geológico y Minero de España. Aguas Subterráneas y Geotecnia, Madrid.
- I.G.M.E. (1980): **Mapa sismotectónico de España. Granada, Hoja Piloto, escala 1:100.000**, Mapa, 36 pp., Instituto Geológico y Minero de España, Dirección de Aguas Subterráneas y Geotecnia, Madrid.

- I.G.M.E.-B.R.G.M. (1980): Aspectos geotécnicos para la ordenación del territorio en áreas de montaña, 31 pp., Instituto Geológico y Minero de España, Dirección de Aguas Subterráneas y Geotecnia, Madrid.
- ITGE (1987): Impacto económico y social de los riesgos geológicos en España. Servicio de Publicaciones. ITGE.
- ITGE (1987): Riesgos Geológicos. Servicio de Publicaciones. ITGE.
- ITGE (1988): Catálogo Nacional de Riesgos Geológicos. Servicio de Publicaciones. ITGE.
- ITGE (1991): Los peligros naturales en España en 1990. Servicio de Publicaciones. ITGE.
- ITGE (1991): Natural disasters in the world in 1990. Servicio de Publicaciones. ITGE.
- ITGE (1992): Natural disasters in the world in 1991. Servicio de Publicaciones. ITGE.
- ITGE (1992): Los peligros naturales en España en 1991. Servicio de Publicaciones. ITGE.
- ITGE (1994): Los peligros naturales en España en 1992. Servicio de Publicaciones. ITGE.
- ITGE (1994): Natural disasters in the world in 1992. Servicio de Publicaciones. ITGE.
- ITGE (1995): Reducción de Riesgos Geológicos en España. Servicio de Publicaciones. ITGE.
- ITGE (1996): Natural disasters in the world in 1993. Servicio de Publicaciones. ITGE.
- ITGE (1996): Los peligros naturales en España en 1993. Servicio de Publicaciones. ITGE.
- ITGE (1997): Los peligros naturales en España en 1994. Servicio de Publicaciones. ITGE. Ríos Rosas, 23. 28003. Madrid. Tel.: (91) 3495730/50. Fax: (91) 3495762.
- Karnik, V., y Algermissen, S. T. (1980): Zonificación sísmica, en Terremotos. Evaluación y mitigación de su peligrosidad, pp. 11-49, Blume - UNESCO, Barcelona.
- Lamas Romero, J. L. (1985): Factores climáticos e hidrológicos en la formación de avenidas, en Geología y Prevención de Daños por Inundaciones, pp. 56-116, Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- Lasanta Martínez, T. (1985): Aportación al estudio de la erosión hídrica en campos cultivados de La Rioja en Ciencias de la Tierra - Geografía, vol. 3, Instituto de Estudios Riojanos, Logroño.
- Letourner, J.; Antoine, P., y Barbier, R. (1978): Reflexions sur certains risques naturels, leur prevision et la validité de leur cartographie, en III Congreso internacional. I.A.E.G., sec. I, vol. 2, núm. 45, pp. 91-97, Asociación Española de Geología Aplicada a la Ingeniería, Madrid.
- Macau Vilar, F. (1963): Previsión de los movimientos del terreno, en Boletín del Servicio Geológico de Obras Públicas, núm. 16, 83 pp., Servicio Geológico del ministerio de Obras Públicas, Madrid.
- Martín Contreras, J., y Leguey Jiménez, S. (1971): Estudio geotécnico de los materiales deslizantes en el nuevo acceso a Málaga, en I Congreso Hispano-Luso-Americano de Geología Económica, sec. 5, n.º 9, pp. 95-110. Editorial Ibérica, Madrid.
- Martín Martín, A. J. (1984): Riesgo sísmico en la Península Ibérica (Tesis Doctoral), tomos I y II, 235 y 225 pp., Instituto Geográfico Nacional, Madrid.
- Martín Martín, A. J. (1986): Consideraciones del fenómeno sísmico en la ordenación del territorio, en I Jornadas de Estudio del Fenómeno Sísmico y su Incidencia en la Ordenación Territorial, Ponencia, 16 pp., Consejería de Política Territorial y Obras Públicas, Murcia.
- Martín Martín, A. J. (1986): Evaluación de la peligrosidad sísmica y de los daños que un terremoto catastrófico ocasionaría a la población y a las viviendas de Andalucía, 27 pp., Instituto Geográfico Nacional Delegación Regional Sevilla, Sevilla.
- Martín Martín, A. J. y García Yagüe, A. (1986): Estimación para su aplicación a Protección Civil, de los daños que un terremoto catastrófico ocasionaría en Andalucía, 204 pp., Instituto Geográfico Nacional, M.O.P.U., Madrid.
- Martínez Solares, J. M., y Herraiz, M. (1986): Sismicidad y estudios sísmicos de la región de Murcia, en I Jornadas de Estudio del Fenómeno Sísmico y su Incidencia en la Ordenación Territorial, cum. 9, 24 pp., Consejería de Política Territorial y Obras Públicas, Murcia.
- Mingarro Martín, E., (1984): Necesidad del análisis del riesgo geológico, en Energía Nuclear Revista-Monográfico neotectónica, vol. 28, núms. 149-150, pp. 189-193, Publicaciones Junta de Energía Nuclear, Madrid.
- Muncheber Ruck (Compañía de Seguros) (1978): World Map of Natural Hazards, Mapa y memoria, 49 pp., Munchener Ruckversicherungs-Gesellschaft, Munich (R. F. A.).
- Naciones Unidas (1978): Prevención y mitigación de desastres. (Compendio de los conocimientos actuales). Aspectos sismológicos, vol. 3, 125 pp. Naciones Unidas, Nueva York, EE. UU.
- Pernia, J. M.; González de Vallejo, L., y Saint-Aubin, J. (1984): Contribución al mapa sismotectónico de España. Presentación de la hoja piloto de Granada, escala 1:1.000.000, en I Congreso Español de Geología, tomo III, pp. 461-467, Ilustre Colegio Oficial de Geólogos, Segovia.
- Perrenoud, P., y Straub, H. (1980): El seguro y las consecuencias económicas de los terremotos, en Terremotos. Evaluación y mitigación de su peligrosidad, pp. 278-291, Blume UNESCO, Barcelona.
- Presidencia del Senado (1984): Informe de la Comisión Especial de Investigación para el estudio de las causas y consecuencias de las inundaciones en el norte de España, pp. 221-247, Boletín Oficial de las Cortes Españolas, Madrid.
- Prieto Alcolea, C., y Lamas Romero, J. L. (1985): Avenidas extraordinarias en el País Vasco, en Geologías y Prevención de Daños por Inundaciones, pp. 247-334, Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- Rodríguez Ortiz, J. M., et al. (1978): Regional studies on mass movements in Spain, en III Congreso Internacional. I. A. F. G., sec. I, vol. 1, núm. 29 pp. 267-277, Asociación Española de Geología Aplicada a la Ingeniería, Madrid.
- Romana Ruiz, M., y Soriano Peña, A. (1971): Algunos ejemplos de subsidencias en las cercanías de Zaragoza, en I Congreso hispano-Luso-Americano de Geología Económica, sec. 5, núm. 18, pp. 183-196, Editorial Ibérica, Madrid.
- Roses Castro, J. (1985): Incidencia macroeconómica de la desertización (Artículo), p. 10, IV Curso de Ordenación del Territorio, E. T. S. I. A., Lérida.
- Soloviev, S. L. (1980): Tsunamis, en Terremotos. Evaluación y mitigación de su peligrosidad, pp. 124-146, Blume UNESCO Barcelona.
- Suárez Ordóñez, L. E. Los estudios de riesgos geológicos para la planificación de inversiones de infraestructuras. Simposium «Riesgos y Sociedad» MAPFRE 1987 Madrid.
- Trilla Aruffat, J. (1981): Inestabilidad gravitatoria, en Geología y Medio Ambiente, 11 Serie Monografías, pp. 301-311, C.E.O.T.M.A. (Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo), Madrid.
- UNESCO (1980): Informe de la Conferencia intergubernamental sobre la evaluación y la disminución de los riesgos sísmicos. París, 10-19 de febrero de 1976, en Terremotos. Evaluación y mitigación de su peligrosidad, pp. 323-360, Blume - UNESCO, Barcelona.
- Varios Autores (1986): Prevenir y mitigar los riesgos naturales, en Revista El Geólogo, vol. IV, núm. 20, 51 pp. Ilustre Colegio Oficial de Geólogos, Madrid.
- Vidal, F.; Miguel, F., y Sanz de Galdeano, C. (1984): Neotectónica y sismicidad de la depresión de Granada, en Energía Nuclear, Revista-Monográfico neotectónica, tomo 28, núms. 149-150, pp. 267-275, Publicaciones Junta de Energía Nuclear, Madrid.

Videos sobre Riesgos Geológicos de la edición americana

No hay ningún video que cubra todos los riesgos geológicos que se analizan en este libro. Las cintas incluidas a continuación tratan de diversos desastres geológicos. Algunas tratan de desastres climáticos y desastres causados por el hombre.

Disasters of the 20th Century: Educational Video Network, 1401 19th St. Huntsville, TX 77340, (409) 295-5767.

Geologic Hazards Maps of San Mateo County, California: 1987, 13 min. U. S. Geol. Survey. Special Collections, MS 955, 345 Middlefield Road, Menlo Park, CA 94025, (415) 329-5009.

(*) **Infinite Voyage - Living with Disaster:** 1990, 58 min. WQED Enterprises, 4802 5th Ave., Pittsburgh, PA 15213, (412) 622-1307.

Myths and Realities of Natural Disasters: 1989, 25 min. Pan American Health Organization. U. S. Geol. Survey Library, Special Collections, MS 955, 345 Middlefield Road, Menlo Park, CA 944025, (415) 329-5009.

Pan American Health Organization Disaster Compilation: 1989, 64 min. U.S. Geol. Survey Library, Special Collections, MS 955, 345 Middlefield Road, Menlo Park, CA 94025, (415) 329-5009.

Solar System Roulette: Consequences of Large Impact Events for Life on Earth: 1988, 105 min. U.S. Geol. Survey Library, Special Collections, MS 955, 345 Middlefield Road, Menlo Park, CA 94025, (415) 329-5009.

Videos sobre Geología, Medio Ambiente y Riesgos Geológicos de la edición española

ITGE (1987): **Riesgos Geológicos. La Tierra Viva.** 40 min. Servicio de Publicaciones ITGE.

ITGE (1988): **Patrimonio geológico, patrimonio cultural.** 35 min. Servicio de Publicaciones ITGE.



Los geólogos ven tanto la belleza y el poder de los procesos naturales como el rastro de destrucción que queda cuando las construcciones y desarrollos humanos entran en conflicto con los procesos geológicos. En la imagen, un geólogo utiliza una sonda para muestrear la lava situada bajo la delgada costra sobre la que está apoyado. (Foto del Observatorio de Volcanes de Hawaii del USGS).

ITGE (1988): **La Tierra y el hombre.** 35 min. Servicio de Publicaciones ITGE.

ITGE (1990): **Las aguas subterráneas.** Servicio de Publicaciones ITGE.

ITGE (1992): **Minería y medio ambiente, ingeniería de restauración.** Servicio de Publicaciones ITGE. Ríos Rosas, 23. 28003. Madrid. Tel.: (91) 3495730/50. Fax: (91) 3495762.

RENFE (1992): **Los Estudios de Riesgos de la Infraestructura Ferroviaria.** 17 min. U.N. de Mantenimiento de Infraestructura. Dirección de Producción y Calidad. Avda. Ciudad de Barcelona, 2, 3.º 28007. Madrid. Tel.: (91) 5066402.

RENFE (1993): **Metodología de estudios geotécnicos de plataforma para su adecuación a velocidad alta.** 20 min. U.N. de Mantenimiento de Infraestructura. Dirección de Producción y Calidad. Avda. Ciudad de Barcelona, 2, 3.º 28007. Madrid. Tel.: (91) 5066402.

Diapositivas sobre Riesgos Geológicos

Las colecciones de diapositivas de 35 mm son muy útiles para los profesores. Las ilustraciones de este libro pueden solicitarse al ICOG.

Entre los proveedores que disponen de amplias colecciones están:

Earthquake Engineering Research Institute, 499 14th St. Suite 320, Oakland, CA 944612-1902, (510) 451-0905.

Geophoto Publishing Company, P. O. Box 1960, Orem, UT 84059, (801) 226-4009.

National Oceanic and Atmospheric Admin. National Geophysical Data Center, 325 Broadway, Boulder, CO 80303-3328, (303) 497-6277.

United States Geological Survey Photographic Library, MS 914, P.O. Box 25046, Federal Center, Denver, CO 80225-0046 (303) 236-1010.

Parte II - Riesgos causados por Materiales Geológicos

La reducción de riesgos causados por materiales geológicos podría llegar a ser el más costoso de los proyectos medioambientales que tendrá que soportar la Sociedad durante el siglo XXI. Algunos peligros son reales, otros parecen más imaginarios que reales. Los ciudadanos y sus representantes electos deberían preguntarse: "¿Cuál es la evidencia actual de que es necesaria una enorme inversión para remediar tales supuestos riesgos?" y "¿Qué beneficios obtendrá la Sociedad de dichas inversiones?"

Los minerales que encontramos habitualmente en suelos y rocas no son peligrosos, pero aquellos lectores que sean profesores de ciencias en general o de ciencias de la tierra, en particular, así como sus estudiantes, podrían encontrarse en ocasiones con ciertas menas metálicas no demasiado corrientes que contienen arsénico, mercurio u otros elementos tóxicos. Las sustancias que normalmente no se encuentran fuera de los laboratorios de mineralogía no producen pérdidas de vidas humanas o pérdidas económicas significativas, por lo que una revisión más exhaustiva de dichas sustancias queda fuera del objeto de este libro. Un texto que se debe consultar sobre la seguridad en la escuela cuando se trabaja con minerales es "Los peligros de los minerales tóxicos utilizados en las aulas" de J.H.Puffer publicado en la edición de 1979 del *Journal of Geological Education* (v. 27, pp. 150-153). Los minerales y las rocas son naturales, pero sólo porque una sustancia sea "natural" no significa necesariamente que sea saludable.

La distribución regional de la composición química natural del agua potable y de los alimentos cultivados en una determinada zona, está relacionada con la geología de dicha zona. Las sustancias químicas resultado de la alteración de las rocas, penetran en los suelos y en las aguas naturales. Posteriormente se ingieren a través de los alimentos y el agua consumida localmente. Muchas sustancias son necesariamente nutrientes. Algunas son beneficiosas cuando se ingieren en cantidades pequeñas, pero se convierten en tóxicas cuando se ingieren en dosis mayores. Se ha demostrado que sustancias comunes como el calcio, el sulfato y el sodio y otras menos corrientes como el cinc, el yodo, el flúor y el selenio, tienen efectos nocivos para la salud. El trabajo realizado en las últimas

décadas confirma que existen diversas relaciones entre la geología regional y la salud medioambiental. Los legisladores interesados en este tema pueden consultar el capítulo "Los aspectos geológicos de la salud medioambiental" del libro de E.A. Keller, *Environmental Geology* (Geología Ambiental); (1988, Nueva York, Merrill Publishers) y los que tengan una formación más científica pueden consultar *Environmental Geochemistry in Health and Disease* (Geoquímica Ambiental en la salud y en la enfermedad), publicado como Memoria 123 de la Sociedad Geológica de América (3300 Penrose Place, Boulder, CO 80301).

A continuación, analizaremos solamente aquellos materiales geológicos que producen costes amplios y significativos, en vidas humanas o económicos. Los materiales geológicos que se detallan a continuación son los minerales reactivos, los asbestos y los gases tóxicos, fundamentalmente el radón.

Los asbestos y el radón son actualmente temas frecuentemente tratados en periódicos y revistas de difusión. Hace una década estos materiales ni se mencionaban en los libros de riesgos geológicos, pero hoy los costes de eliminación de estas sustancias, sólo en los Estados Unidos, podría empequeñecer los costes del resto de los riesgos geológicos juntos. Las estimaciones incluyen unos 100 000 millones de dólares para la eliminación de asbestos y cantidades mucho mayores para reducir el nivel de radón del interior de las casas americanas a los niveles recomendados actualmente. A pesar de las legislaciones de obligado cumplimiento que dispararon dichos gastos enormemente, los beneficios que dichos dólares producirán realmente en la salud de los ciudadanos siguen siendo discutibles.

MINERALES REACTIVOS

Algunos riesgos se producen porque ciertos **minerales** (materiales con una estructura cristalina y una composición característica) tienen propiedades que cambian radicalmente durante el proceso geológico de la **meteorización**.

Los procesos de meteorización producen cambios químicos y físicos en los materiales expuestos a los agentes atmosféricos en la superficie del planeta. Estos cambios constituyen el proceso natural de "envejecimiento" que se manifiesta por el deterioro de las estructuras. Ejemplos de daños producidos por la meteorización son el debilitamiento gradual de las pilares de un puente, la corrosión y colapso de tuberías de servicio, tuberías de drenaje y de los túneles, o el agrietamiento del pavimento de las carreteras. La meteorización sólo constituye un riesgo económico grave cuando reduce la vida media de las estructuras por debajo de aquella para la que fueron diseñadas. Sin embargo, algunos procesos de meteorización que tienen relación con minerales especiales son lo suficientemente rápidos como para producir peligro para la vida y la seguridad de las personas.

Suelos expansivos

El **suelo** en su acepción más sencilla, consiste en material sin consolidar que cubre el sustrato rocoso. Es tan vital para la vida sobre la Tierra como el agua. Los suelos están fundamentalmente compuestos por minerales, pero son mucho más que sustrato rocoso meteorizado; están vivos y llenos de bacterias, algas, hongos, insectos y otros organismos minúsculos, así como de animales y plantas más conocidas. Estos organismos



Ondulaciones y planchas oscilantes revelan que esta acera de Dallas, (Texas), fue construida sobre suelos expansivos. (Foto de Edward Nuhfer).

producen importantes cantidades de materia orgánica, por lo que los suelos terminan siendo mezclas de minerales de arcilla, cuarzo, y otros minerales, junto con materia orgánica, agua y organismos vivos. Los suelos varían en composición, granulometría, cantidad de componentes orgánicos, agua y características constructivas.

Los **suelos expansivos** son aquellos que aumentan sustancialmente de volumen cuando hay agua presente. Causan más de 2 000 millones de dólares en daños a las autopistas y los edificios de los Estados Unidos. Los suelos expansivos son muy frecuentes y algunos aparecen en todos los estados de la unión. Tres grupos de minerales pueden causar suelos expansivos.

Las grietas de retracción en la superficie del terreno, es una característica de los suelos con arcillas expansivas. Estos suelos de Wyoming (EE.UU.) tienen abundante bentonita, un tipo de arcilla expansiva que se explota comercialmente para muchos usos, desde los cosméticos a los lodos de los sondeos de petróleo. (Foto de Edward Nuhfer).

1.- Arcillas expansivas. La causa más frecuente de la expansión de los suelos son las arcillas expansivas. Los minerales de la arcilla son el resultado de la simple alteración química de rocas comunes. Los componentes de los minerales de la arcilla (normalmente sílice, con aluminio o magnesio y un poco de potasio y sodio) se disponen en láminas o estructuras tipo sándwich. Los componentes de un grupo especial de minerales de la arcilla (**las esmectitas**) tienen una poderosa atracción por las moléculas de agua situadas entre dichas láminas. Cuando un suelo arcilloso tiene un elevado porcentaje de esmectitas, absorbe agua y se expande o hincha. Las minúsculas partículas de arcilla pueden expandirse hasta 20 veces su volumen seco, y el suelo suele aumentar su volumen entre 20 y 50%. (Los suelos que sufren aumentos de volumen de tan sólo un 3% se suelen considerar suelos problemáticos). Las presiones ejercidas pueden exceder fácilmente los 5,38 Kg por cm^2 y se han llegado a medir presiones de hasta 10,7 Kg por cm^2 . Tales presiones pueden romper fácilmente pavimentos de hormigón y causar importantes daños a las cimentaciones.

2.- Sulfatos cálcicos (yeso y anhídrita). Una tarde de 1954, un granjero de Moran, en Texas (EEUU), fue testigo de una explosión lejana acompañada de una nube de polvo y fragmentos. Una inspección más cercana reveló que una zona de unos 30 metros había salido disparada hacia arriba unos 20 metros y la explosión había desparramado fragmentos de rocas a una cierta distancia. Este fue uno de los diversos episodios violentos que han sido registrados, en los que grandes cantidades del mineral anhídrita (sulfato cálcico) se habían convertido en yeso (sulfato cálcico hidratado) por contacto con agua. La conversión de anhídrita en yeso, del mismo modo que la reacción de la esmectita, es expansiva y produce presiones de hasta 750 Kg por cm^2 . Aunque la reacción produce en muy pocas ocasiones episodios tan rápidos y espectaculares como el indicado anteriormente, la presencia de minerales de sulfato cálcico en los suelos los convierte en expansivos y por lo tanto se



El abombamiento de los suelos expansivos ha dañado esta casa de Texas, causando una separación cerca del techo. (Foto de Edward Nuhfer).



Los empujes de los suelos expansivos han causado que esta pared de bloques que rodea a una propiedad se incline y rompa. (Foto de Edward Nuhfer).



Las carreteras construidas sin tomar las debidas precauciones con respecto a la existencia de suelos expansivos muestran abombamientos, ondulaciones y multitud de grietas. (Foto de Edward Nuhfer).

deben tomar con ellos las mismas precauciones que con los que contienen esmeccitas.

3.- Sulfuros de hierro. Las lutitas negras suelen ser ricas en sulfuros de hierro. Cuando dichos sulfuros se oxidan, los productos (ácido sulfúrico y sulfatos) son corrosivos. Los sulfatos contienen mucha agua en su estructura, y ocupan mucho más volumen que el sulfuro original. Si las cimentaciones y los pavimentos se colocan sobre lutitas negras sin las correspondientes precauciones de diseño, dichas estructuras de hormigón experimentarán un rápido deterioro y descomposición.

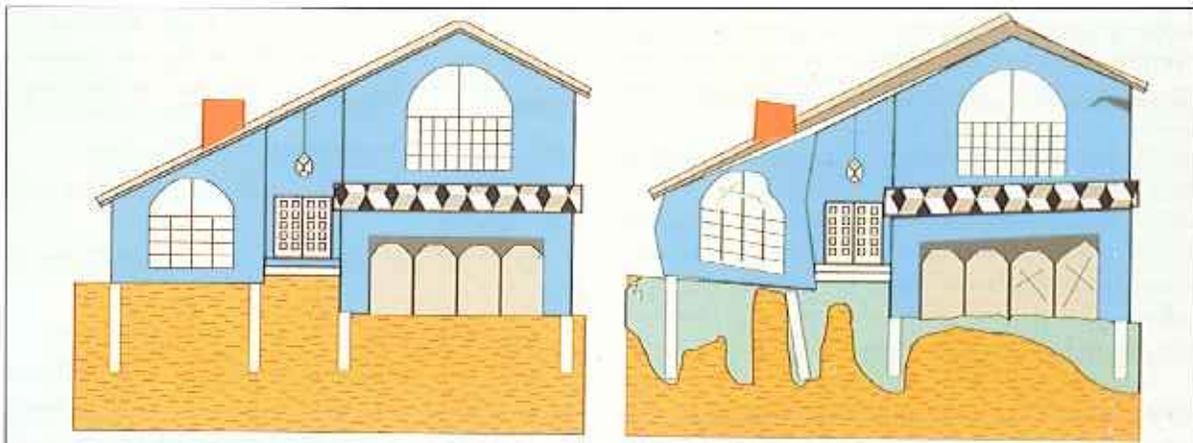
Los suelos finos que recubren laderas y que al mismo tiempo son ricos en arcillas expansivas, son especialmente susceptibles a la reptación y deslizamiento (ver también el apartado sobre deslizamientos). Debido al tipo de minerales arcillosos y la disposición abierta de las minúsculas partículas de arcilla, algunos suelos y sedimentos pueden pasar de sólidos a líquidos cuando son sometidos a una vibración. Tales **suelos**, denominados **licuefactables**, pueden fluir rápidamente y con consecuencias devastadoras. Las estructuras construidas sin un adecuado diseño sobre estos suelos inestables sufren rápidamente agrietamiento de las cimentaciones, descuadre de puertas y ventanas y fenómenos de inclinación de paredes.

No obstante es posible trabajar adecuadamente con los suelos expansivos y si se deben construir estructuras sobre suelos expansivos, la técnica actual dispone de métodos solventes para diseñar las cimentaciones.

Algunos suelos expansivos se pueden estabilizar con un tratamiento con cal u otros productos químicos. Dichos productos químicos aumentan la resistencia del suelo situando iones de calcio o potasio en la estructura de los minerales de la arcilla donde normalmente entraría el agua. Posteriormente el suelo tendrá una menor tendencia a absorber agua. Otros métodos de tratamiento son la excavación de los suelos expansivos y su sustitución con un material de relleno más estable, o la instalación de un sistema de drenaje que mantenga el exceso de agua lejos de las cimentaciones sensibles y mantenga el nivel natural de humedad del suelo. Entre las soluciones constructivas se encuentra la cimentación de la estructura sobre pilotes empotrados por debajo de la profundidad de la zona expansiva y el diseño de pavimentos especiales flexibles, que pueden soportar un cierto grado de abombamiento y flexión sin agrietarse.

Los propietarios de casas en zonas afectadas deberían estar seguros de que sus pólizas de seguro cubren los daños por suelos expansivos. En la región de Front Range en Colorado, un estudio realizado en 1980 por el Programa de Garantía de Seguros de Propietarios de Viviendas reveló que un elevado número de las reclamaciones en dicha zona eran resultado de suelos expansivos.

Los suelos expansivos pueden crear problemas, pero las propiedades expansivas de algunas rocas y suelos también han demostrado su utilidad. El material comercial más destacable es la **bentonita**, un material blando rico en arcillas expansivas. La bentonita se origina por alteración de cenizas volcánicas durante el



¡Una elevación que no se agradecerá en absoluto! **IZQUIERDA.-** Todo va bien en esta vivienda recién construida hasta que el agua de los desagües, del riego del césped o de alcantarillas o acometidas que pierden, empapan los suelos expansivos situados bajo los cimientos. **DERECHA.-** Con el tiempo, los suelos expansivos ejercen una presión de varios Kg por cm² sobre las cimentaciones y pilotes someros. Sin medidas de remediación, la casa se deformará rompiéndose la mampostería y las ventanas. Los remedios varían desde simplemente mantener los drenajes lejos de la casa, hasta costosas reconstrucciones de las cimentaciones. Es siempre preferible una correcta planificación previa de la zona, que tenga en cuenta la geología, a tener que tratar con los problemas una vez se ha construido la edificación.

tiempo geológico. Cuando se utiliza correctamente, la bentonita sirve como aislante para la humedad en las cimentaciones, como recubrimiento sellante en relleños y zonas de vertido de residuos y como impermeabilizante para balsas y depósitos artificiales.

Cuando se siguen los siguientes pasos antes de la construcción, las pérdidas debidas a los suelos reactivos son en su mayoría evitables.

- 1.- Consultar los mapas geológicos y de suelos (donde se disponga de ellos), con objeto de anticipar la naturaleza del material que previsiblemente exista en la zona.
- 2.- Muestrar la zona adecuadamente para asegurar que se conoce el espesor, la profundidad y la distribución de todos los materiales pertinentes.
- 3.- Ensayar los suelos para determinar sus características físicas.
- 4.- Diseñar las estructuras de acuerdo con las condiciones del suelo obtenidas de los ensayos.
- 5.- Construir de acuerdo con las especificaciones del diseño.
- 6.- Educar a los propietarios de los edificios o a sus ocupantes sobre las condiciones del suelo e instruirlos sobre como cuidar la estructura manteniendo un drenaje adecuado e incorporando planes de jardinería adecuados.

Ningún debate sobre suelos problemáticos para legisladores estaría completo sin la mención de las **arenas movedizas**. Los novelistas y los guionistas de cine han invocado convenientemente a las arenas movedizas para tragarse a víctimas horrorizadas. Estos horripilantes cuadros son más sensacionalismo que hechos reales. Las arenas movedizas se producen cuando el agua subterránea fluye hacia la superficie del terreno y suele formar una charca donde surgen del fondo arenoso manantiales burbujeantes. La fuerza del agua desplazándose hacia arriba separa los granos de arena y anula la cohesión normal grano a grano que le confiere a las arenas su resistencia esperable. Las arenas movedizas son más una condición de las arenas que una característica de las mismas. Los objetos situados sobre arenas movedizas se pueden hundir en ellas del mismo modo que lo harían en el agua. Las arenas movedizas son un peligro comparable a caerse accidentalmente en una balsa de agua, ya que cuando alguien se cae al agua, el agitarse con pánico de un lado a otro podría cansar a la víctima hasta tal punto que la cabeza quede cubierta, lo que podría ser fatal. En comparación con otros riesgos tra-

tados en este libro, las pérdidas de vidas humanas y económicas atribuibles a las arenas movedizas son insignificantes. En la práctica constructiva, el desvío del agua subterránea para eliminar el movimiento ascendente hará que las arenas retornen a un estado capaz de proporcionar un soporte normal.

El riesgo por arcillas expansivas en España

Los daños que causan en España las arcillas expansivas tanto en edificios como en calles, carreteras y servicios son en determinadas zonas del país, muy importantes.

La distribución de los suelos expansivos en España se centra en las depresiones y cuencas terciarias y en las formaciones del triásico, que presentan en mayor o menor medida potentes niveles de arcillas con diferentes grados de expansividad. En nuestro país el riesgo de expansividad se amplía debido a la abundancia de suelos arcillosos montmorilloníticos (elevada capacidad de hinchamiento) y a las condiciones climáticas fundamentalmente secas que favorecen el desarrollo de la mencionada propiedad.

Un 32% de las formaciones geológicas que constituyen el territorio español contienen arcillas con capacidad expansiva y un 67% del mismo se encuentra bajo condiciones climáticas en que esa capacidad podría manifestarse (Salinas Rodríguez, J.L.)

El Instituto Geológico y Minero de España (IGME) publicó en 1986 el Mapa Previsor de Riesgos por Expansividad de Arcillas en España a escala 1:1 000 000, que se reproduce en estas páginas. En dicho trabajo se identificaban como zonas más conflictivas las siguientes de norte a sur:

En la Cuenca del Ebro, la Zona comprendida en el valle del Ebro.

En la Cuenca del Duero, la Zona de Tierra de Campos.

En la Cuenca del Tago, la Zona Sur de Madrid.

En las Cuencas terciarias de la parte sur de Murcia y Almería. Zonas del Guadalentín, Vera, Tabernes, etc.

En la Cuenca del Guadalquivir, las provincias de Jaén, Córdoba, Sevilla y Huelva.

La Tabla incluida a continuación reproducida de Salinas Rodríguez, J.L. indica el desarrollo superficial en España de las Formaciones Geológicas con Arcillas estimado a partir del Mapa previsor del IGME.

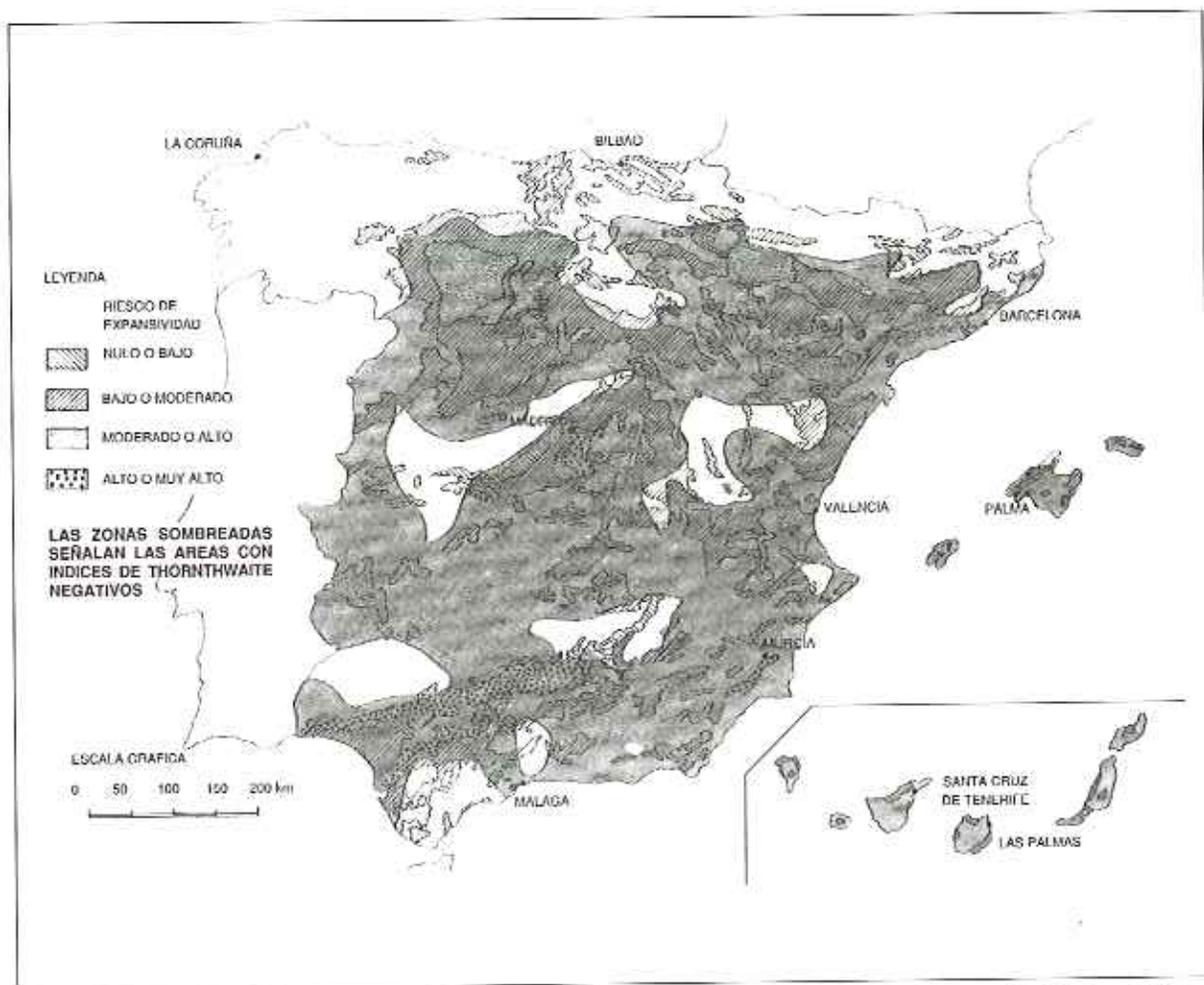
Parte 2 - Riesgos causados por Materiales Geológicos – *Minerales Reactivos*

Ambito territorial	Riesgo de Expansividad del Sustrato Arcilloso (km ²)			
	Nulo o bajo	Bajo o Moderado	Moderado o Alto	Alto o Muy Alto
Cornisa Cantábrica	778	4.380	0	0
Cuenca del Ebro	2.460	18.104	8.701	0
Franja Extremeña	130	8.491	4.941	0
Meseta Norte	2.585	29.170	7.720	0
Meseta Sur	4.060	27.004	5.200	1.815
Franja Levantina	988	14.491	1.970	659
Franja Andaluza	1.562	12.045	7.512	9.544
Total del Territorio	12.563	108.685	36.047	12.038

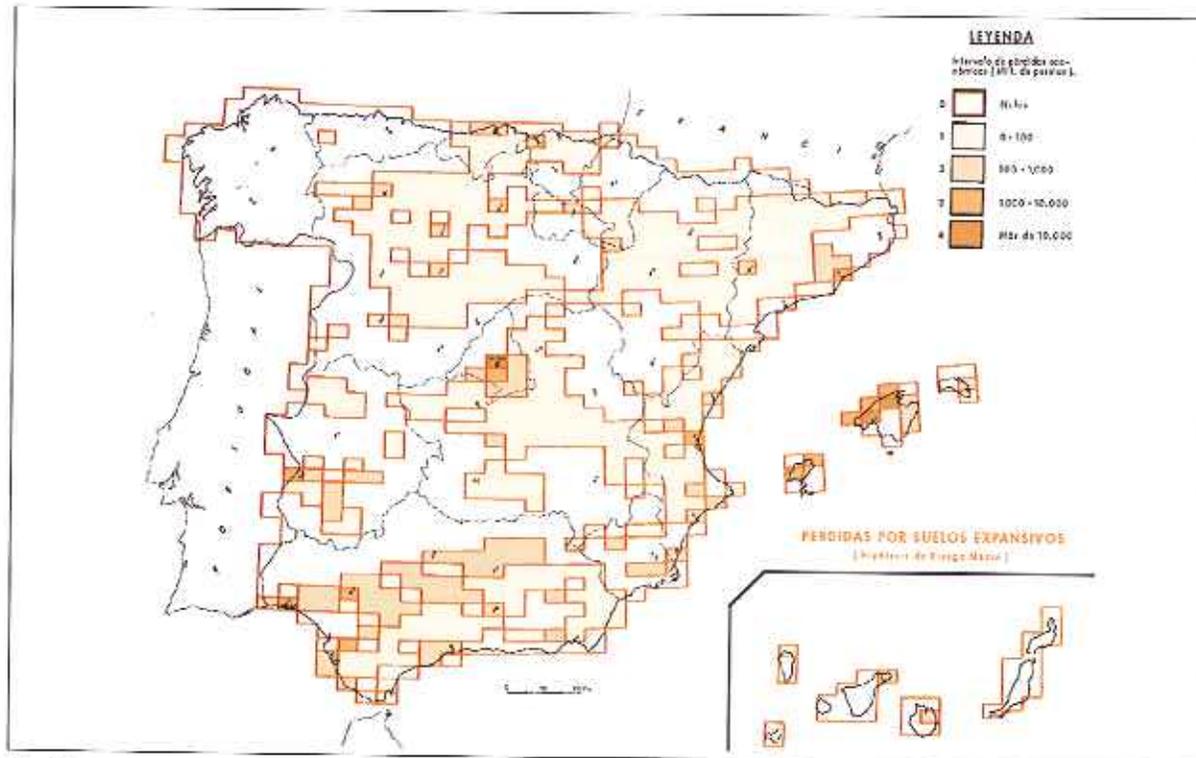
El máximo riesgo de expansividad de arcillas en España, corresponde a las formaciones arcillosas neógenas que, además de ampliamente extendidas en territorios deprimidos (Mesetas, cuenca del Ebro, valle del Guadalquivir, etc) y áridos, suelen tener naturaleza montmorillonítica. Andalucía y la Meseta Sur son las zonas donde se producen los mayores daños por expansividad, ya que el 71,2% del total de las formaciones geológicas con arcillas son arcillas neógenas (21 838 Km²) en la primera y 75,9% (25 127 Km²) en la segunda.

Las arcillas triásicas en facies Keuper que afloran en unos 3.130 km² en Andalucía y 1.480 Km² en la Meseta Sur son también destacables por su riesgo de expansividad.

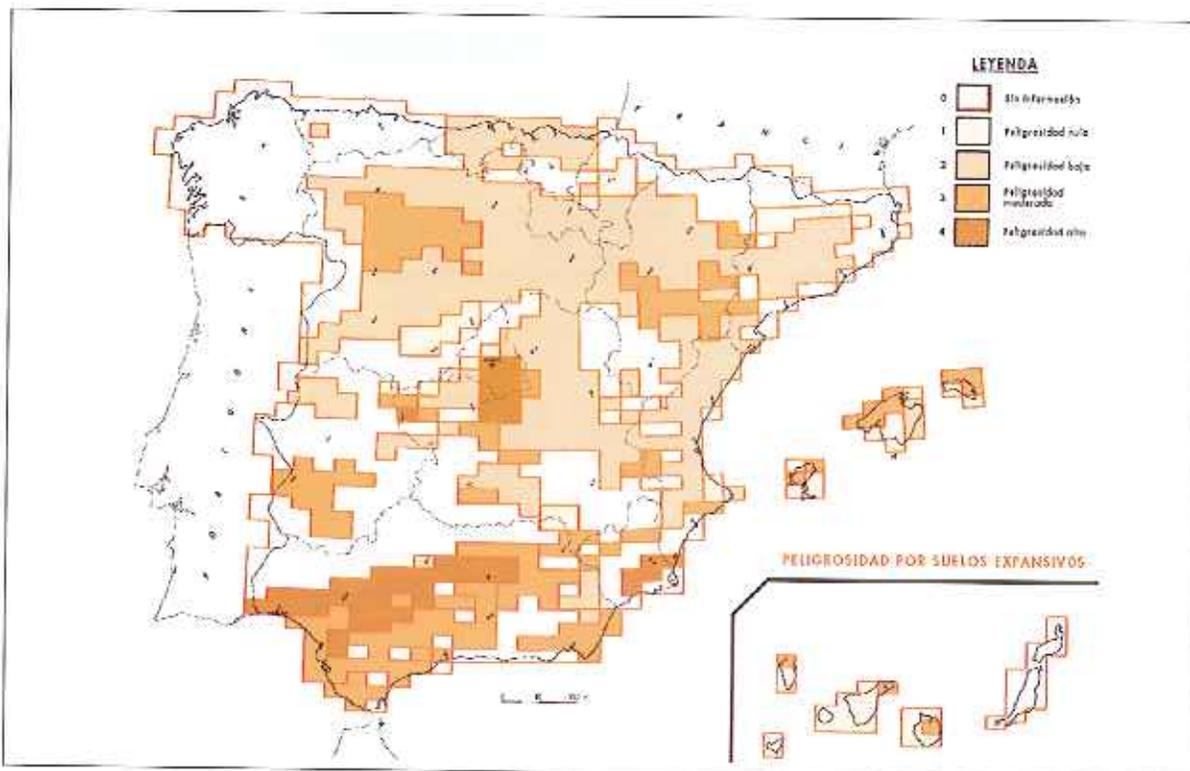
La evaluación de la peligrosidad de los suelos expansivos ha sido realizada también por el IGME en su «Impacto Económico y Social de los Riesgos Geológicos



Versión simplificada del mapa de riesgos por expansividad de arcillas a escala 1 : 1.000.000. (F. Ayala, M. Ferrer, C. Otero y J. L. Salinas, 1986).



Pérdidas por suelos expansivos en España. (Hipótesis de Riesgo Medio). (Impacto Económico y Social de los Riesgos Geológicos en España, 1988, IGME)



Peligrosidad por suelos expansivos en España. (Impacto Económico y Social de los Riesgos Geológicos en España, 1988, IGME).

en España» publicado en 1988 a partir del mapa indicado anteriormente. La figura reproducida de dicho texto (Peligrosidad por suelos expansivos), asigna a cada cuadrícula el grado de peligrosidad predominante de la superficie delimitada por la retícula de la malla.

Los grados de peligrosidad se establecieron según los siguientes niveles:

0 = Sin información o no clasificado

1 = Peligrosidad nula. Zona con ausencia de arcillas o con existencia de arcillas no expansivas o dispersas en una matriz no arcillosa. Potencialidad de expansión nula o baja.

2 = Peligrosidad baja. Zona con arcillas expansivas o emplazadas en zonas climáticas sin déficit anual de humedad. Potencialidad de expansión moderada.

3 = Peligrosidad moderada. Zona con arcillas expansivas localmente predominantes y emplazadas en zonas climáticas con déficit anual de humedad. Potencialidad de expansión alta.

4 = Peligrosidad alta. Zonas con arcillas expansivas zonalmente predominantes o emplazadas en puntos con problemas derivados de la expansividad. Potencialidad de expansión muy alta.

El trabajo incluye así mismo un mapa de pérdidas por suelos expansivos para una hipótesis de riesgo medio, reproducida aquí, que muestra las zonas del país donde previsiblemente se produzcan pérdidas por este tipo de riesgo geológico.

Ambas figuras reflejan solamente datos probabilísticos y no deben aplicarse a casos concretos que deberán ser estudiados por los técnicos competentes.

Áridos reactivos en el hormigón

Los **áridos** están constituidos por arenas, gravas o rocas machacadas, y se emplean en una gran variedad de proyectos constructivos. Tras los combustibles fósiles (petróleo y gas), los áridos constituyen los depósitos de materiales terrestres de mayor importancia económica. Encontrar buenos recursos de áridos es, a veces, en algunas zonas, un gran reto. En especial en aquellas zonas que han experimentado un gran desarrollo, las zonas de áridos de alta calidad y fácil extracción se han agotado. Algunos materiales cuando se emplean como áridos para hormigones reaccionan con el cemento Portland de manera expansiva lo que produce un envejecimiento acelerado y el fallo prematuro del hormigón resultante. Tales materiales se denominan **áridos reactivos**. Entre los minerales reactivos que suelen aparecer en los áridos están los **minerales de la arcilla**. Las arcillas que aparecen en las dolomías (rocas compuestas fundamental-

mente por el mineral dolomita, un carbonato calco-magnésico), o en las calizas (rocas compuestas fundamentalmente por el mineral calcita, carbonato cálcico), pueden causar problemas. Otros minerales reactivos son las **micas** (silicatos laminares), algunos **feldespatos** (minerales aluminosilicatados), el **silix** (mezcla de grano muy fino de cuarzo y ópalo), y, la **pirita** y **marcasita** (sulfuros de hierro). Entre las sustancias naturales no cristalinas que a veces producen reacciones de expansión están los **vidrios volcánicos** y las **diatomitas** (material compuesto por caparazones de sílice de algas unicelulares denominadas diatomeas). La ignorancia sobre la naturaleza de los áridos produce errores muy costosos en la construcción de autovías, puentes y aceras de corta vida. Cuando se sabe que existen los minerales reactivos, es posible añadir aditivos especiales en la mezcla del hormigón para garantizarle una vida más larga. La clave del éxito está en conocer qué minerales están presentes antes de que se fabrique el hormigón.

Drenaje ácido

El drenaje ácido se produce allí donde los sulfuros están expuestos al aire y al agua, tanto en excavaciones subterráneas como a cielo abierto. Hay daños que todavía persisten y que comenzaron antes de que el drenaje ácido se entendiera y se pudiera luchar contra él. Una vez que se establece en un lugar el proceso de formación de ácido, puede resultar difícil y caro de controlar. Un método de control es utilizando productos químicos tales como la cal, la caliza, el hidróxido sódico o rocas fosfáticas que neutralizan el ácido o inhiben su producción. Otro método es el empleo de sustancias tensoactivas (compuestos como los jabones o los detergentes) que matan la bacteria *Thiobacillus* eliminando el recubrimiento aceitoso que las protege del ácido. En general, estas son medidas caras y temporales y no son soluciones permanentes. Un método con futuro es la construcción de zonas húmedas con plantas especiales tales como las espadañas y el musgo *Sphagnum*. Estas plantas acuáticas pueden sobrevivir en aguas ácidas y tienen una elevada capacidad para eliminar del agua los metales tóxicos disueltos y los sulfatos. Las aguas ácidas se canalizan a través de los humedales construidos y emergen mucho más limpias que antes, algunas veces tan limpias que no precisa tratamientos ulteriores. El hierro y el azufre se reconvierten en pirita y permanecen en el lodo de los humedales. No obstante, la mejor solución es simplemente no permitir que se desarrolle la reacción. En las modernas minas a cielo abierto esto se lleva a cabo **restaurando** inmediatamente el terreno donde se ha extraído el mineral. Durante la restauración, el área explotada o excavada se retalza, se instalan los controles de dre-

naje, se repone el suelo y se dispone una cubierta vegetal adecuada, que evita que el aire y las bacterias ataquen a los sulfatos de hierro. No está permitido que los

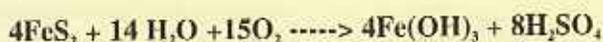
estériles de minas se dejen expuestos al aire libre, al agua o a las bacterias el tiempo suficiente como para que generen cantidades importantes de ácido.



El agrietamiento de este hormigón revela una reacción expansiva entre el ácido y el cemento en el hormigón. Pronto la superficie se llenará de desconchones a lo que seguirá el completo deterioro. (Foto de Edward Nuhfer).

El drenaje ácido: Una consecuencia de la reacción de oxidación de los sulfuros

La misma oxidación de los sulfuros de hierro que produce la expansión del suelo, causa importantes daños en arroyos y lagos por *drenaje ácido*. El drenaje ácido (a menudo denominado "drenaje ácido de las minas" debido a que suele ocurrir en minas de carbón) se produce cuando los sulfuros, en especial la pirita (sulfuro de hierro, FeS₂) y la marcasita (otro sulfuro de hierro, FeS₂), reaccionan con el aire y el agua para dar lugar al ácido sulfúrico y a los sulfatos de hierro. Los sulfuros de hierro están ampliamente distribuidos. Los que tienen más probabilidades de producir drenaje ácido se producen en los estériles de las minas de carbón, y en las lutitas negras. Los minerales del sulfato se siguen oxidando hasta que producen un lodo de hidróxido de hierro rojo herrumbroso y ácido sulfúrico. Una expresión general de la reacción química es:



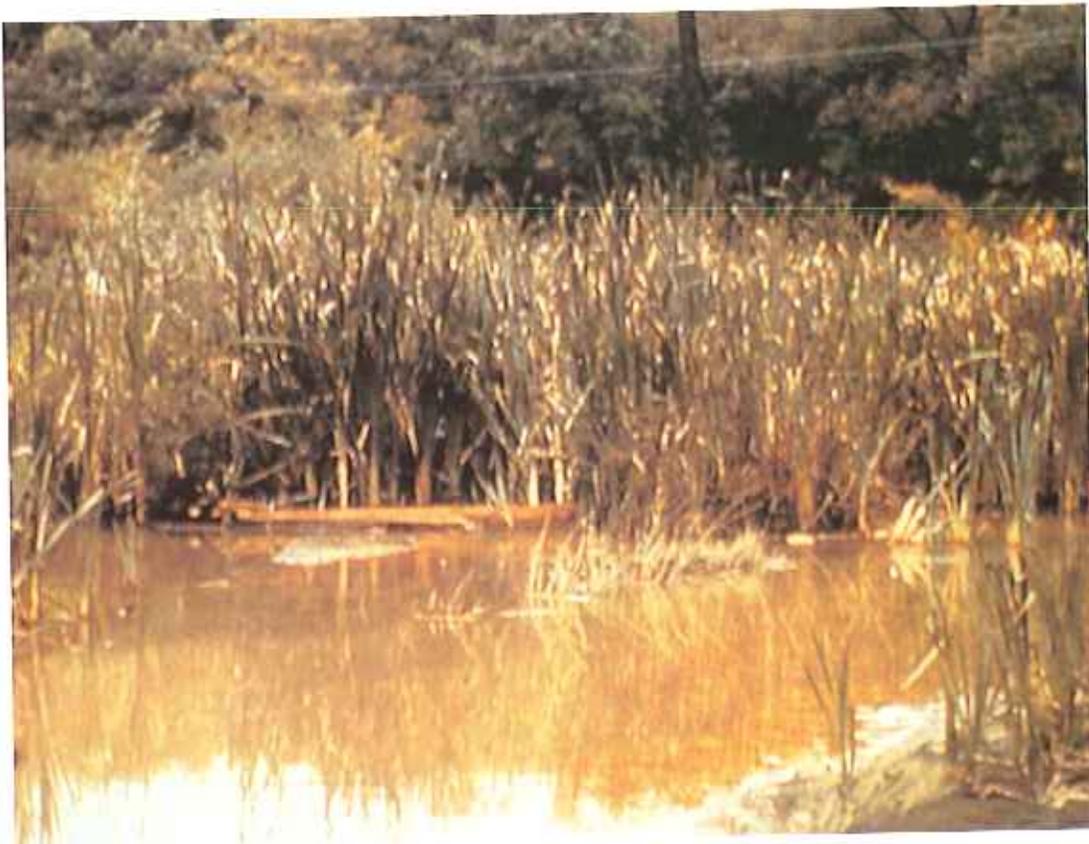
lo que significa

Pirita más agua más oxígeno del aire, producen hidróxido de hierro y ácido sulfúrico.

Cuando se produce esta reacción, al ácido sulfúrico contamina el agua y el lodo rojizo del hidróxido de hierro ataca los arroyos y embalses. Las aguas ácidas matan la vida acuática y atacan a las estructuras hechas por el hombre tales como las pilas de los puentes de hormigón, muros de contención, desagües de hormigón, tuberías de servicio o de alcantarillas y entubados de pozos. Se estima que entre 8 000 y 16 000 km de los arroyos de los Estados Unidos han sido contaminados por el drenaje ácido. Las mencionadas reacciones les cuestan a la industria minera más de 1 millón de dólares al día sólo para controlarlas, y los datos acumulados se han estimado entre 15 000 y 50 000 millones de dólares. En la Naturaleza, la reacción tiene lugar rápidamente en presencia de una bacteria, *Thiobacillus ferrooxidans*. Este tipo de bacteria obtiene su energía del proceso de oxidación del sulfuro y sirve para acelerar cientos de veces la reacción anterior de la que tendría sin la presencia de la bacteria. La reacción también produce grandes cantidades de calor y causa problemas cuando el carbón que contiene la pirita reactiva, se almacena o despacha en barco. La alteración natural de la roca expone sólo una pequeña cantidad de sulfuro de hierro reactivo de cada vez, y por lo tanto la reacción anterior no suele ser un problema hasta que grandes excavaciones artificiales exponen rápidamente a la atmósfera grandes volúmenes de material rico en sulfuros. Entonces la reacción avanza rápidamente y se pueden formar grandes volúmenes de ácido.



El drenaje ácido procedente de viejas minas de carbón produjo los lodos del arroyo. Las aguas ácidas corroyeron el muro de retención de cemento y los pilares del puente que se observan seguirán pronto la misma suerte. La restauración y las prácticas mineras actuales minimizan el drenaje ácido. Las minas a cielo abierto modernas causan muy pocas veces estos efectos. (Foto del Servicio Geológico y Económico de Virginia del Este).



Planta natural de tratamiento de aguas en funcionamiento. Bajo una pila abandonada de tostación generadora de ácidos procedente del tratamiento de menas de plomo-cinc a principios de 1900 en el sudoeste de Wisconsin, se ha establecido de modo natural un pantano de espadañas, musgo esphagnum y balsaminas. Actualmente se reconoce que los humedales son muy eficaces en la eliminación del agua de metales tóxicos y otras sustancias. La construcción de humedales para el tratamiento de aguas se estableció por primera vez a partir de investigaciones mineras y la tecnología se está adaptando actualmente también para otros tipos de tratamientos de aguas. (Foto de Edward Nuhfer).

Fases de la restauración de una explotación a cielo abierto

La restauración permite devolver los terrenos alterados a un uso útil y evitar daños a largo plazo, que podrían resultar de su abandono como el drenaje ácido. Consiste en cinco etapas: (1) control de drenaje, (2) estabilización de las formas del terreno, (3) revegetación, (4) control permanente y (5) vuelta a un uso planificado.



(1) El drenaje se desvía y controla continuamente desde la zona alterada. La adecuada reposición de los estériles recubiertos por el suelo y a su vez por el suelo vegetal, asegura taludes estables y el enterramiento de cualquier posible mineral reactivo. Esta pala está compactando ligeramente el suelo al dejar sus cadenas unas marcas alineadas que aplanan la pendiente y sujetan las semillas y la humedad.



(2) La sustitución del suelo vegetal es seguida rápidamente por el sembrado, para establecer una cubierta vegetal. En la imagen una hidrosembradora extiende una mezcla de semillas y fertilizante junto con una capa de paja. El color verde procede de un tinte biodegradable que permite al operario de la hidrosembradora apreciar la cobertura.



(3) La plantación de cizaña de crecimiento rápido evita la erosión del suelo y añade materia orgánica que ayuda a restablecer la calidad del suelo. La elección de las cosechas de recubrimiento se debe realizar con mucho cuidado, ya que una cobertura adecuada en una región climática podría ser una hierba perenne en otra. No es posible ningún uso del terreno en esta delicada etapa. Las comprobaciones de la calidad del agua y de la estabilidad de las pendientes sirven para verificar cualquier necesidad de reparaciones.

(Fotos de Edward Nuhfer)



(4) Una vez la cosecha de cobertura se marchita, ocupan su lugar hierbas y leguminosas más permanentes que restauran esta zona explotada para uso como pastizales o praderas. El uso actual podría ser para pasto, fauna silvestre o recreativo. Más tarde se podrían plantar árboles para eventualmente devolver la zona al bosque. Lo ideal es que la restauración con vegetación permanente se diseñe a partir de plantas autóctonas. Los planes de restauración son variables y pueden incluir restaurar una pradera nativa, devolver un lugar a su uso como terrenos de labor o utilizar la zona para construcción y desarrollo.

El papel del geólogo en la lucha contra los minerales reactivos

En la cartografía. Los geólogos tienen la formación adecuada para identificar los materiales geológicos y conocer los conceptos que condicionan su distribución. Los geólogos utilizan su formación en la identificación y distribución para evaluar rápidamente la mayoría de las localizaciones de los minerales reactivos. La cartografía es quizás el aspecto más importante en la planificación regional y en la caracterización de puntos concretos y los geólogos que trabajan en las instituciones públicas en municipios, diputaciones, autonomías y gobierno central proporcionan, un servicio enorme al elaborar y publicar mapas.

En el estudio de las muestras. Los análisis y ensayos de las muestras de suelos y rocas se sitúa a caballo entre la ingeniería geológica y la edafología. Los ensayos geotécnicos suelen incluir ensayos físicos que predicen lo que ocurrirá cuando se apoye una estructura sobre un determinado material. Los ensayos geotécnicos son físicos y están normalizados. Ayudan a deducir las características de transmisión de fluidos y el comportamiento de los suelos bajo condiciones variables de esfuerzos y humedades. Los ensayos de caracterización geológica incluyen los mismos ensayos físicos, ensayos geofísicos, y ensayos de laboratorio más sofisticados centrados en la distribución granulométrica, composición química, fábrica y, especialmente, mineralogía. Los ensayos geológicos están diseñados para explicar porqué un suelo tiene determinadas propiedades, cuál es la distribución de dichos suelos y, en especial, que le ocurrirá a una estructura, tal como un túnel o un edificio, como resultado de los cambios que tendrán lugar en las rocas y suelos adyacentes durante largos períodos de tiempo. Los edafólogos tratan más con el suelo como un medio biológico para el crecimiento de las plantas que los geólogos o los ingenieros, y su visión

es particularmente útil en los proyectos de construcción, almacenamiento de residuos y restauración.

Los geólogos ayudan al contratista a evitar los áridos reactivos en los hormigones, realizando una caracterización microscópica de los posibles áridos. Los geólogos que realizan este tipo de trabajo utilizan un microscopio especial (denominado microscopio de polarización, porque utiliza luz polarizada para observar las muestras) que ha sido diseñado para observar materiales cristalinos como los minerales. Este estudio se puede realizar en la explotación o cantera donde se extraiga el árido. La transferencia de tecnología ha dado lugar a un nuevo campo, la **petrografía de hormigones** donde se aplica la metodología de la petrografía (el estudio de la fábrica, textura y composición mineralógica de las rocas en muestras de mano y por microscopio de polarización) a los hormigones para deducir su integridad, evaluar su calidad durante el curado y aplicación y conocer las razones de su fracaso.

En la investigación. El trabajo sobre suelos y rocas reactivas es un problema interdisciplinario que implica el trabajo conjunto de geólogos, edafólogos, ingenieros y en ocasiones, químicos, biólogos y científicos medioambientales. Los geólogos, en especial los de los servicios geológicos nacionales y las universidades y regiones y autonomías donde hay explotaciones de carbón, han llevado a cabo la mayor parte de la investigación pionera que permite la predicción de donde se podría producir drenaje ácido antes de que se comience la explotación y de cómo se puede controlar el mismo. Los geólogos estudian el proceso de la formación de las rocas y su meteorización y este conocimiento es útil para ayudar a diseñar métodos que funcionen adecuadamente de acuerdo con los procesos naturales para controlar el drenaje ácido.

Bibliografía sobre los riesgos de los Minerales Reactivos de la edición americana

- Brace, G., 1965, *Anhydrite and gypsum problems in engineering geology*; Bull. Assoc. Engrg.
- Campbell, D. H., 1986, *Microscopical Examination and Interpretation of Portland Cement and Clinker*; Skokie, IL, Construction Technology Laboratories, Division of Portland Cement Association.
- Dougherty, M. T., and Barsotti, N. J., 1972, *Structural damage and potentially expansive sulfate minerals*; Bull. Assoc. of Engrg. Geologists, v. 9, pp. 105-125.
- Fenner, J. L., Hamberg, D. J., and Nelson, J. D., 1983, *Building on Expansive Soils*; Civil Engineering Dept., Colorado State University, Fort Collins, CO.
- Gillott, J. E., 1987, *Clay in Engineering Geology* (2nd ed.); New York, Elsevier.
- Gillott, J. E., 1986, *Alkali-reactivity problems with emphasis on Canadian aggregates*; Engineering Geology, v. 23, pp. 29-43.
- Grattan-Bellew, P. E., and Eden, W. J., 1975, *Concrete deterioration and floor heave due to biogeochemical weathering of underlying shale*; Can. Geotech. Jour., v. 12, pp. 372-378.
- Hart, S. S., 1974, *Potentially swelling soil and rock in the Front Range corridor, Colorado*; Colorado Geol. Survey, Environmental Geol. n. 7.
- Hatheway, A. W., 1992, *Stringfellow Acid Pits, world's first legal hazardous waste disposal site*; in *Engineering Geology Practice*

- in *Southern California*, Assoc. Engrg. Geologists Spec. Pub., Belmont, CA, Star Pub. Co., pp. 81-117.
- Hollingsworth, R., and Grover, E., 1992, **Causes and repair of residential damage in southern California**: in *Engineering Geology Practice in Southern California*, Assoc. Engrg. Geologists Spec. Pub., Belmont, CA, Star Pub. Co., pp. 427-441.
- Holtz, W. G., and Hart, S. S., 1975, **Home construction on shrinking and swelling soils**: Colorado Geol. Survey Spec. Pub. 11, 18 p.
- Huang, S. L., Aughenbaugh, N. B., and Rockaway, J. D., 1986, **Swelling pressure studies of shales**: Intl. Jour. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., v. 23, pp. 371-377.
- Jochim, C. L., 1981, **Home landscaping and maintenance on swelling soil**: Colorado Geol. Survey Spec. Pub. 14, 31 p.
- Jones, D. B., and Holtz, W. G., 1973, **Expansive soils, the hidden disaster**: Civil Engineering, v. 8, pp. 49-51.
- Kittrick, J. A., and others, 1979, **Acid sulfate weathering**: Soil Science Society of America, Special Pub. 10, 234 p.
- Kleinmann, R. L., 1990, **Bibliography - Constructing wetlands on mined lands (1985-1990)**: Amer. Soc. Surface Mining and Reclamation, Princeton, WV.
- Krohn, J. P., and Slosson, J. E., 1980, **Assessment of expansive soils in the United States**: Proceedings, 4th Intl. Conf. on Expansive Soils: Amer. Soc. Civil Engrs., New York, v. 15, pp. 596-608.
- Lambe, T. W., 1960, **The character and identification of expansive soils**: Federal Housing Administration Technical Publication 701, Washington, D. C.
- Matthewson, C. C., Dobson, B. M., Dyke, D. L., and Lytton, R. L., 1980, **System interaction of expansive soils with light foundations**: Bull. Assoc. of Engrg. Geologists, v. 17, n. 2.
- Shelton, D. C., and Prouty, R., 1979, **Nature's building codes, geology and construction in Colorado**: Colorado Geol. Survey Special Publication 12, 72 p.
- Sneath, D. (ed.), 1980, **Expansive Soils**: Amer. Soc. Civil Engrs., Conference Proc., 935 p.
- Tourtelot, H. A., 1974, **Geologic origin and distribution of swelling clays**: Bull. Assoc. of Engrg. Geologists, v. 11, pp. 259-275.
- U. S. Bureau of Mines, 1985, **Control of acid mine drainage**: USBM, Info. Circular n. 9027, 61 p.
- Van Dine, D. F., and Harrison, C. M., 1982, **Dolostone popouts in asphalt, Kingston, Ontario**: Can. Geotech. Jour., v. 19, pp. 194-201.
- Velbel, M. A., 1984, **Weathering processes of rockforming minerals**: in Fleet, M. E. (ed.), *Environmental Geochemistry*, Mineralogical Assoc. Canada Short Course Handbook, v. 10, pp. 67-111.

Bibliografía sobre Arcillas

Expansivas de la edición española

- Ayala, F. J.; Elizaga Muñoz, E.; González de Vallejo, L. I.; Durán Valsero, J.; Beltrán de Heredia, F.; Oliveros, M. A.; Carbó Gorosable, A.; Guillaumont, M. L.; Capote del Villar, R. (1987): **Impacto Económico y Social de los Riesgos Geológicos en España**. IGME.
- Ayala, F. J.; Ferrer, M.; Oteo, C.; Salinas, J. L. (1986): **Mapa Previsor de Riesgos por Expansividad de Arcillas en España a escala 1:1.000.000**. Serie Geología Ambiental, IGME y CEDEX, 64 p. y 1 mapa. Madrid.
- Cuellar, V. (1978): **Análisis crítico de los métodos existentes para el empleo de arcillas expansivas en obras de carreteras y recomendaciones sobre las técnicas más idóneas para su uso habitual en España**. Lab. Del Transporte y Mecánica de Suelos, 303 p. No publicado. Madrid.
- Hscario, V. (1964): **Investigaciones sobre las causas de los desperfectos observados en el barrio de Santa Ana y posibles soluciones**. Informe, 31 p, apéndices y fotografías (No publicado). Madrid.
- Hscario, V. (1969): **Determination of geotechnical characteristics of expansive soils**. Second Int. Res. of Eng. Conf. on Exp. Clay Soils, Proc. pp. 114-120. Texas.
- Jimenez Salas, J. A. (1980): **Cimentaciones en terrenos expansivos o colapsables**. De Rueda. Geotecnia y Cimientos III, 1ª Parte pp. 533-650. Madrid.
- Oteo, C.; Salinas, J. L.; Ferrer, M. (1978): **Metodología del Mapa Previsor de Riesgos por Expansividad de Arcillas en España a escala 1:1.000.000**. Codex. Ingeniería Civil n.º 61, pp. 37-43. Madrid.
- Rodríguez Ortiz, J. M. (1975): **Las arcillas expansivas, su estudio y tratamiento**. Bol de Inf. Del Lab. del Transporte y Mecánica del Suelo, n.º 108, pp. 3-30. Madrid.
- Salinas Rodríguez, J. L. (1988): **Riesgos ligados a arcillas expansivas**, en Riesgos Geológicos. pp. 295-304. IGME. 1988.

Vídeos sobre Minerales Reactivos

- Pyritic Black Shale Oxidation**: 1985, 25 min. U. S. Geol. Survey Library Special Collections, MS 955, 345 Middlefield Road, Menlo Park, CA 94025, (415) 329-4009.
- RENTE (1995): **Estudio piloto sobre terraplenes en arcillas expansivas línea Córdoba-Málaga**. 13 min. U.N. de Mantenimiento de Infraestructuras. Dirección de Producción y Calidad. Avda. de Barcelona, 2, 3.º. 28007, Madrid. Tel.: (91) 5066402.

ASBESTOS

La eliminación de los asbestos podría costar más de 100.000 millones de dólares. Más del 90 por ciento de todos los asbestos utilizados en Estados Unidos son minerales que la investigación reciente indica que poseen un riesgo mínimo para la salud, excepto en condiciones de exposición muy frecuente en la industria.

La sustancia y sus usos

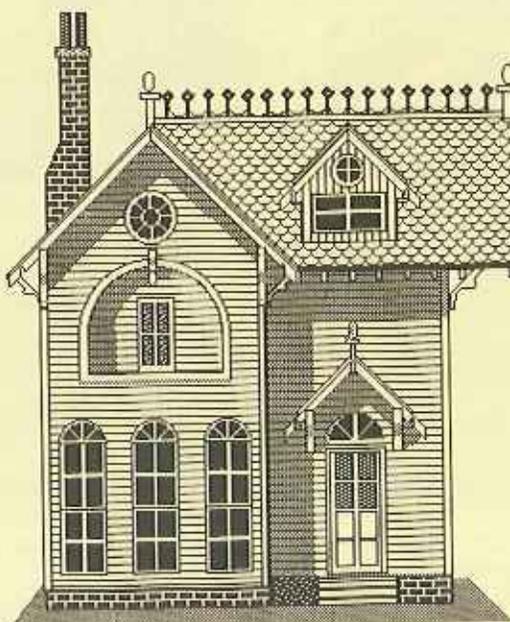
Los asbestos se encuentran principalmente en las rocas metamórficas. "Asbestos" era en el pasado un nombre comercial utilizado de manera laxa para definir los minerales fibrosos empleados en los tejidos resistentes al calor. Los "asbestos" o "amianto" es la denominación más reciente de un grupo de unos pocos minerales fibrosos que se consideran peligrosos para la salud según las reglamentaciones de muchos países. Los asbestos incluyen dos tipos muy diferentes de minerales: minerales laminares y anfíboles.

En el grupo de los minerales laminares se encuentra el **crisotilo** (un silicato de magnesio hidratado) que representa el 95% de todos los asbestos utilizado en las aplicaciones industriales y comerciales. El crisotilo apa-

rece bajo el microscopio de polarización como agujas muy finas, pero el microscopio electrónico revela que estas fibras están realmente constituidas por láminas estrechamente enrolladas, similares a un rollo de cinta de empaquetar regalos. El crisotilo se produce en rocas metamórficas que se formaron cuando aguas del sustrato (hidrotermales) reaccionaron con rocas ígneas ricas en magnesio. Entre las zonas del mundo donde se ha explotado comercialmente el crisotilo se pueden destacar: Quebec, Sudáfrica, Rusia, Italia, Chipre, Rodesia y en los Estados Unidos, el flanco este de las Montañas de Sierra Nevada, Arizona, Nueva York y New Jersey.

Los asbestos del grupo de la anfíbolita aparecen como verdaderas agujas, no como láminas enrolladas. Los asbestos regulados específicamente por las leyes federales de los EEUU son la **amosita** (también deno-

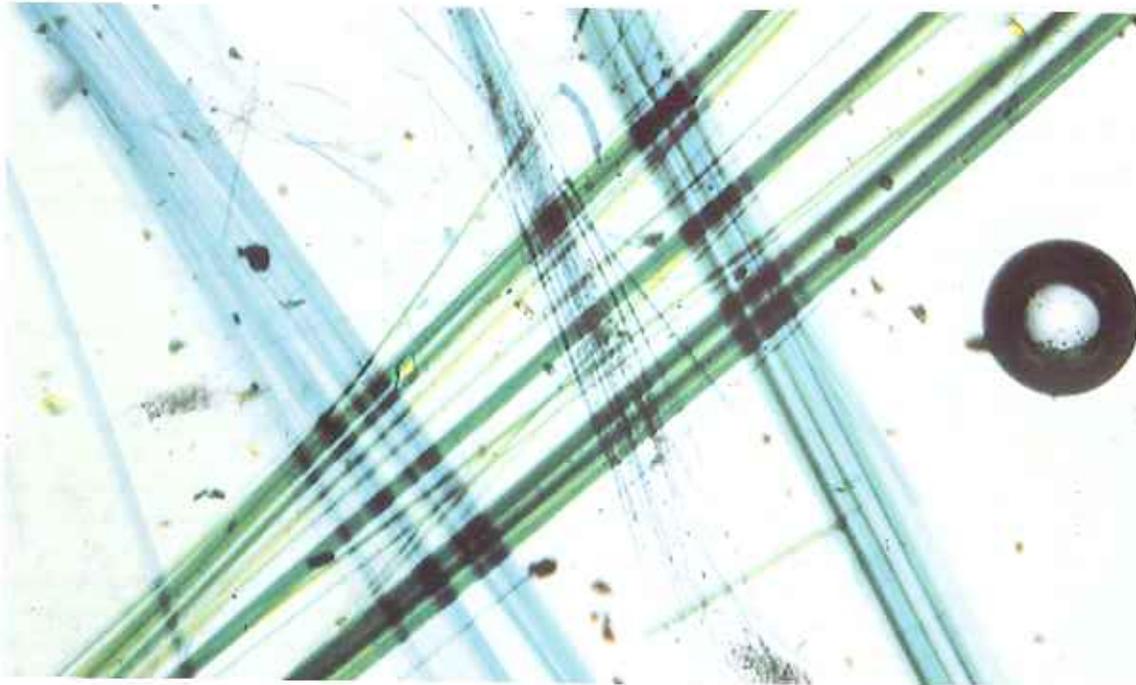
- * Conductos de la calefacción, forro/aislamiento de hornos, recubrimientos de tuberías de agua
- * Fijaciones de fontanería cerámica
- * Aislamiento de habitaciones y pasillos, protección contra el fuego en edificios en suelos, paredes y adornos
- * Pavimentos y adhesivos para baldosas
- * Morteros de asbestos utilizados como adornos en edificios
- * Recubrimientos de techos, sellantes, láminas de cemento y tuberías de alcantarillado y aguas subterráneas
- * Tiestos, alfombras, cortinas, abrigos de diseño, botones, bolsas de correo, manteles, alfombrillas



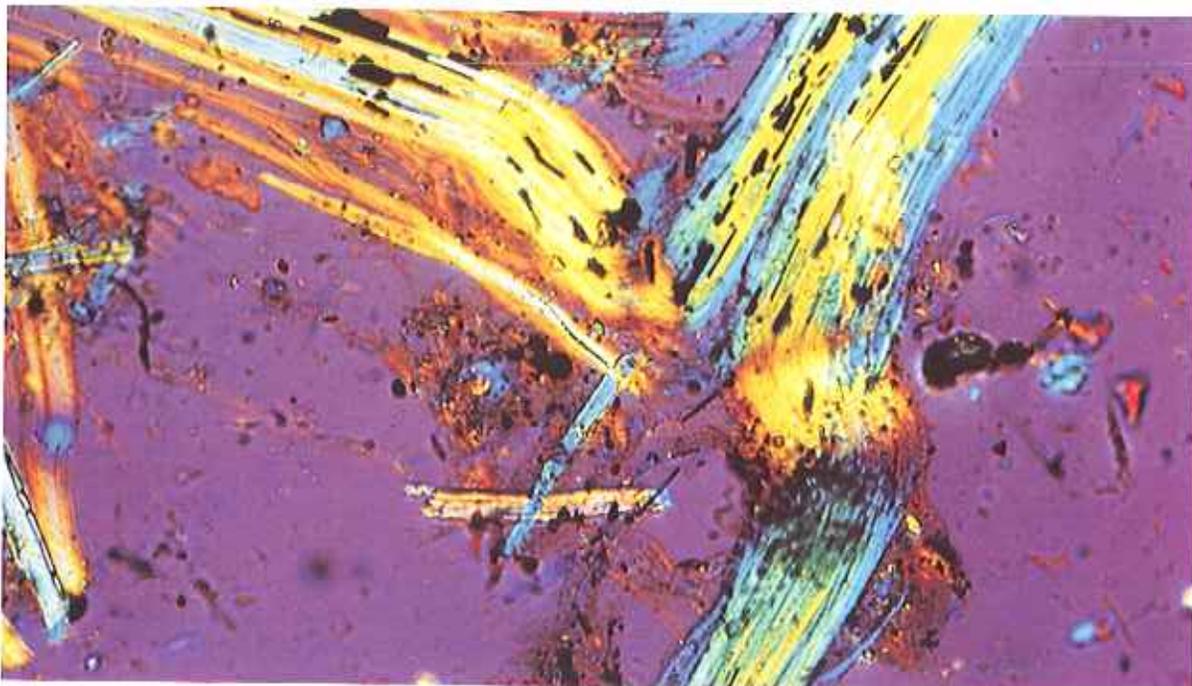
Lugares donde se ha encontrado asbestos en las viviendas

- * Vestimenta y guantes ignífugos
- * Nieve artificial para decorar árboles de Navidad y escaparates
- * Plaquetas acústicas
- * Discos de música
- * Forros para hornos, tostadoras, secadores de pelo, lavadoras, neveras y aspiradoras
- * Zapatas de frenos para automóviles y motocicletas
- * Juntas y sellos en diversas aplicaciones
- * Empaquetados de escapes
- * Bombonas de acetileno
- * Cintas aislantes
- * Arcos y laterales
- * Refuerzos ignífugos para los aceros estructurales en edificios

(Gráfico de casa victoriana del Public Domain Exchange)



Las coloridas y mortales fibras de la crocidolita («asbesto azul») amplificadas 100 veces, aparecen con sus característicos colores azul y verde al observarlas con un microscopio petrográfico. La crocidolita, un potencial carcinógeno, se utilizó sólo en una pequeña proporción de productos comerciales. (Foto de Janet Blabaum, Highland Geotechnical).



El mineral crisotilo, ampliado aquí 100 veces, tiene multitud de usos. Se encuentra en muchas viviendas, oficinas y edificios públicos y es la principal sustancia que se elimina en las labores de eliminación. Es totalmente diferente en cuanto a su estructura cristalina de los anfíboles del grupo de los asbestos, y la exposición ocasional al crisotilo en concentraciones bajas no presentan un riesgo apreciable, al menos de acuerdo con la información existente en la actualidad. Sin embargo propietarios de haciendas, concejales de ayuntamientos e iglesias gastan todos los años millones para eliminarlo como si fuera la misma sustancia mortal que la crocidolita. El agrupar el crisotilo y la crocidolita como si tuvieran el mismo riesgo, resulta más de un decreto ley que de un hecho científico. (Foto de Janet Nalbaum, Highland Geotechnica).

minada *asbesto pardo*, un silicato de hierro y magnesio), la *crocidolita* (también denominada *asbesto azul*, un silicato de sodio y hierro), la *antofilita* (un silicato de magnesio y hierro), la *tremolita* (un silicato de magnesio y calcio), la *actinolita* (silicato de calcio magnesio y hierro) y *ferroactinolita* (silicato de calcio y hierro). Todos juntos no constituyen más del 5% de los asbestos comerciales.

Todos estos minerales de asbestos son de naturaleza fibrosa y tienden a separarse en fibras diminutas. Estas fibras muestran flexibilidad, elevada resistencia a la tensión, resistencia al calor y a la corrosión y durabilidad física. Estas cualidades han hecho que los minerales de los asbestos sean importantes para un amplio rango de productos industriales y domésticos.

Los peligros de los asbestos

Se ha demostrado que la exposición a determinados tipos de materiales que contienen asbestos causa enfermedades de los pulmones graves y en ocasiones fatales. Hasta la fecha, los asbestos sólo han sido documentados como un peligro para la salud si se hacen friables (fácil de arrancar y dispersar) y se ponen en suspensión en el aire de tal modo que se puedan inhalar. Los problemas de salud se producen porque las fibras de los asbestos anfibólicos no pueden descomponerse en el pulmón. Las fibras retenidas en los pulmones constituyen un irritante constante, y la reacción del cuerpo durante de 10 a 40 años eventualmente produce células cancerígenas en dicho lugar. Una vez tales células superan el sistema inmune del cuerpo, suele producirse la muerte inmediata.

Melvin Benarde en su libro, *El asbestos, la fibra peligrosa*, indica que se ha demostrado que la exposición al humo de cigarrillo aumenta la incidencia de los cánceres de pulmón en un factor de 10 a 18 veces la de los no fumadores con exposición ocupacional, y de 5 a 9 veces la de fumadores sin exposición ocupacional. La investigación reciente (1993) demuestra que la mejor manera de reducir el riesgo de una enfermedad de los pulmones es simplemente dejar de fumar. El riesgo de morir de enfermedades causadas por fumar es de 1 a 5; el riesgo de morir por asbestosis sin fumar es de 1 en 100 000, aproximadamente 1/3 del riesgo de morir a causa de un rayo.

Los estudios demográficos, tales como los realizados en la zona de Thetford en Quebec, Canadá, apoyan la hipótesis de que el asbestos ingerido oralmente no plantea un problema significativo para la salud. Incluso

dietas que contenían 1 por ciento de asbestos (amosita), una dosis astronómicamente grande, no incrementó la mortalidad en ratas de laboratorio.

La controversia sobre los asbestos

La mayor toxicidad de los asbestos para los humanos se concentra en los tipos anfibólicos, en especial la crocidolita o asbesto azul. Las estadísticas son desde luego negativas para dicho mineral. Un estudio realizado en el Instituto del Cáncer Dana-Faber de Boston, Massachusetts, mostró que de 33 hombres de una fábrica que estuvieron relacionados con la fabricación de filtros de cigarrillos que utilizaban crocidolita, 19 habían muerto de enfermedades relacionadas con el asbesto en 1990. La crocidolita es considerada la forma más peligrosa de asbestos. Por contra, el crisotilo (95% de todos los asbestos utilizados comercialmente), no ha sido implicado claramente como peligroso, excepto en exposiciones industriales excepcionalmente intensas durante largos períodos de tiempo, sin embargo está considerada legalmente en los Estados Unidos como una sustancia peligrosa.

Es difícil conseguir datos sobre trabajadores en general porque no suele haber control sobre a que tipo de asbestos se han expuesto los individuos concretos. Los gremios, tales como los carpinteros, químicos de laboratorio, fontaneros, constructores, instaladores de aire acondicionado y conductos de calefacción o residentes en viviendas con mallado de asbestos (todos los cuales han vivido diariamente durante toda su vida con el crisotilo) no registran una mayor mortalidad debida al asbestos. Aquellos escasos estudios que han conseguido descubrir y evaluar una población (un ejemplo es de Thetford, Quebec) expuesta a altas concentraciones de crisotilo (y ninguna otra forma de asbestos) mostraron que no había ningún incremento de la mortalidad debida al asbestos. La mayoría de los datos actuales indica que trabajar o ir a la escuela en edificios que contienen el asbesto común, el crisotilo, presenta un escaso riesgo. Estos datos están en clara contradicción con la política del gobierno federal americano que define el asbesto crisotilo como una sustancia peligrosa y obliga a su eliminación en los edificios públicos. Si el crisotilo no es realmente un peligro para la salud, entonces se está llevando a cabo una sangría económica que puede sobrepasar los 100 000 millones de dólares sobre una economía como la americana para eliminar un materia que no se ha demostrado que plantee un riesgo para la salud o la longevidad.

La identificación errónea de los minerales de los asbestos es también un problema crónico. La falta de



Cartel al norte de Coalinga, Condado de Fresno, California, que advierte del peligro por polvo de asbestos («CUIDADO. Los suelos, el polvo y el agua de esta zona contiene asbestos que podría ser peligroso para la salud»). El cartel se instaló porque la roca y el suelo de la zona contienen crisotilo. El polvo natural del aire contiene algo de asbestos, resultado simplemente de la meteorización y la erosión eólica. La ingestión oral de asbestos en los alimentos y en el agua plantea aparentemente muy poco peligro. (Foto de Malcolm Ross, cortesía del USGS).

normativa que da como resultado identificaciones erróneas, impone cargas financieras enormes y sin garantías sobre algunos clientes y a veces deja al público en general sometido a riesgos. En Estados Unidos los analistas suelen haber cursado algún curso corto (de 4 días a una semana), y la identificación errónea se hace más frecuente a medida que técnicos de estudios petrográficos al microscopio de escasa formación ejercen la profesión de identificadores de asbestos. Actualmente (1992) existe en Estados Unidos un programa para acreditar laboratorios por medio de contraste de ensayos por rondas (a través del Programa Voluntario de Acreditación de Laboratorios, NVLAP), pero no existe acreditación para los analistas que realizan las identificaciones. Por lo tanto, es posible obtener análisis, tanto de alto como de bajo nivel, trabajando en un laboratorio acreditado de la NVLAP. Los ensayos cruzados de la NVLAP pueden recibir atención especial que no reciben el gran número de muestras que son tratadas sin miramientos; por ello el pase de los ensayos cruzados periódicos por los laboratorios participantes no garantiza su fiabilidad. Dado que la fiabilidad en la identificación de asbestos depende mucho de los conocimientos técnicos personales de cada petrógrafo, parece razonable que se realicen comprobaciones periódicas para certificar a los analistas individuales, más que a una corporación entera o de un laboratorio.

Actualmente (1993) no existe ningún requisito de cualificación, procedimiento de ensayo o revisión para certificar a los analistas que actualmente realizan este trabajo.

La legislación y los asbestos

La detección, control, eliminación y vertido del asbesto está muy reglamentados en Estados Unidos. En el ámbito federal, la Agencia Nortamericana de Protección del Medio Ambiente (EPA) es la organización responsable de la protección del medio ambiente y de los ocupantes de los edificios escolares. La seguridad y salud de los trabajadores del sector privado es responsabilidad, en dicho país, de la Administración para la Seguridad e Higiene en el Trabajo (OSHA). Al nivel de los estados existen más reglamentaciones y controles.

La Ley sobre Respuesta de Emergencia a los peligros del Asbesto (AMERA) entró en vigor el 14 de Diciembre de 1987. Esta primera fase de la legislación hizo obligatorios procesos específicos de control de asbestos en todas las escuelas. La segunda fase, la Ley de Reautorización para la Eliminación del Riesgo por Asbestos en las Escuelas (ASHARA), entró en vigor el

28 de Noviembre de 1992 y amplió la obligatoriedad a otros edificios públicos. Estas leyes han producido una repentina demanda de un grupo completamente nuevo de especialistas en asbestos, entre los que se encuentran los analistas de asbestos y los trabajadores para la eliminación de asbestos. La AHERA también espoleó un creciente reconocimiento de las responsabilidades legales (y las demandas resultantes) dentro de la minería del asbestos y la industria transformadora. Todo ello hizo mella en los fabricantes de materiales que contienen asbestos (ACMs), contratistas, empresas de construcción y otros empleadores que podría sin saberlo (o sabiéndolo) exponer a sus trabajadores a fibras de asbestos en el aire.

La política actual (1993) de la EPA obliga a que, tanto la forma de asbestos anfibólica como el crisotilo, sean tratadas como si fueran riesgos idénticos. Esto significa que la responsabilidad se extiende a los propietarios de edificios que contienen asbestos, a los agentes de la propiedad que venden dichos edificios, a los bancos e instituciones de crédito que emiten préstamos para su adquisición, y a los compradores de terrenos sobre los cuales puedan estar presentes en los materiales de construcción el asbestos (u otro material peligroso). Los propietarios de viviendas que tengan asbestos dentro de sus casas tendrán en muchos estados dificultades, para vender sus casas sin antes eliminar los asbestos. Aquellas personas relacionadas con la propiedad o la compraventa de tierras donde se haya enterrado o vertido asbestos, también serán igualmente vulnerables. **En la actualidad (1993), estas responsabilidades legales existen, independientemente de que el asbestos presente sea crisotilo o uno de los tipos de anfíboles peligrosos.** Las potenciales responsabilidades han animado al desarrollo de una industria de eliminación de asbestos que incluye la inspección y el muestreo de edificios con objeto de reducir los costes de realizar renovaciones innecesarias en edificios, prevenir las futuras responsabilidades y evitar inversiones en propiedades que podrían requerir una limpieza importante.

El papel del geólogo en la eliminación de los asbestos

En la identificación. Dada su especial formación en mineralogía y en técnicas de laboratorio, los geólogos deberían asumir un papel importante en la identificación de los asbestos. Los verdaderos asbestos son minerales y sólo los profesionales que tienen una gran formación específica en mineralogía y experiencia en los métodos determinativos para minerales, deberían

realizar los trabajos de identificación. Es frecuente, para los analistas poco duchos, confundir la fibra de madera de celulosa con el crisotilo, o tomar al inofensivo silicato de calcio, la wollastonita (CaSiO_3), por los anfíboles actinolita y tremolita.

Se pueden todavía añadir unos pocos minerales fibrosos más a la lista de materiales implicados en las enfermedades de pulmón. Una zeolita (un grupo de silicatos que contienen agua en su estructura cristalina), la erionita, se ha relacionado recientemente con enfermedades pulmonares en Turquía. Sin embargo, la preocupación de que todos los minerales fibrosos pudieran representar un importante riesgo para la salud carece de fundamento. Sólo unos pocos minerales son peligrosos, y es importante que se distingan claramente y no se confundan con los mucho más abundantes y variados grupos de sustancias benignas.

En la educación. Los legisladores desconocen el riesgo por asbestos y no son capaces de distinguir los asbestos de otros tipos de fibras o entre los diferentes tipos minerales de asbestos. Las escuelas de bachillerato deberían proporcionar información sobre los asbestos como parte de la sección sobre "rocas y minerales" de los cursos de ciencias de la tierra, y los estudiantes deberían estar familiarizados con los materiales que podrían contener asbestos. Los programas de Geología a nivel universitario deberían tener en cuenta la necesidad de expertos petrógrafos en el control de los asbestos y estar preparados para responder a las necesidades del mercado. Las facultades podrían preparar licenciados para el trabajo con asbestos organizando cursos especiales para sus estudiantes sobre técnicas avanzadas de microscopía, análisis de asbestos, y microscopía de materiales artificiales y naturales. Estos cursos proporcionarían también una excelente opción para los estudiantes que se están incorporando a los campos del medio ambiente, la eliminación de residuos o la higiene industrial.

En el desarrollo de una política pública. Las políticas gubernamentales que obligan a remediar y eliminar asbestos, se deberían basar exclusivamente en la evidencia científica demostrada y revisada sobre los riesgos para la salud y no en intereses de aquellos que podrían beneficiarse financiera o políticamente del crecimiento de la industria de la eliminación del asbestos. La eliminación de asbestos se ha convertido muy rápidamente en los EEUU en un negocio multimillonario. La eliminación es muy cara, y puede llevar a la bancarrota a negocios, propietarios de viviendas, iglesias y escuelas. Se han invertido enormes cantidades de dinero en eliminar el crisotilo, que probablemente es una

sustancia inocua (excepto en el caso de instalaciones laborales que estén por encima de 20 fibras por centímetro cúbico de aire, una cantidad 10 veces mayor que la actual exposición experimentada en las minas de asbestos). Para dar una perspectiva, se debe añadir aquí que incluso el cuarzo, el material terrestre más corriente y el principal componente de la arena de playa, está claramente implicado como causante de una enfermedad (la silicosis) cuando se inhala en cantidades anormales durante un tiempo considerable, tal y como ocurre en exposiciones ocupacionales prolongadas, cuando no se lleva equipo de protección adecuado.

Las complicadas decisiones sobre lo que realmente necesita eliminarse, deben tomarse sobre la base de la información proporcionada por expertos competentes, éticos y que carezcan de conflicto de intereses. Los Geólogos especialistas en mineralogía deben formar parte de equipos junto con profesionales de la salud, para asegurar que los estudios que relacionan una enfermedad con un mineral, establezcan dicha relación con un mineral específico y correctamente identificado. En 1991, murieron 2.900 personas en EEUU simplemente por ahogarse con comida u objetos ingeridos. El hecho de que se haya creado una enorme industria de eliminación en paralelo a una masiva regulación legal del gobierno para controlar un "riesgo" por asbestos que probablemente causa al año menos de 100 muertes, precisa de un detallado examen de las prioridades y de la actual política pública. No todos los asbestos son iguales, y la variedad más corriente parece que plantea un escaso riesgo para la salud y la longevidad. El "riesgo" por asbestos parece, en el momento en que se redactan estas líneas (1993) que se ha sobredimensionado por encima de lo razonable.

Los asbestos en España

En España el uso de los asbestos en la industria está regulado por diferentes reglamentos, resoluciones y decretos, en relación con la seguridad e higiene en el trabajo y con el único objeto de prevenir la asbestosis. A continuación se hace un resumen histórico de la legislación aplicable.

* **Orden de 12 de enero de 1963. Ministerio del Trabajo. (BOE 13-3-1963).** Establece las normas médicas para el reconocimiento, diagnóstico y calificación de las enfermedades profesionales, entre otras la asbestosis.

* **Orden de 21 de julio de 1982. Ministerio del Trabajo y Seguridad Social. (BOE 11-8-1982).** Establece las condiciones de trabajo en la manipula-

ción del amianto. El texto regula las actividades y operaciones industriales en las que se manipula el amianto o materiales que lo contengan, con riesgo de producción del polvo en el ambiente de trabajo.

En esta Orden se consideran como variedades del amianto o asbestos los siguientes silicatos fibrosos: el crisotilo o amianto blanco, la crocidolita o amianto azul, la amosita o amianto marrón, la tremolita, la antofilita y la actinolita o cualquier mezcla que contenga dichas sustancias. La norma considera como fibras de amianto o asbestos aquellas partículas de los minerales mencionados cuya longitud sea superior a 5 µm, diámetro inferior a 3 µm y que presenten una relación de longitud a diámetro superior a 3.

Se establece el nivel de exposición para puestos de trabajo con una exposición de 40 horas semanales, de acuerdo con una Concentración Promedio Permissible (CPP) de 2 fibras por centímetro cúbico. Para mayores períodos de exposición, la norma determina que el producto de CPP y el tiempo de exposición no será superior a 16 fibras por centímetro cúbico. La concentración límite de exposición que no puede superarse es de 10 fibras por centímetro cúbico. Prohíbe el empleo de amianto en forma de aerosol y recomienda el uso restringido de la crocidolita. Establece el autocontrol ambiental de los puestos de trabajo por parte de las empresas manipuladoras y su contraste por parte de la administración y obliga al control médico de los trabajadores mediante reconocimientos médicos previos, periódicos y postocupacionales.

Así mismo esta Orden determina las medidas de prevención para conseguir que las concentraciones de fibras de amianto en ambientes de trabajo no excedan los límites establecidos, con respecto a la ventilación, manipulación, transporte, descarga y almacenamiento, locales, limpieza de locales y maquinaria, eliminación de residuos, protección del personal, ropa de trabajo y vestuario, señalización e información y divulgación a los trabajadores.

* **Resolución de 30 de septiembre de 1982 de la Dirección General del Trabajo. (BOE 18-10-82)** de aplicación y desarrollo de la Orden anterior, sobre condiciones de trabajo en la manipulación de amianto.

Esta Resolución reitera o detalla lo establecido en la Orden anterior y determina las industrias donde será de aplicación:

- Extracción y acarreo de amianto
- Industria de fibrocemento

- Industrias textiles del amianto
- Industria del cartonaje amiantico
- Preparación y reparación de las zapatas y frenos de automóviles
- Industrias de aislamiento amiantico
- Astilleros y desguaces de barcos
- Fabricación de filtros «Floats» (para la elaboración de vinos y cervezas en la industria farmacéutica)
- Operaciones de demolición de construcciones (con presencia de amianto)
- Tintorería industrial (procedente de recubrimiento de los rodillos y de las máquinas de planchar)
- Recubrimiento de tuberías, calderas, etc.
- Albañiles fumistas (si usan material de amianto para el estopado de grietas y hendiduras de hornos o calderas de ladrillos refractarios)
- Todas las demás actividades y operaciones en las que se manipule el amianto o materiales que lo contengan con riesgo de producir partículas o fibras en el ambiente de trabajo.

En cuanto al autocontrol de la concentración de fibras en los puestos de trabajo, establece que la evaluación deberá realizarse una vez al mes en general, o tres meses en los casos en que las mediciones no alcancen la mitad de la concentración promedio permisible. El muestreo deberá registrarse en un libro de registro oficial. Los puntos de muestreo se establecerán entre la empresa y las representantes de los trabajadores.

Especifica las técnicas a utilizar en el control médico de los trabajadores, tanto en los reconocimientos previos como en los periódicos, así como las medidas de prevención técnicas para conseguir que las concentraciones de amianto en los ambientes de trabajo no excedan los límites establecidos.

* **Real Decreto de 27 de abril de 1993 de Presidencia de Gobierno.** (BOE 27/05/1983), que prohíbe el uso del amianto para tratamiento filtrante o clarificador. Otorga un plazo de seis meses a partir de la puesta en vigor del Real Decreto para que las empresas que utilizan amianto en cualquiera de sus formas o preparaciones para el tratamiento filtrante o clarificador de sustancias alimentarias, materias primas o alimentos lo sustituyan por otro material.

* **Orden de 31 de octubre de 1984 del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social.** (BOE 7-11-1984), que actualiza la normativa contenida en la Orden y la Resolución citadas anteriormente.

El Reglamento tiene por objeto establecer las medidas mínimas de evaluación, control, corrección, prevención y protección de la salud frente a los riesgos derivados de la presencia de polvo que contenga fibras de amianto en el ambiente de trabajo. En el mismo se establece que las empresas incluidas en el ámbito de aplicación del mismo deberán inscribirse en el Registro de Empresas con Riesgo por Amianto del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social u organismo equivalente de las Comunidades Autónomas.

El Reglamento establece que serán trabajadores potencialmente expuestos aquellos cuya CPP sea superior a 0,25 fibras por centímetro cúbico o cuando la dosis acumulada (DA) en un período continuado de tres meses sea igual o superior a 15 fibras-día por centímetro cúbico. Reduce la CPP en cada puesto de trabajo a 1 fibra por cm³ con un período transicional de 2 años para las empresas en funcionamiento. Prohíbe el uso de crocidolita o amianto azul también con un período transicional de dos años para las empresas de funcionamiento. Establece una evaluación inicial obligatoria de todas las fases de producción de las empresas afectadas por medio de empresas homologadas para tal fin y evaluaciones periódicas posteriores cada tres meses.

Añade abundantes detalles a las medidas de prevención de la Resolución anterior en los siguientes aspectos:

- Medidas técnica de prevención
- Medidas preventivas de organización y métodos de trabajo
- Medios de protección personal
- Ropa de trabajo
- Instalaciones sanitarias y medidas de higiene personal
- Condiciones generales de los locales, limpieza y mantenimiento
- Señalización
- Transporte, almacenamiento y manipulación del amianto y eliminación de residuos
- Control médico preventivo de los trabajadores
- Información, formación y participación de los trabajadores
- Registro de datos y archivo de documentos

* **Resolución del 11 de febrero de 1985 de la Dirección General del Trabajo.** (BOE 23-2-1985), en la que se constituye la Comisión de Seguimiento para la aplicación del Reglamento sobre trabajos con riesgo por amianto.

* **Orden del 31 de marzo de 1986 del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social.** (BOE 22-4-1986), que modifica el art. 13, control médico preventivo de los trabajadores, del Reglamento de trabajos con riesgo por amianto de 31 de octubre de 1984.

* **Orden del 7 de enero de 1987 del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social.** (BOE 15-1-1987), que dicta normas complementarias del Reglamento sobre trabajos con riesgo de amianto. Amplia el ámbito de aplicación del Reglamento a los trabajos de demolición de construcciones, si existe presencia de amianto, a los trabajos y operaciones de retirada de amianto de los materiales que lo contengan de edificios, estructuras, aparatos o instalaciones, a los desguaces de navíos o unidades de cuyos materiales forma parte en su composición el amianto y a trabajos de mantenimiento y reparación de edificios, instalaciones o unidades en las que exista riesgo de desprendimiento de fibras de amianto.

* **Real Decreto del 20 de julio de 1988 del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo.** (BOE 30-7-1988), que establece el Reglamento para la ejecución de la Ley de 14 de mayo de 1986, Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos.

* **Real Decreto del 20 de enero de 1989 del Ministerio de Relaciones con las Cortes y de Secretaría del Gobierno.** (BOE 13-2-1989), que establece el Reglamento de admisión, manipulación y almacenamiento de mercancías peligrosas.

* **Resolución del 20 de febrero de 1989 de la Dirección General del Trabajo.** (BOE 3-3-1989), que regula la remisión de fichas de seguimiento ambiental y médico para el control de exposición al amianto.

* **Real Decreto del 10 de noviembre de 1989, nº 1406/1989 del Ministerio de Relaciones con las Cortes y de Secretaría del Gobierno.** (BOE 20-11-1989), que impone limitaciones a la comercialización y uso de ciertas sustancias y preparados peligrosos. El Anexo II de este decreto establece las disposiciones especiales referentes al etiquetado de los productos que contengan amianto.

* **Orden del 11 de diciembre de 1990 del Ministerio de Relaciones con las Cortes y de Secretaría del Gobierno.** (BOE 14-12-1990), que actualiza el Anexo I del Real Decreto 1406/1989 de 10-11-1989 e impone limitaciones a la comercialización y uso de ciertas sustancias y preparados peligrosos, como consecuencia del proceso de armonización con la legislación Europea.

* **Convenio de la OIT del 24 de junio de 1986, nº 162. Ratificado por instrumento 17-7-1990 de la Jefatura del Estado.** (BOE 23-11-1990), que establece la utilización del asbesto en condiciones de seguridad.

* **Real Decreto del 1 de enero de 1991, nº 108/1991 del Ministerio de Relaciones con las Cortes y de Secretaría del Gobierno.** (BOE 6-2-1991), que regula la prevención y reducción de la contaminación del medio ambiente producida por el amianto. Este Decreto establece que serán considerado como utilización de amianto aquellas actividades que manejen una cantidad superior a 100 Kg de amianto bruto al año, sea en la producción de amianto bruto a partir de mineral (salvo minería), en la elaboración de productos de amianto o en su empleo o en la generación de residuos que lo contengan. La concentración de amianto emitida a la atmósfera no superará el valor límite de 0,1 mg/mm³ (miligramos de amianto por metro cúbico de aire emitido) salvo las instalaciones cuyas emisiones gaseosas sean inferiores a 5.000 m³/h y las emisiones de amianto sean inferiores a 0,5 g/h y tras la preceptiva exención por la autoridad competente. Los vertidos líquidos no superarán los 30 g de material en suspensión por m³ de vertido. Así mismo establece que se realizarán inspecciones periódicas de las instalaciones por los procedimientos de muestreo y ensayo descritos en el anexo al Real Decreto.

* **Orden del 31 de agosto de 1992 del Ministerio de Relaciones con las Cortes y de Secretaría del Gobierno.** (BOE 10-9-1992), que actualiza el anexo I del Real Decreto 1406/1989 de 10 de noviembre de 1989 de etiquetado de productos que contengan amianto.

* **Orden del 26 de julio de 1993 del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social.** (BOE 5-8-1993), que modifica los arts. 2º, 3º y 13º del Reglamento sobre trabajos con riesgo por amianto aprobado por Orden 31-10-1984 y el art. 2º de la Orden 7-1-1987 que dicta normas complementarias del mismo. La nueva Orden establece que para el crisotilo serán trabajadores potencialmente expuestos aquellos que desarrollen la actividad laboral en puestos en cuyo ambiente la concentración de fibras de amianto en un período de 8 horas diarias o 40 semanales, sea igual o superior a 0,20 fibras por cm³ o 12 fibras-día por cm³ la dosis acumulada en tres meses. Para las restantes variedades, puras o mezclas, el valor será de 0,1 fibras por cm³ para 40 horas o 6 fibras-día por cm³ la acumulada de tres meses. La CPP para el crisotilo se cifra en 0,60 fibras por cm³ y 0,30 fibras

por cm^3 para las restantes variedades o mezclas. Reitera la prohibición del uso de la crocidolita y de cualquier variedad de amianto por proyección y prohíbe la incorporación de materiales de aislamiento o de insonorización de baja densidad (inferior a $1\text{g}/\text{cm}^3$) que contengan amianto.

* **Ley del 26 de octubre de 1993, nº 10/1993 de la Presidencia de la Comunidad de Madrid.** (BOE 30-12-1993), que regula los vertidos líquidos industriales al sistema integral de saneamiento de la Comunidad de Madrid. Prohíbe el vertido de asbesto o materiales que lo contengan al sistema integral de saneamiento.

* **Orden del 30 de diciembre de 1993 del Ministerio de Presidencia.** (BOE 5-1-1994), que actualiza el anexo I del Real Decreto 1406/1989 de 10-11-1989 de etiquetado de productos que contengan amianto.

* **Convenio del 22 de marzo de 1989, ratificado por instrumento 7-2-1994 de Jefatura del Estado.** (BOE 22-9-1994), sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación.

* **Real Decreto de 2 de agosto de 1996, nº 1879/1996 del Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.** (BOE 9-8-1996), que regula la composición de la Comisión Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo y disuelve la Comisión de Seguimiento para aplicación del Reglamento 31-10-1984 sobre trabajos con riesgo por amianto al pasar sus cometidos a ser sumidos por la CNSST.

El anterior compendio legislativo demuestra que el uso industrial de los asbestos en España está ampliamente regulado desde el punto de vista de los riesgos laborales. Hasta la fecha sólo se ha producido en el país una sentencia condenatoria con respecto a muerte por asbestosis, en la que la principal empresa nacional de asbestos-cemento ha sido condenada por un Juzgado de lo Civil de Cerdanyola a indemnizar con 11,7 Mptas a la familia de un trabajador que falleció de cáncer de pulmón en 1993, después de muchos años de exposición en su puesto de trabajo y tras haber recibido del INSS el reconocimiento de la invalidez permanente en grado total por la enfermedad profesional asbestosis pulmonar. La sentencia, a la fecha de la redacción de estas líneas (1997), está recurrida ante la Audiencia de Barcelona, dado que el trabajador era fumador habitual. Demandas por muerte como consecuencia de la exposición al amianto si se han producido por la vía penal y laboral, pero no han prosperado. En el caso mencionado se planteó por la vía civil a través del procedimiento de menor cuantía, para determinar si existía responsabilidad de la empresa por el riesgo creado. Hace años más de un millar de trabajadores estaban en contacto con el amianto en dicha población catalana.

La eliminación de asbestos en España no ha tenido el impacto que en tuvo en EEUU; no obstante se han producido operaciones de gran envergadura como la llevada a cabo por RENFE, que eliminó de todas sus unidades de coche cama los aislamientos que contenían este mineral.

Bibliografía sobre Asbestos de la edición americana

- Benarde, M. A., (ed.) 1990, *Asbestos, The Hazardous Fiber*: Boca Raton, FL, CRC Press. This is a very thorough book. Benarde's Chapter 4 on adverse health effects is recommended reading for anyone involved in asbestos legislation and remediation.
- Croke, K., Mensah, E., Fabian, R., and Tolley, G., 1989, *Asbestos in buildings: effects on residential and commercial real estate values: The Environmental Professional*, v. 11, pp. 256-263.
- Cullen, M. R., 1987, *Controversies in asbestos-related cancer: Occup. Medicine State of the Art reviews*, v. 2, p. 259.
- Deer, W. A., Howie, R. A., and Zussman, J., 1982, *An Introduction to the Rock Forming Minerals*: Longman Group Ltd., England.
- McCrone, W. C., 1970, *Identification of asbestos fibers by microscopical dispersion staining: Microscope*, v. 18, p. 1.
- McCrone, W. C., 1987, *Asbestos Identification*: Chicago, IL, McCrone Research Institute.
- McCrone, W. C., 1989, *Asbestos, twenty years later: Amer. Environmental Laboratory*, Sept., pp. 60-65.
- McCrone, W. C., and Delly, J. G., 1973 and 1978, *The Particle Atlas* (2nd. ed.): Ann Arbor Science Publishers Inc., Michigan.
- Phillips, W. R., and Griffen, D. T., 1981, *Optical Mineralogy - The Nonopaque Minerals*: W. H. Freeman and Co.
- Ross, M., 1984, *A survey of asbestos-related disease in trades and mining occupations and in factory and mining communities as a means of predicting health risks of non-occupational exposure to fibrous minerals: Amer. Society for Testing Materials, Special Technical Publication 834*, pp. 51-104. This article is recommended reading for anyone involved in asbestos legislation and remediation. Rutstein, J., 1989, *Asbestos, geology, and asbestology: The Professional Geologist*, Nov., 1989, pp. 7-11.
- Skinner, H. C. W., and Ross, M., and others, 1989, *Fibrous minerals, mining, and disease: Geol. Soc. Amer. Report of Committee on Geology and Public Policy*, 11 p.
- Skinner, H. C. W., Ross, M., and Frondel, C., 1988, *Asbestos and other Inorganic Fibrous Materials: Mineralogy, Crystal Chemistry and Health Effects*: New York, Oxford Univ. Press.

Vehlen, D. R., (ed.), *Amphiboles and other hydrous pyroboles*: Washington DC, Mineralogical Soc. Amer. Spec. Pub. 9A. Chapter 6 by Malcolm Ross on geological occurrences and health hazards of amphibole and serpentine asbestos is particularly pertinent.

World Health Organization, 1986, *Asbestos and other natural mineral fibers*: Environmental Health Criteria, n. 53, Geneva, Switzerland, World Health Organization.

Zoltai, T., 1978, *History of asbestos-related mineralogical terminology*: Natl. Bur. Standards Spec. Pub. 506.

Bibliografía sobre Asbestos de la edición española

- Amigo, J. M.; Bastida, J.; Besteiro, J.; Lago, M. (1985): *Asbestos Amfibólicos asociados a doleritas triásicas del area de Luquiano, Alava*; Bol. Soc. Esp. Mineral. Vol 8, pp. 57-63
- Crespo Lara, A. V.; Galvez García, J. A. (1977): *Las manifestaciones asbestíferas de los macizos ultrabásicos de Málaga*. Boletín Geológico y Minero. 88; 2, pp. 38-42. Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Madrid, Spain.
- Fernández Caliani, J. C.; Galán Huertos, E. (1990): *Las mineralizaciones de tremolita de Valverde del Camino*. Sociedad Española de Mineralogía; Reunión 10 Oviedo, Spain. Boletín Sociedad Española de Mineralogía, 13; 1. Sociedad Española de Mineralogía. Madrid, Spain, Pages: 76.
- Fernández Caliani, J. C.; Galán Huertos, E. (1991): *Caracterización mineralógica de la tremolita asbestiforme de Valverde del Camino (Huelva)*. Bol. Soc. Esp. Mineral. Vol 14, pp. 125-133.
- Fernández Caliani, J. C.; Galán Huertos, E.; Hernández Arnedo, M. J. (1996): *Mineralogía y consideraciones sobre el origen de la wollastonita de Mérida (Badajoz)*. Bol. Soc. Esp. Mineral. Vol 19, pp. 147-160.
- Galvez, J. A.; Crespo, V. (1978): *Las manifestaciones de asbesto en el complejo de Mellid (Galicia)*. Bol. Geol. Min. vol 8, n.º 3, pp. 251-254.
- Gandolla, M.; Dugnani, L.; Acacia, C.; Malpei, F. (1994): *Eliminación de residuos conteniendo amianto*. Residuos, n.º 5, pp. 23-27.
- García de Miguel, J. M.ª (1986): *El asbesto y la salud, Canteras y explotaciones*, n.º 236, pp. 81-92.
- IGME. (1969): *Programa nacional de explotación minera: minería de minerales no metálicos, asbestos*. Programa nacional de explotación minera. Vol 23. Doc 50015. Servicio de Documentación. ITGE.
- IGME. (1974): *P.N.A.M.P.M. Programa de Investigación de rocas industriales. Monografía sobre asbestos. Proyecto n.º 8*. Servicio de Documentación. ITGE.
- IGME. (1974): *Estudio básico para marcar una política de investigación de rocas de aplicación industrial*. Doc. n.º 19849 y 19852. Servicio de Documentación. ITGE.
- IGME. (1975): *Programa sectorial de investigación geotécnica. Investigación de asbestos, dunitas y serpentinitas en la provincia de Málaga, Granada y Almería*. Tomo I, II, III y planos. Madrid. Servicio de Documentación. ITGE.
- IGME. (1975): *Colección-Informe. Monografía de Rocas Industriales. Asbestos, talco y pirofillita*. Minist. Ind. ITGE.
- IGME. (1976): *Investigación minera en Moche para Cu-Ni-Cr-Ti y asbestos*. 4 v. Madrid. Servicio de Documentación. ITGE. Documento n.º 10015.
- IGME. (1977): *Investigación minera en Cabo Ortegal para Cu-Ni-Cr-Ti y asbestos*. Servicio de Documentación. ITGE. Documento n.º 1021.
- IGME. (1977): *Investigación minera en Carballo-Monte Castelo (La Coruña) para Cu-Ni-Cr-Ti y asbestos*. Servicio de Documentación. ITGE. Documento n.º 10583.

IGME. (1977): *Estudio básico de las mineralizaciones típicas del N.O. de Ni-Cr-Cu-Ti y asbestos en Sierra de Careón y Besadre*. Doc 10012. Servicio de Documentación. ITGE.

IGME. (1977): *Investigación minera en "Sobrado" (La Coruña) para Cu, Ni, Cr, Ti, asbestos*. Doc. 10588. Servicio de Documentación. ITGE.

IGME. (1978): *Fase previa de exploración de asbestos en zonas de los Pirineos, Badajoz, Sevilla y Huelva*. Servicio de Documentación. ITGE.

IGME. (1980): *Investigación minera en la zona norte de la reserva estatal sudoeste*. Doc 10698. Servicio de Documentación. ITGE.

Jaen, M.; Fernández Tapia, M. T.; Arana, R. (1987): *Anfiboles asbestiformes asociados a afloramientos de metabaritas en Santomera y los Nietos, Murcia*. Mediterr. Scr. Estud. Geol. n.º 6, pp. 139-149.

Mandzic, E.; Mandzic. (1978): *The engineering geology aspect of instability of the waste dumps on an inclined floor in an asbestos open pit*. Congreso de l'association Internationale de Geologie de l'ingenieur. 3/1979/ Madrid, pp. 65-74. Serv. Geol.

Martín Ramos, J. D.; Romero, J.; Acosta, A.; Rodríguez Gallego, M. (1984): *Caracterización mineralógica del asbesto de serpentina del antiguo yacimiento de Abia (Almería)*; Congreso Español de Geología. 1/1984/Segovia, vol 2. pp 283-294 Madrid, Colegio Oficial Geólogos.

Muñoz Alvaro, J.; Fernández Alvarez, J. M. (1984): *Las rocas y minerales industriales en el Plan Nacional de Abastecimiento de Materias Primas Minerales (PNAMPM)*; Congreso Internacional de Minería y Metalurgia. 7/1984/Barcelona, vol 2, pp. 47-52; Barcelona: Asoc. Nacional Ing. Minas.

Paradinas Angel, R. (1975): *Prospección de asbestos en el sudeste de España*. Tecniterrae. 2; 8, pp. 32-35. Ibérica de Especialidades Geotécnicas. Madrid, Spain.

Valero Suez, A.; González García, F.; García Ramos, G.; Coy, Yil. R. (1979): *Mineralogía de los asbestos de tremolita y serpentina de la zona de Calera de León*; Soc. Esp. Mineral. Vol. Extra. Num 2, pp. 151-166

Videos sobre Asbestos

- Asbestos*: 1978, 27 min. U. S. Natl. Institute for Occupational Safety and Health, National Audiovisual Center, National Archives and Records Administration, Customer Service Section PZ, 8700 Edgeworth Drive, Capitol Heights, MD 20743-3701, (301) 763-1896.
- Asbestos*: 1979, 41 min. Marshfield Regional Video Network, 1000 N. Oak Ave., Marshfield, WI 54449-5777, (800) 782-8581.
- Asbestos Safety*: 1988, 20 min. International Film Bureau 332 South Michigan Avenue, Chicago, IL 60604-4382, (312) 427-4545.
- Asbestos: A Lethal Legacy*: 1984, 57 min. Time-Life Video, 1271 Avenue of the Americas, New York, NY 10020 (219) 484-5940.
- Asbestos - Playing it Safe*: 1985, 37 min. National Audiovisual Center, National Archives and Records Administration, Customer Service Section PZ, 8700 Edgeworth Drive, Capitol Heights, MD 20743-3701, (301) 763-1896.
- Asbestos: The Manageable Hazard*: 1988, 99 min. Educational Video Network, 1401 19th St. Huntsville, TX 77340, (409) 295-5767.
- Dangers of Asbestos in Our Environment: Separating Fact from Fiction*: 1986, 70 min. U. S. Geol Survey Library Special Collections, MS 955, 345 Middlefield Road, Menlo Park, CA 94025, (415) 329-5009.

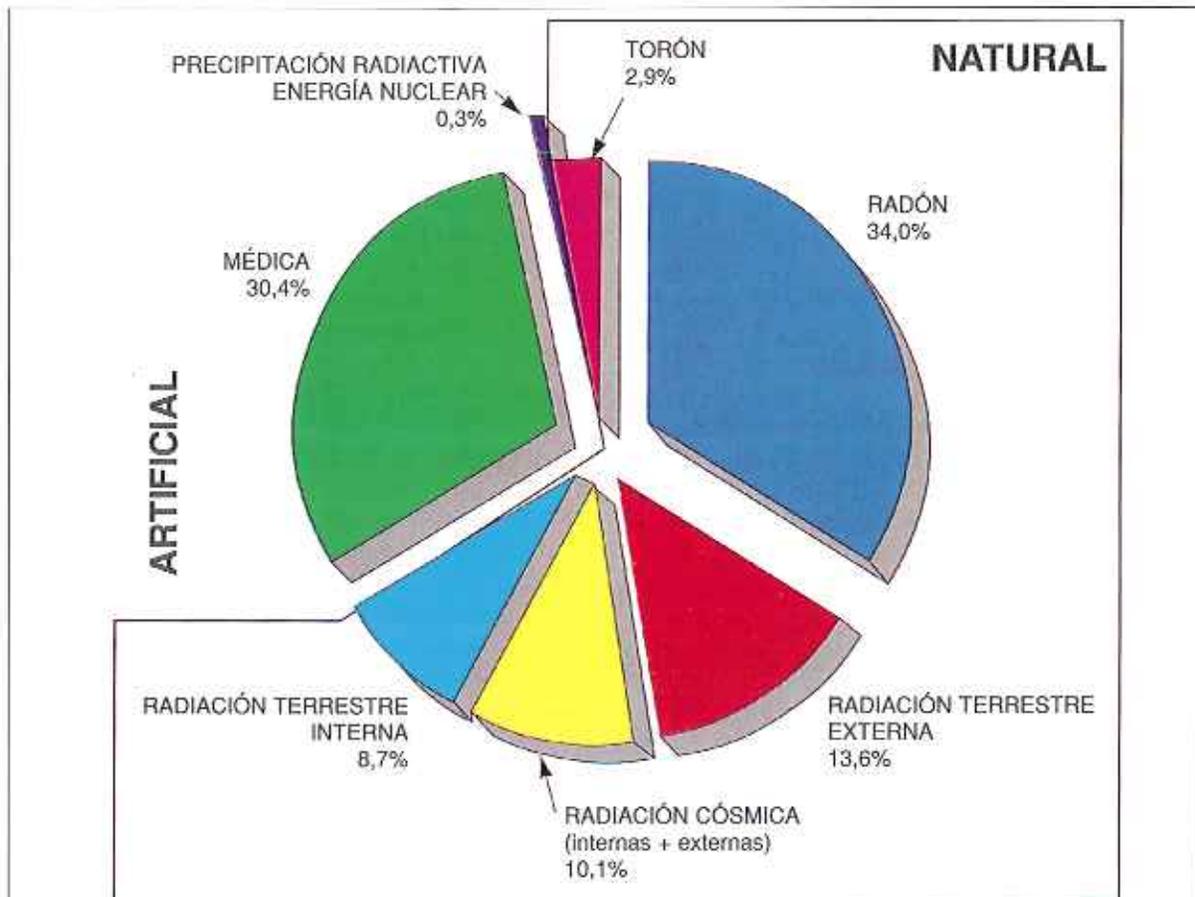
RADÓN Y OTROS GASES PELIGROSOS

Los gases naturales son unos riesgos geológicos que han causado recientemente una gran preocupación. El riesgo por radón es especial entre los riesgos por gases ya que es radioactivo, sus efectos tóxicos en las cantidades que se suelen encontrar en el interior de las viviendas son evidentes sólo tras un largo periodo de tiempo, y no están todavía bien evaluados. Aunque la radiación está sin duda dañando las células de los organismos vivos, no existe ningún medio «libre de radiación» en nuestro planeta. El nivel de radón con el que podemos convivir con un aceptable nivel de riesgo, es uno de los más acalorados y controvertidos debates medioambientales de hoy en día. Está en juego el riesgo para la salud de millones de personas si los niveles bajos son un riesgo importante, o el derroche innecesario de miles de millones de dólares de las economías nacionales para su prevención si los riesgos son inapreciables.

Reconocimiento del problema del radón

La dosis anual de radiación que recibimos procede de muchas fuentes. Además de las radioactividad del

suelo y de las rocas, recibimos radiación de los rayos X para diagnóstico, de aparatos como las televisiones en color, las pantallas de ordenador y los detectores de humo, del sol y otras fuentes cósmicas y de la radiación del interior de nuestro cuerpos que entra con la comida



Contribución de las distintas fuentes de exposición, de origen natural y artificial, a la dosis recibida por la población. Fuente: Radón. «Un gas radioactivo de origen natural en su casa». 1995. CSN y Universidad de Cantabria.

y los nutrientes (en forma de potasio 40 y carbono 14). Se ha estimado que el 34% de la dosis de radiación que recibe el ciudadano medio procede del radón.

El año 1984 marcó el comienzo del reconocimiento del radón, un gas radioactivo invisible e inodoro, como un riesgo geológico importante. En ese año un trabajador de una instalación nuclear en Pennsylvania disparó, en repetidas ocasiones, las alarmas utilizadas para detectar el nivel de exposición a la radiación de los trabajadores de la planta. Intensas investigaciones revelaron finalmente que la fuente de la exposición del trabajador no era su puesto de trabajo, sino ¡su propia casa!

Tal acumulación anómala procedía en su caso del radón natural desprendido del suelo y las rocas bajo sus cimientos, y este gas radioactivo natural producía una exposición a la radioactividad constante y peligrosa para el empleado y su familia. Los suelos y las rocas no eran un depósito de uranio, la roca era una **milonita**, un tipo de roca que se produce en las zonas de falla donde la roca es cizallada y machacada. Las milonitas son rocas menos frecuentes que otras, pero no son desde luego raras.

Una pregunta obvia sería: "¿Cuántas viviendas podrían estar igualmente afectadas?". Estudios subsiguientes de seguimiento durante varios años confirmaron que el gas radón es un contaminante natural en virtualmente todos los estados de los EEUU. Esta revelación podría no haberse producido en muchos años si no hubiera sido por el intenso control de los empleados de la industria nuclear.

La mayoría de las viviendas y edificios no tienen concentraciones peligrosas de radón. Sin embargo, los propietarios de viviendas deberían apercibirse de que la concienciación sobre los potenciales peligros del radón está creciendo, y que futuras reglamentaciones podrían asignar responsabilidades al vendedor, al revelarse los niveles de radón en el interior de las viviendas. En algunas áreas de los EEUU no se puede poner a la venta un edificio sin que se haya realizado una investigación de radón.

La radiación de los materiales geológicos

La **radiación** se produce cuando se desintegran las formas inestables (isótopos radioactivos) de unos pocos elementos químicos. La desintegración es un proceso por el que los átomos radioactivos desprenden

masa y energía. El desprendimiento de energía se produce como emisión de radiación de alta energía (rayos gamma). Se pierde masa cuando se desprenden a alta velocidad del átomo partículas muy pequeñas, pesadas y ligeras (partículas alfa y beta respectivamente) como si fueran minúsculas balas.

Los isótopos son formas de un elemento químico que se diferencian unos de otros por su peso. Algunos isótopos son radioactivos, otros son estables y no se desintegran nunca. Los isótopos se diferencian en notación indicando el nombre o símbolo del elemento químico junto con el número que indica su peso atómico. Así el isótopo radioactivo del carbono que pesa 14 unidades se puede denominar carbono-14 o C14, y el isótopo estable del carbono C12 que pesa 12 unidades también se puede escribir como carbono-12. El C14 se forma de manera natural en la atmósfera.

La radiación de bajo nivel se produce virtualmente en todos los materiales geológicos. De hecho, desde hace mucho tiempo se ha reconocido la radiación natural de bajo nivel, y su medición se ha utilizado durante décadas como un medio útil para distinguir diferentes tipos de rocas en sondeos. El potasio-40 es la fuente de radiación natural más corriente y aparece en altas concentraciones en rocas ricas en potasio tales como granitos, gneises, pizarras, algunos esquistos, muchas lutitas y areniscas, en muchos tipos de depósitos glaciares y en especial en los depósitos de sales potásicas formados por evaporación de agua salada. El potasio-40 se desintegra en un sólo paso desprendiendo sólo rayos gamma y produce como resultado los productos inocuos calcio-40 y argón-40. El potasio-40 no se considera un riesgo para la salud.

La mayoría de la radiación natural restante procede de otros tres isótopos: uranio-238, uranio-235 y torio-232. En relación con el radón, el isótopo importante es el uranio-238. El uranio-238 se desintegra en una serie de pasos que eventualmente convierten el uranio-238 en plomo-206 estable. El gas **radón** (radón-222 para ser más precisos) es un isótopo radioactivo producido durante uno de dichos pasos intermedios de desintegración del uranio-238 para convertirse en plomo-206.

Relaciones entre el radón en espacios cerrados y los materiales geológicos

Se sabe que las milonitas son fuentes muy concentradas de gas radón. Granitos, gneises, esquistos, pizarras y algunas areniscas y depósitos glaciares están

enriquecidos en uranio. Las lutitas negras depositadas en ambientes marinos y en rocas utilizadas como yacimientos comerciales de fosfato, tienen una elevada concentración de uranio.

Un bajo contenido de radón en el sustrato rocoso bajo una construcción, favorece que ésta tenga bajos contenidos en radón, pero el carácter de la roca del sustrato no es siempre un indicador fiable. Las calizas y las dolomías suelen tener bajos contenidos en uranio, pero pueden alterarse y dar como resultado suelos arcillosos insolubles ricos en minerales radioactivos. Como resultado de todo ello, las viviendas situadas en suelos de alteración de calizas podrían tener contenidos elevados en radón, incluso aunque la roca inalterada tenga bajos contenidos en uranio. Esto es cierto especialmente en áreas húmedas y templadas, tales como la parte norte y este de los EEUU donde la meteorización ha dado lugar a suelos muy potentes. Las cuevas en calizas también pueden contener radón, porque contienen suelos arcillosos derivados de la alteración de las calizas circundantes. Los rellenos de fracturas en calizas y dolomías pueden contener mineralizaciones de uranio incorporadas previamente a tales fracturas por las aguas subterráneas. Los carbones no suelen tener un elevado contenido de elementos radioactivos cuando se depositan, pero las lutitas negras que constituyen los techos y los muros de las capas de carbón, en especial carbones depositados en aguas salobres cerca de costas marinas, pueden tener elevados contenidos en uranio. Las numerosas fracturas que afectan a las capas de carbón pueden acumular dicho radón. En las demás zonas, en especial en lignitos, el agua subterránea puede añadir grandes cantidades de uranio a dichos carbones tras su deposición, convirtiéndolos en fuente de uranio. En resumen, incluso viviendas ubicadas en rocas "limpias" podrían presentar elevados niveles de radón, si las condiciones de formación de los suelos son favorables para la concentración de minerales ricos en uranio.

El radón-222 tiene una vida media corta (tiempo que tarda en desintegrarse el 50% de una cantidad determinada, en este caso 3,8 días), lo que le permite permanecer como un gas tóxico y radioactivo durante menos de un mes. Aproximadamente un 75% del radón producido en un tiempo determinado, se desintegra una semana después de su formación. Esto significa que el radón debe proceder, o bien de una fuente cercana o debe haber conductos disponibles para una migración rápida desde el interior de la Tierra. Tales conductos pueden ser fracturas abiertas, cuevas, viejas minas, o sondeos. La mayor parte de la contaminación por radón

se produce por desprendimiento desde el suelo y el sustrato rocoso hacia las cimentaciones de los sótanos. A veces, pero en raras ocasiones, los materiales de construcción hechos de ciertos tipos de rocas, podrían ser fuentes de radón, y en escasas ocasiones el agua suministrada por pozos para el consumo privado, puede ser un medio de transporte de radón a las viviendas disuelto en el agua. En esos casos, la actividad cotidiana de ducharse, pulverizar, calentar o cocer con dicha agua desprende el radón disuelto en la atmósfera del interior del edificio. Un factor que podría aumentar la concentración de radón en espacios cerrados, es el empleo de construcciones mejor selladas y más eficientes energéticamente, que reduce la exposición a las corrientes de aire en relación con los edificios más antiguos.

El remedio, salvo en el caso de concentraciones de radón muy elevadas, puede ser muy sencillo. El mantenimiento de un sótano libre de radón puede ser un ejercicio similar a mantenerlo seco. El calafateado de las juntas de los suelos del sótano, el sellado de sumideros con tapones que ajusten bien, o cubrir las paredes porosas con un sellante, pueden ser muy eficaces en la reducción del contenido de radón. También se pueden reducir las cantidades bajas de radón a niveles aceptables simplemente añadiendo ventilación adicional al edificio. La apertura de ventanas del sótano y el empleo del ventilador del sistema de aire acondicionado y calefacción central para introducir en el sótano aire fresco, son medidas que ayudan, aunque en la mayoría de los climas se podrían considerar sólo como remedios temporales y estacionales. En unos pocos casos, puede ser necesario un sistema más complejo (succión sub-solera) para eliminar el gas del subsuelo de las cimentaciones.

¿Por qué el radón es un peligro?

El radón es un peligro porque se desintegra rápidamente para producir un sólido radioactivo (Polonio-218) que se aloja permanentemente en los pulmones. El sólido empieza entonces un ciclo de desintegración que desprende partículas alfa y beta dentro de los pulmones en cuestión de minutos. El resultado son daños en las células de los pulmones que puede dar como resultado cáncer de pulmón. La concentración ordinaria de radón en la atmósfera es inevitable y lo más probable es que no plantee riesgo alguno. El gas se convierte en un peligro verdadero cuando se acumulan altas concentraciones en lugares cerrados y mal ventilados. Es especialmente peligroso para fumadores que estén expuestos a elevadas concentraciones.

Medidas del radón

Las concentraciones de radón se miden generalmente en **pico curies** por litro de aire (pCi/L). Un pico curie por litro es aproximadamente el nivel de radiación producido por la desintegración de dos átomos de radón en un volumen de un litro durante un minuto. En Europa, se utilizan unidades del Sistema Internacional denominadas **Becquerelios** por metro cúbico (Bq/m³). 1 pCi/L. equivale a 37 Bq/m³. El nivel medio de radón en exteriores es de 0,2 pCi/L y el nivel medio de radón en interiores es de aproximadamente 1,5 pCi/L., es decir unas 5 veces el nivel en el exterior. Actualmente la Agencia de Protección Medioambiental norteamericana (EPA), denomina a las concentraciones superiores

al 4 pCi/L concentraciones de "nivel de acción" y recomienda acciones de remediación cuando el nivel de radón esté por encima de dicho nivel.

Los propietarios de viviendas y los responsables de edificios públicos pueden tomar medidas a corto plazo con equipos de ensayo baratos. Estos aparatos se exponen a la atmósfera del edificio sellado y son enviados por correo al laboratorio para la realización de ensayos rápidos. Los equipos de ensayo más corrientes son los detectores de carbón activo y los detectores sólidos de trazas. Estos equipos se pueden comprar en cualquier tienda de equipos de análisis y el coste de los equipos debe incluir el análisis.

Los detectores baratos de carbón activo se utilizan

TABLA DE RIESGOS COMPARATIVOS DE LOS NIVELES DE RADÓN

Nivel de Radón		Cánceres de pulmones fatales estimados/1000	Niveles de exposición comparados	Niveles de riesgo comparados
pCi/L.	Bq/m ³			
200	7.400	440-770	1.000 veces el nivel en exteriores	Más de 60 veces el riesgo de los no fumadores
100	3.700	270-630	100 veces el nivel medio en interiores	Fumados de 4 paquetes al día o 20.000 rayos X del pecho
40	1.480	120-380	100 veces el nivel medio en exteriores	Fumador de 2 paquetes al día
20	740	60-210		
10	370	30-120	10 veces la media del nivel en interiores	Fumador de un paquete al día
4	148	13-50	10 veces el nivel medio en exteriores	Cinco veces el riesgo de los no fumadores
2	74	7-30		
1	37	3-13	Nivel medio en interiores	Riesgo de un no fumador de tener un cáncer de pulmón mortal
0,2	7,4	1-3	Nivel medio en exteriores	20 rayos X de tórax

La EPA recomienda que se tomen medidas si el nivel de radón en interiores excede los 4 pCi/L (148 Bq/m³), que es 10 veces el nivel medio en exteriores. Algunos representantes de la EPA creen que los niveles de toma de medidas se deberían bajar a 2 pCi/L (74 Bq/m³); otros científicos disienten y consideran que las estimaciones de riesgo en esta tabla son ya demasiado altas para los niveles bajos de radón. Los niveles de toma de medidas en los países europeos están situados en 10 pCi/L (370 Bq/m³). Obsérvese que esta tabla es tan sólo estimada, no está basada en ningún resultado científico derivado de un estudio de grandes poblaciones que cumplan los criterios de radiación indicados. (Datos de la Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU. (EPA).

para controlar sólo períodos cortos (uno a cuatro días) y, por lo tanto, proporcionan un método conveniente para realizar una evaluación rápida. Sin embargo, una investigación de cuatro días sólo representa poco más de un 1% del año. Los resultados de un único estudio a corto plazo no deberían ser la única base para llevar a cabo acciones remediadoras. Unos cuantos ensayos a corto plazo durante la temporada, nos dará una visión más realista del nivel de riesgo. Si el resultado es excesivamente alto se debería realizar una evaluación más precisa.

Los detectores sólidos de trazas o pistas alfa son también baratos y se pueden utilizar durante todo un año. Necesitan al menos una exposición de 3 meses para obtener buenos datos. Estos equipos se deben instalar inicialmente en aquellas áreas de la vivienda que podrían recibir radón de fuentes externas (tales como el cuarto de baño donde el radón podría entrar a través del suministro de agua doméstica) y en zonas de habitación donde se podría concentrar el radón por escasa circulación (tales como los sótanos; los espacios estrechos no se consideran zonas de habitación). Debido a que el radón es un gas pesado, se puede concentrar más en niveles bajos de la casa. Sin embargo, los cimientos construidos con materiales huecos, como algunos tipos de bloques de hormigón, pueden desviar el radón a la primera planta más que al sótano.

Las concentraciones de radón en interiores varían considerablemente durante el año, en función de los cambios del tiempo. Las lecturas más altas se deben esperar durante los períodos del año de mínima ventilación, que suelen ser los inviernos, cuando los edificios se preparan para reducir las pérdidas de calor y cuando la nieve y el hielo evitan el desprendimiento de radón de los suelos a la atmósfera.

La controversia sobre el radón

Algunos científicos rebaten vehementemente la necesidad de una gran preocupación sobre el radón y lo costoso de su remediación. El desacuerdo procede de que actualmente la evaluación del radón es muy difícil. Para evaluar el nivel de riesgo claramente, los científicos deben ser capaces de atribuir a dicho riesgo las muertes específicas derivadas de él, dentro de una gran población. El caso del radón es especialmente problemático debido a (1) el radón produce consecuencias letales sólo después de muchos años de exposición y sólo recientemente se ha reconocido como riesgo y (2) el cáncer de pulmón, la enfermedad terminal producida por el radón, también lo producen muchos otros irritantes de los pulmones, el principal de los cuales es

fumar y no menos importante es la inhalación pasiva del humo del tabaco. Para emplear directamente las tasas de mortalidad, los científicos necesitan distinguir específicamente los cánceres de pulmón causados por el radón. En el momento de redactar estas líneas, no hay disponibles datos para una población suficiente que permita evaluar el riesgo por radón.

En la actualidad, la evidencia de que bajas concentraciones de radón en las viviendas podrían representar un riesgo considerable debe obtenerse de observaciones indirectas. La principal indicación de peligros potenciales procede de poblaciones conocidas de mineros expuestos al radón en las minas de uranio. Estos trabajadores, especialmente *los trabajadores que fuman además de sufrir exposición ocupacional* al radón, presentan un significativo aumento de la frecuencia de cáncer de pulmón. Hay un riesgo innegable para los fumadores en tales niveles de exposición. Por contra, otra línea de evidencia que muestra que no hay un riesgo significativo, se basa en recientes estudios demográficos que han tratado de relacionar la vida media en una zona determinada con las concentraciones de radiación geológica de fondo. Estos estudios no apoyan ninguna relación entre los niveles de radiación regionales y la longevidad esperada. De hecho, Dakota del Norte, que es el estado que tiene la radiación de fondo más alta y algunos niveles de radón muy altos, es el que tiene la mayor longevidad.

Es a partir de la II Guerra Mundial cuando se comienzan a realizar estudios epidemiológicos con el seguimiento de poblaciones de mineros de uranio a lo largo de años. El más destacado es el Estudio del Colorado Plateau que abarcó una población de 6.300 mineros durante 25 años, aunque hay constancia de otros en Gran Bretaña, Checoslovaquia y Suecia.

Los estudios confirman el aumento del riesgo de padecer cáncer de pulmón con la exposición al radón y su aumento exponencial si además, se es fumador. Así el número de muertes esperadas debería ser de 1,1 por 100.000 habitantes, para los mineros éstas eran de 7,1 por 100.000 habitantes, que aumentaban a 42,2 por 100.000 habitantes cuando además de exponerse al radón eran fumadores.

No se dispone todavía de los resultados de 15 estudios casos-contróles que se están desarrollando en varios países del mundo sobre población en general. Estos estudios permitirán saber si es posible extrapolar el riesgo establecido para los trabajadores de las minas de uranio a las personas que habitan viviendas con niveles de exposición al radón mucho más bajos.

OTRAS RECOMENDACIONES INTERNACIONALES SOBRE LA LIMITACION DE RADON

Organismo País	Casas existentes (Bq/m ³)	Casas futuras (Bq/m ³)
ICRP	400	200
C.E.E.	400	200
O.M.S.	200	200
Suecia	800	140
Finlandia	800	200
Alemania	250	250
Noruega	800	200
Estados Unidos	150	150

Fuente: Rodenas Palomino, C., Tesis Doctoral.

Los problemas se plantean cuando dichas evidencias indirectas se convierten en la base para acciones políticas. Primero, la población de mineros que recibió elevadas dosis de radiación tanto del gas radón como del polvo mineral no es representativa de la población que recibe sólo bajas dosis de radiación en sus casas. Las concentraciones de radón, tales como las que se encuentran en las minas de uranio y en las viviendas de los trabajadores de las plantas nucleares de Pennsylvania son muy escasas, y utilizar estas excepciones como base para el desarrollo de políticas para la población en general podría conducir a obligatoriedades poco inteligentes y terror innecesario. Por contra, los estudios de radiación regional no relacionan directamente el radón concentrado en viviendas específicas con individuos específicos, por lo tanto dichos estudios regionales podrían conducir a interpretaciones que inducen una falsa seguridad.

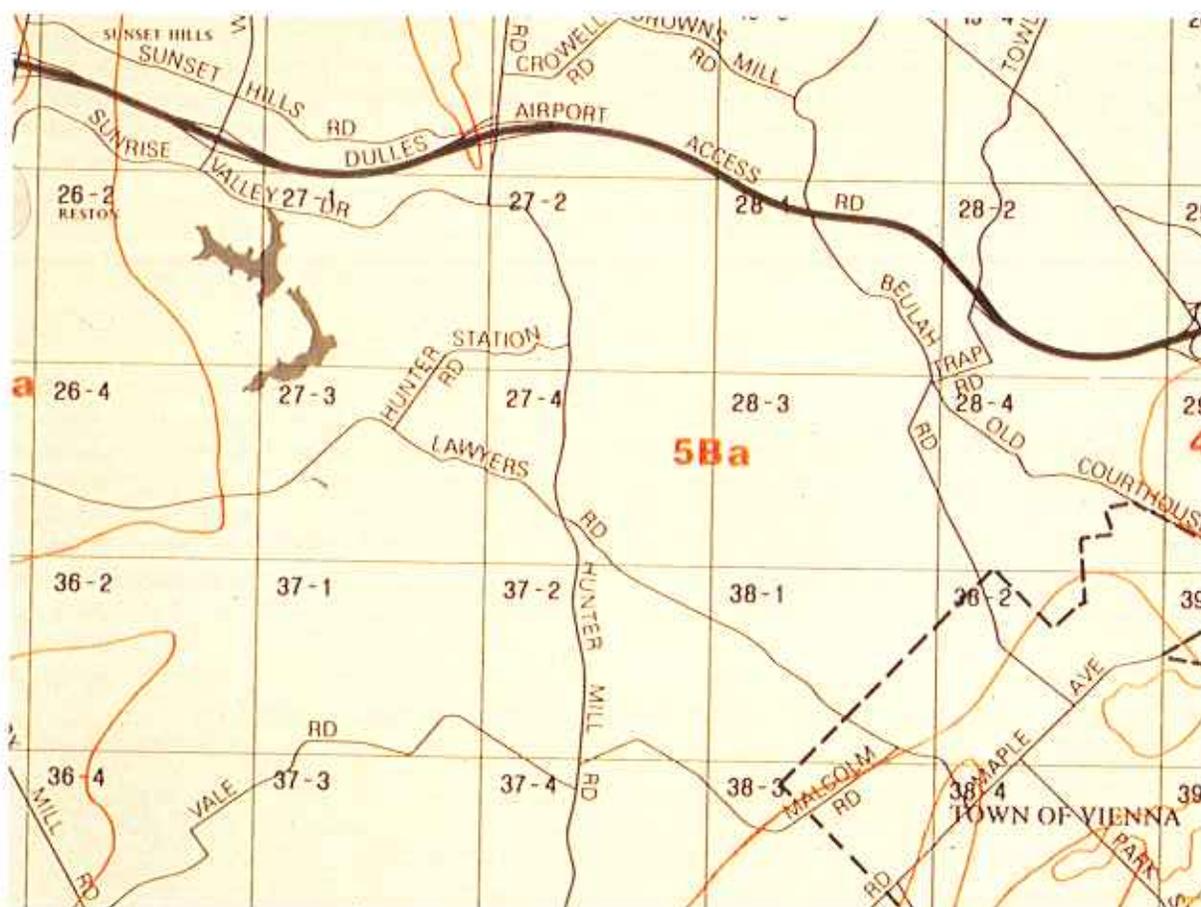
En resumen, las concentraciones de radón de las viviendas puede medirse y controlarse con un bajo coste. Una vez se ha establecido el nivel en pCi/L o Bq/m³, el riesgo de la posibilidad real de contraer un cáncer de pulmón tal y como ha estimado la EPA de los EEUU, se puede determinar a partir de la tabla de riesgos por niveles de radón (ver página 46). Recuerde que la tabla está basada en evidencias indirectas. Si dicha tabla es correcta, el nivel de radón en interiores debería producir 20 000 muertos al año en los EEUU. No obstante existen otras recomendaciones internacionales sobre la limitación de radón en el interior de las viviendas. La tabla incluida en esta página refleja dichas recomendaciones.

Otros gases tóxicos

Aunque el radón ha sido un tema frecuente en los medios de comunicación a finales de los 80 y a principios de los 90, hay otros gases naturales que a veces poseen riesgos mortales en condiciones especiales. Aproximadamente 1 000 personas en los EEUU mueren por envenenamiento accidental por gas; muchos de dichos envenenamientos los son por el gas **metano** utilizado en las viviendas como "gas natural" para cocinar o en la calefacción. Los residentes que no sean mineros o sondistas de profesión, y que no vivan en las condiciones especiales que se indican a continuación, no es probable que puedan verse afectados.

El metano, el monóxido de carbono y el dióxido de carbono son gases que eran especialmente temidos por los mineros del carbón antes de los modernos diseños, controles y ventilación de las minas. A estos gases se los denomina coloquialmente como "grisú" "gas mortal" o "gas asfixiante" en relación a la muerte de mineros por fuegos, explosiones o asfixia. Estos riesgos no son del pasado remoto; en 1992 murieron 200 mineros en Ankara (Turquía) en una explosión de metano.

El sulfuro de hidrógeno, es un gas natural asociado en concentraciones letales a algunos depósitos de petróleo, es incluso más tóxico que el gas cianuro utilizado en las ejecuciones de reos en algunos países. El cuerpo humano puede notar el sulfhídrico en cantidades inferiores a unas pocas partes por millón en el aire, por su característico olor a huevos podridos. El gas es todavía temido por los sondistas de pozos de petróleo ya que



Parte de un mapa de radón del USGS Hoja 2047, del Condado de Fairfax, Virginia. Las zonas con riesgo de radón están etiquetadas y perfiladas en tinta roja y referenciadas a un texto que acompaña al mapa. Tales mapas detallados todavía no son frecuentes en los EE.UU., pero puede que lo sean como resultado de la Ley de 1992 de financiación del Mapa Geológico Nacional (H.F.R. 2763).

han muerto instantáneamente equipos completos de perforación, cuando este "gas amargo" ha emanado de un sondeo alcanzando la plataforma de perforación.

Todos los gases tienen la habilidad de migrar por aberturas estrechas tales como los poros de los suelos o las rocas o por aberturas hechas por el hombre como minas, túneles, alcantarillas, fosas sépticas, conducciones de servicio, drenajes o sótanos. Cuando se producen emanaciones naturales de estos gases, su presencia se pone en evidencia por fenómenos como los malos olores, o manantiales calientes y por lo tanto se evita utilizar dicha zona para uso residencial. Hay algún peligro cuando se desarrollan urbanizaciones sobre antiguas operaciones mineras subterráneas o viejas tuberías de sondeos con pérdidas. Cuando los gases alcanzan suficiente concentración en áreas urbanizadas, el peligro surge por su potencial combustión (metano), explosión (metano), inhalación tóxica (sulfhídrico) o asfixia (dióxido de carbono o nitrógeno). El gas metano de las acometidas o alcantarillas

podría escaparse y migrar a través de las aberturas subterráneas de una zona muy amplia y explotar con consecuencias mortales. Una explosión de metano de ese tipo se produjo en Guadalajara, Méjico, el 22 de Abril de 1992, y mató a casi 200 personas.

Los gases también pueden desprenderse durante los terremotos. Las tuberías principales de gas y del alcantarillado son fuentes evidentes de gas, pero los gases también se pueden desprender de hervideros de arenas y lodos o de la rotura de las coberteras de vertederos.

Los volcanes (véase la sección correspondiente de este libro, pp. 79) son bien conocidos por desprender gases tóxicos y nauseabundos que incluyen vapores de sulfhídrico y clorhídrico. En 1986, en Camerún, perecieron más de 1.700 personas, así como animales salvajes y de granja, bajo una nube de dióxido de carbono que se desprendió de un lago de 200 metros de profundidad situado en un cono volcánico.

Los fuegos subterráneos en las capas de carbón, minas de carbón abandonadas y acopios de estériles pueden desprender sobre los desafortunados residentes cercanos malos olores y humos perjudiciales para la salud permanentemente. Estos humos contienen gases sulfurosos e hidrocarburos con olor a asfalto que son desprendidos y destilados del carbón asociado a las rocas del techo y del muro.

Finalmente, el almacenamiento humano de residuos, en especial los residuos orgánicos y basuras en el medio ambiente geológico en forma de vertederos pueden ser a menudo fuente de gases peligrosos. Los mismos microorganismos que son responsables de convertir la materia orgánica natural en metano en los pantanos y manglares, son también responsables de convertir en el mismo gas los residuos orgánicos acumulados por el hombre en vertederos. En aquellos lugares donde se ha producido una planificación descuidada, las edificaciones construidas

sobre antiguos rellenos acumulan metano en los sótanos, alcantarillas y conducciones de servicio dando como resultado las desastrosas consecuencias de fuegos y explosiones. La producción de metano en los vertederos es tan prolífica que en algunas ocasiones puede utilizarse localmente como fuente de combustible.

*El riesgo por radón en España y en Europa**

En España las concentraciones más altas de radón se han detectado fundamentalmente en el Macizo Hespérico, en la zona norte de Madrid (estribaciones del Guadarrama), los macizos de Galicia, Extremadura y zona oeste de Castilla-León. Los estudios realizados por un equipo de la Facultad de Medicina de la Universidad de Cantabria en ocho pueblos de la sierra de Madrid (Hoyo de Manzanares, San Martín de

NIVELES DE RADON EN EL INTERIOR DE VIVIENDAS EN ESPAÑA

Comunidad	M.A. (Bq/m ³)	M.G. (Bq/m ³)	D.E.G.	Nº de medidas	Rango (Bq/m ³)
1 Andalucía	49	31	2.6	278	L.D.-850
2 Aragón	64	39	2.7	130	L.D.-920
3 Asturias	63	43	2.4	54	19-950
4 Baleares*	36	27	2.1	27	L.D.-160
5 Canarias**	145	64	3.6	60	L.D.-1.880
6 Cantabria	68	40	2.8	103	L.D.-1.970
7 Castilla-La Mancha	65	43	2.5	168	L.D.-400
8 Castilla-León	166	68	3.8	309	L.D.-15.400
9 Cataluña	41	23	2.9	78	L.D.-1.780
10 Extremadura	142	90	2.6	111	L.D.-1.260
11 Galicia	167	118	2.3	112	19-2.070
12 Madrid	121	95	2.0	29	28-490
13 Murcia	34	25	2.2	59	L.D.-105
14 Navarra	33	20	2.7	49	L.D.-96
15 La Rioja	34	19	2.9	26	L.D.-1.070
16 País Vasco	43	28	2.5	79	L.D.-300
17 País Valenciano	31	18	2.8	124	L.D.-210
España	78	43	3.0	1.796	L.D.-15.400

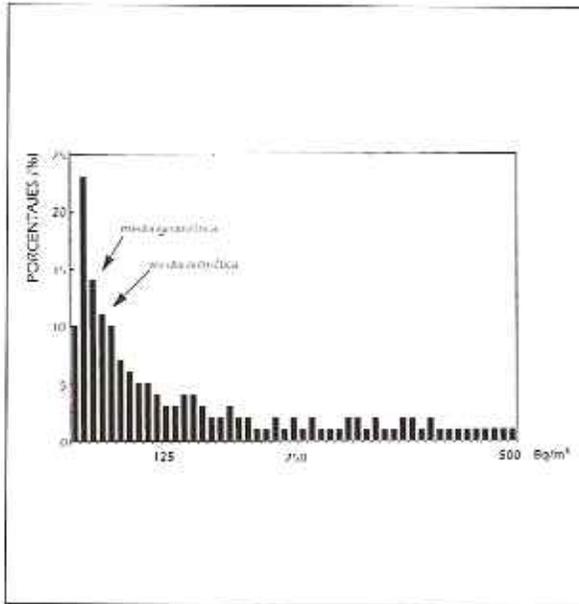
L.D. Límite de detección: 10 Bq/m³

M.A. = Media aritmética
M.G. = Media geométrica
D.E.G. = Desviación estandar geométrica

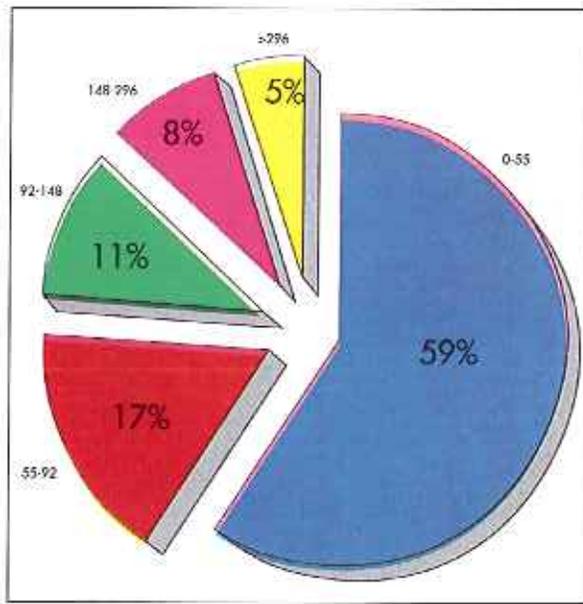
* Datos referidos únicamente a la isla de Mallorca
** Datos referidos únicamente a la isla de Tenerife

Fuente: Rodenas Palomino, C., Tesis Doctoral, 1995.

* La información incluida en este apartado ha sido proporcionada por el Consejo de Seguridad Nacional y el Profesor Luis S. Quindós Poucela del Departamento de Ciencias Médicas y Quirúrgicas de la Universidad de Cantabria.



Distribución de niveles de radón en España. Fuente «Radón, un gas radiactivo de origen natural en su casa» CSN y Universidad de Cantabria.

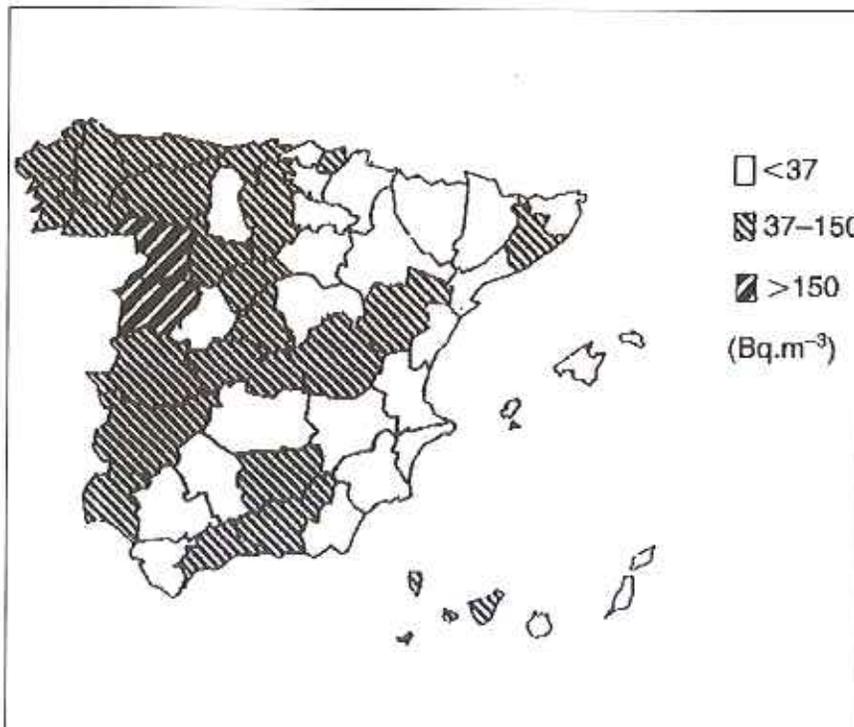


% de casas en España para distintas concentraciones de radón expresadas en Bq/m³. Fuente «Radón, un gas radiactivo de origen natural en su casa» CSN y Universidad de Cantabria.

Valdeiglesias, Navas del Rey, El Escorial, Navacerrada, Manzanares el Real, Miraflores de la Sierra y La Cabrera) indicaron, sobre un centenar de mediciones, un 29% entre 4 y 8 pCi/L y un 23% de 8 ó más, cuando el límite máximo de exposición recomendado por la Agencia Norteamericana de Protección

Ambiental (EPA) es de 4 pCi/L. Las mediciones realizadas en el resto del país indicaron la presencia de radón en 2.300 casas de 53 localidades españolas.

A nivel nacional una reciente tesis doctoral de la Universidad de Cantabria (Rodenas Palomino, C.



Niveles de radón en el interior de viviendas en España por provincias (Quindós, S. L.; Fernández, P. L.; Rodenas, C. y Soto J. (1992))

CONCENTRACIONES DE RADÓN EN EL INTERIOR DE VIVIENDAS EN DIVERSOS PAÍSES DEL MUNDO

País	Concentración media geométrica (Bq/m ³)	Nº de casas analizadas
Alemania	40	5.970
Austria	15	729
Bélgica	48*	450
Canadá	14	13.413
China	20	3.945
Dinamarca	29	560
Estados Unidos	25	5.967
Finlandia	64	8.150
Francia	41	3.006
Holanda	24	1.000
Hungría	55	66
India	42	1.208
Inglaterra	20*	96.000
Irlanda	37	736
Italia	62	2.250
Japón	23	6.000
Luxemburgo	65	2.500
Noruega	30	7.500
Polonia	38*	345
Portugal	37	4.200
Suecia	56	1.360
Suiza	70*	1.600

*Valores medios aritméticos

(Comité Científico de las Naciones Unidas sobre los efectos de la radiación atómica. Informe UN 93).

1995) resume todas las investigaciones realizadas sobre el radón en el interior de las viviendas en nuestro país. Se tomaron 1.796 medidas en toda España. Los resultados por Comunidades Autónomas se incluyen en la tabla de la página 50.

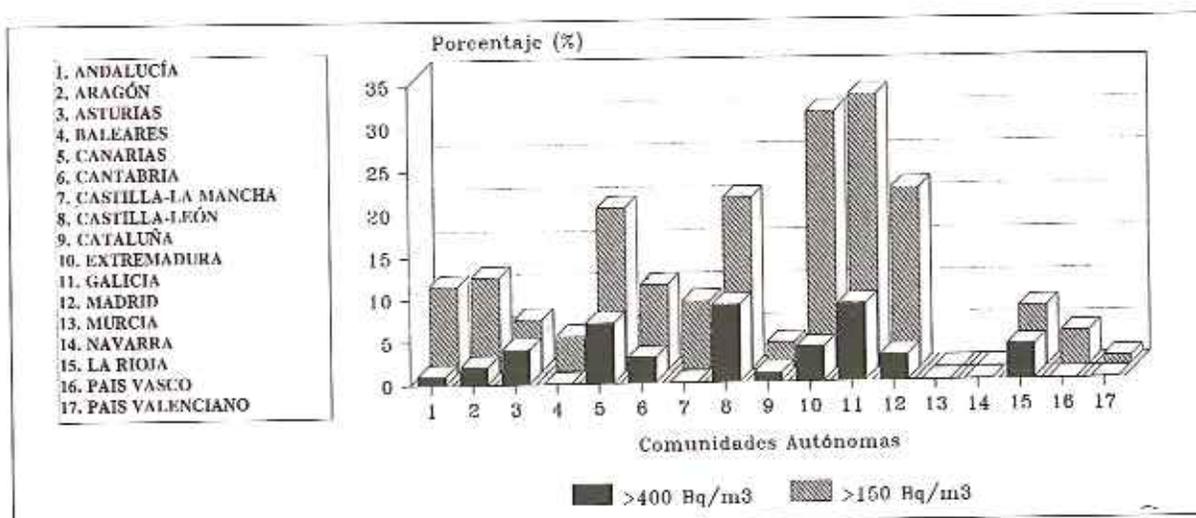
Los resultados globales se representan en las figuras de la página 51. El conjunto de los valores encontrados en España presentan una distribución de tipo lognormal lo que indica que se trata de una variable continua y aleatoria con umbral inferior pero sin cota superior (Rodenas Palomino, C. 1995). El valor medio geométrico de tal distribución es 43Bq/m³, con una desviación estandar geométrica de 3,0 y un rango de variación comprendido entre 10 Bq/m³ (límite de detección del sistema de medición utilizado) y 15.400Bq/m³. El valor medio aritmético obtenido en tal distribución fue de 78 Bq/m³.

Tal concentración media geométrica es 1,4 veces mayor que el valor promedio geométrico mundial (30Bq/m³) mientras que el valor medio aritmético es 1,8 veces superior al correspondiente promedio mun-

dial de 42 Bq/m³ ambos publicados por UNSCEAR (Comité Científico de las Naciones Unidas sobre los efectos de la radiación atómica) en su último informe de 1993. Este dato se obtuvo a partir de muestreos llevados a cabo en una serie de países del mundo. La tabla situada sobre estas líneas resume los resultados de dicho muestreo.

Los resultados en España indican que un 13% de las viviendas presentan niveles de radón por encima de los 150 Bq/m³, un 9% superan los 200 Bq/m³ y un 4% exceden el límite de 400 Bq/m³ propuesto por la Unión Europea para casas existentes. En el mapa de la página anterior se indican los niveles de radón por provincias en España.

De un modo general se puede decir que los valores medios geométricos más altos de la concentración de radón en el interior de viviendas se han encontrado en Galicia, Madrid y Extremadura. Los valores más bajos se han detectado en Andalucía, Cataluña, Murcia, Navarra, La Rioja, País Vasco y País Valenciano, en relación directa con el radio-226 encontrado en los sue-



Viviendas españolas con altos niveles de radón. Fuente: Rodenas Palomino, C. 1995 «Estudio de las Fuentes de Radiación Natural en España. Estimación de Dosis a la población». Tesis doctoral Universidad de Cantabria.

los de dichas zonas, ya que las investigaciones realizadas en España indican que son los suelos los que constituyen la principal fuente de aporte de radón al interior de las viviendas (Quindós, L. S. et al. 1995). Tales niveles de radio-226 responsables de los niveles de radón, están en relación directa con el sustrato geológico en que han sido medidos, siendo de modo general siempre mayores en suelos de naturaleza silícea frente a los encontrados en suelos arcillosos o calcáreos.

Desde el punto de vista de la caracterización del posible riesgo debido a la exposición al radón por parte de la población, según Rodenas Palomino, C. (1995), se puede considerar, de forma práctica y con carácter general, que en una determinada zona es «de bajo nivel de radón» cuando el porcentaje de viviendas situadas en la misma con concentraciones superiores a los 150 Bq/m³ es inferior al 15%, «de moderado nivel de radón», si se halla comprendido entre el 15 y el 30%, y, «de alto nivel de radón» cuando supera el 30%. Atendiendo a esta diferenciación (Peakc, 1988) se deberían considerar como zonas «de alto nivel de radón» Galicia y la parte occidental de Castilla León, mientras que las zonas «de nivel moderado» serían las Comunidades de Canarias, Extremadura y Madrid. El resto de las Comunidades son «de bajo nivel de radón». La figura incluida sobre estas líneas representa la distribución porcentual de viviendas españolas con niveles de radón superiores a 150 y 400 Bq/m³.

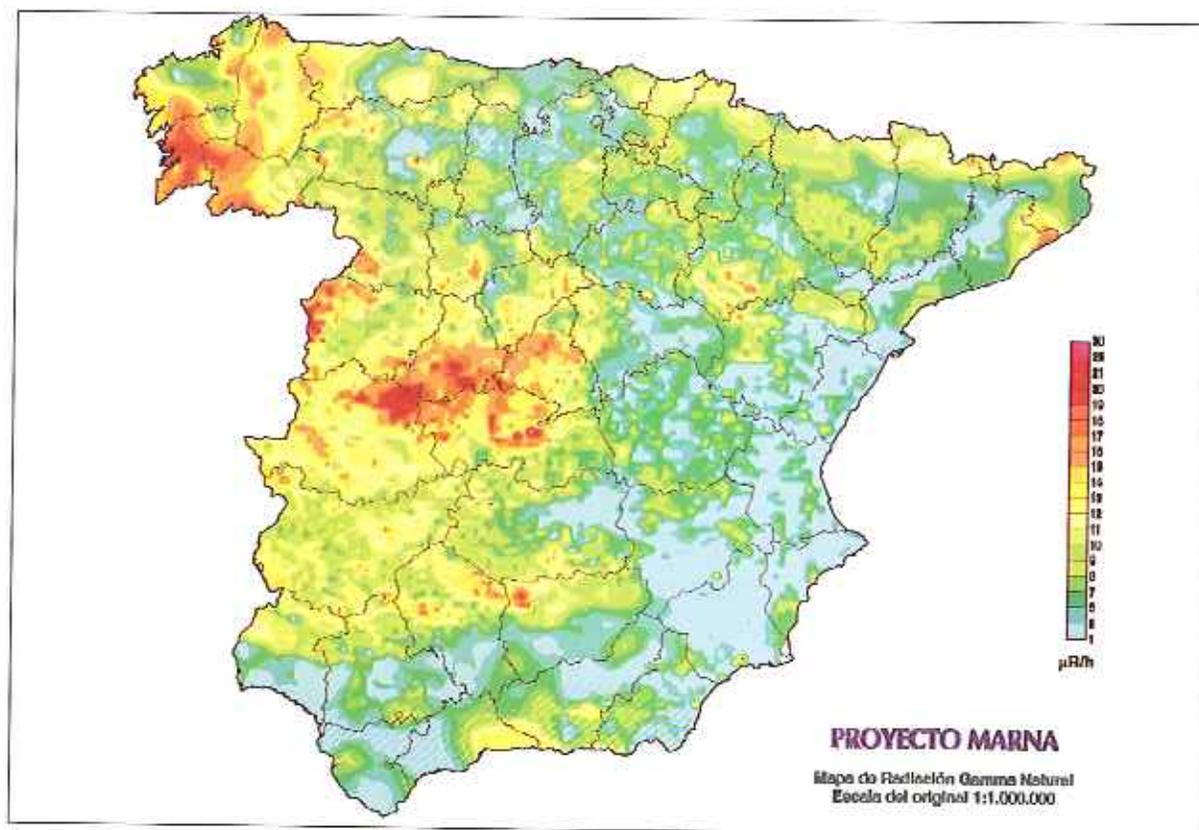
No obstante no existen todavía estudios epidemiológicos que demuestren la relación del nivel de exposición al radón y el cáncer de pulmón en nuestro país.

En todo caso los datos objetivos reflejan una relación entre los niveles de radón en España y el sustrato geológico, por lo que es interesante conocer cuál es la radiación gamma natural que existe en España, derivada de los contenidos en potasio, uranio y torio que presentan dichas formaciones geológicas, ya que el radón se genera precisamente por la desintegración del uranio.

Los niveles de radiación del sustrato geológico también influyen en los el contenido de elementos radioactivos de las aguas subterráneas, cuyos efectos también podrían causar perjuicios a la salud, sobre todo dado el aumento del consumo de aguas embotelladas en los últimos años en nuestro país. En el trabajo de Dueñas, M.^a C. et al (1993), se reflejan las concentraciones de radio-226 y radio-224 de las aguas minerales, de manantial y termales en España, la mayoría aguas potables. Los resultados del estudio mencionado indican que un 6% de las aguas embotelladas analizadas presentaron valores de radio-226 mayores que los máximos aceptables para aguas para el consumo humano (185 mBq/l).

El proyecto Mapa de Radiación Natural de España (MARNA)

Se trata de un proyecto de I+D desarrollado por el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) y la Empresa Nacional de Uranio (Enusa) con la colaboración de las Universidades de Salamanca y Extremadura para evaluar los niveles de radiación gamma natural en España.



Mapa de Radiación Gamma Natural de España. Proyecto MARNA.

El proyecto se inició en 1991 y hasta la fecha ha dado como resultado los siguientes productos en su primera fase:

* Mapa de la España peninsular a escala 1:1.000.000.

* Mapa de las Comunidades Autónomas de Extremadura y Castilla-León a escala 1:200.000.

El mapa radiométrico a escala 1:1.000.000 se ha obtenido a partir de 16 744 medidas. La tasa de exposición media es de 8,7 $\mu\text{R/h}$.

Los valores medios más altos están ligados a las formaciones graníticas y a las rocas sedimentarias derivadas de ellas. Las rocas graníticas de la provincia de Cáceres, Madrid, Toledo y Ávila (Sistema Central Español), de Galicia, del oeste de las provincias de Salamanca y Zamora y de Cataluña, Badajoz, Córdoba y Sevilla presentan valores medios de 16 a 25 $\mu\text{R/h}$. Los valores más bajos se localizan en las formaciones sedimentarias de origen marino de Levante y Andalucía con valores medios de 1 a 5 $\mu\text{R/h}$.

El proyecto MARNA tiene diversas aplicaciones:

- Estudios epidemiológicos para investigar los efectos de bajas dosis de radiación recibidas durante un largo tiempo, en sí mismos o en relación con otros factores.
- Evaluación y control de cualquier incremento de la radiación de fondo debido a causas naturales o no naturales.
- Optimización de la selección del emplazamiento adecuado para equipos de medida de la radiación.
- Evaluación de la representatividad de otros métodos de medida de la radiación.
- Estimación de la tasa de dosis absorbida y dosis equivalente.
- Elaboración de mapas de distribución de radón, ya que es posible calcular la concentración de radón que se incorpora al aire a partir de las concentraciones de uranio en las unidades geológicas asumiendo su distribución homogénea.

Radón en Europa

En Europa la preocupación por el problema del radón dio lugar en 1990 a que entonces la Comisión de las Comunidades Europeas dictara una Recomendación referente a la protección de los ciudadanos contra los peligros de la Exposición al radón en el interior de edificios. A continuación se reproduce dicha recomendación:

Recomendación de la Comisión de 21 de febrero de 1990 relativa a la protección de la población contra los peligros de una exposición al radón en el interior de edificios (90/143/EURATOM) (Nº 80/26, publicado el 27/2/1990)

La Comisión de las Comunidades Europeas, visto el Tratado constitutivo de la Comunidad de la Energía Atómica y en particular el párrafo 2º de su artículo 33, previa consulta al grupo de expertos nombrados por el Comité Científico y Técnico en virtud del artículo 31 del Tratado, vistos los considerandos,

RECOMIENDA:

1.- *Que se establezca un sistema adecuado para limitar toda exposición a las concentraciones de radón en el interior de edificios. Que dentro de este sistema se preste especial atención a la adecuada información al público y a la respuesta a las preocupaciones de éste.*

2.- *Por lo que respecta a los edificios ya existentes:*

a) *que se utilice un nivel de referencia para el examen de las acciones correctoras que caso de superarse deberán tener en cuenta medidas sencillas pero eficaces dirigidas a reducir el nivel de radón.*

b) *que el nivel de referencia corresponda a un equivalente de dosis efectiva de 20 mSv por año, lo que puede considerarse a efectos prácticos como el equivalente a una concentración media anual de gas radón de 400Bq/m³.*

c) *que el grado de urgencia de estas acciones correctoras dependa de la medida en que se haya superado nivel de referencia.*

3.- *Por lo que respecta a las futuras construcciones:*

a) *que se utilice un nivel de diseño para ayudar a las autoridades competentes en la elaboración de reglamentos, normas o códigos de práctica de la construcción aplicables a los casos en que se pueda superar el nivel de diseño.*

b) *que el nivel de diseño corresponda a un equivalente de dosis efectiva de 10 mSv por año, lo que puede considerarse a efectos prácticos como el equivalente*

de una concentración media anual de gas radón de 200 Bq/m³.

c) *que se suministre información a todos aquellos que participen en la construcción de edificios nuevos en la medida que sea pertinente, sobre los posibles niveles de exposición al radón y sobre las medidas preventivas que puedan tomarse.*

4.- *Que cuando se determinen las medidas correctoras o preventivas se apliquen los principios de optimización de conformidad con las normas básicas de seguridad de la Comunidad*

5.- *Que dadas las variaciones diarias y estacionales de los niveles de radón en el interior de edificios las decisiones sobre protección radiológica se basen por lo general en las mediciones medias anuales de gas radón o sus descendientes en edificios afectados, realizadas utilizando técnicas de integración. Que las autoridades competentes velen porque dichas mediciones posean la calidad y fiabilidad adecuadas.*

6.- *Que se establezcan criterios para identificar las características de regiones, lugares o edificios que puedan estar asociados a niveles elevados de radón. Que puedan utilizarse niveles de investigación para los parámetros subyacentes, por ejemplo, la radiactividad en el suelo y de los materiales de construcción, la permeabilidad del terreno, etc, para la identificación de las circunstancias de tales exposiciones.*

Los destinatarios de la presente Recomendación serán los Estados miembros.

Hecho en Bruselas a 21 de Febrero de 1990.

Por la Comisión- Carlo Ripa Di Meana

Con respecto a las concentraciones de radón a partir de las cuales deberían adoptarse medidas de protección, también la Comisión de las Comunidades Europeas (*Journal Officiel des Communautés Européennes* 27/3/1990, nº 180/26) ha publicado unas recomendaciones. Así en las casas existentes la Unión Europea recomienda que la concentración media anual de radón no debe superar los 400 becquerelios por m³, mientras que para futuras construcciones este nivel no ha de sobrepasar los 200 Bq/m³. Hay que tener en cuenta que este tipo de valores no implican que a partir de dichos niveles se producen daños y por debajo no se produzcan; simplemente son valores de referencia a la hora de tomar medidas de remediación.

Papel del geólogo en la reducción de los riesgos por gases

En la cartografía. Los geólogos pueden indicar, simplemente estudiando el mapa geológico, donde se podrían localizar una serie de zonas de riesgo. La habi-

lidad para realizar esta interpretación procede de su formación universitaria obtenida en una serie de cursos académicos y de la experiencia de campo. Esta misma formación permite al geólogo cartografiar depósitos, tanto en superficie como en profundidad, en zonas que no se hayan cartografiado previamente, e interpretar mapas más antiguos e informes a la vista de la puesta al día de los últimos conocimientos.

En los servicios públicos. Tal y como se desprende de todo este libro, las ubicaciones para nuevos edificios deberían ser evaluadas por un geólogo cualificado antes de que se realicen los planes de diseño o construcción. Muchas veces el servicio geológico proporciona ayuda de tipo general con mapas que perfilan aquellas zonas cuyo sustrato se sabe que probablemente tengan elevadas concentraciones de uranio. El Servicio Geológico Norteamericano (USGS) ha producido para algunas zonas de los EEUU mapas de aereo-radioactividad o mapas de la radiación superficial medida por aeroplanos volando a baja altura. En 1993, la sección de Procesos Sedimentarios del USGS en Denver, completó un mapa del potencial de radón en

los EEUU. El mapa ha sido publicado con un texto acompañante para cada estado.

En España, el ITGE dispone de cartografía metalogénica con indicación de los principales indicios y yacimientos de uranio, así como estudios e investigaciones sobre éstas y otras sustancias radioactivas. La Empresa Nacional del Uranio (ENUSA) explota e investiga los yacimientos de uranio españoles. En la bibliografía incluida a continuación se citan trabajos de investigación sobre el contenido en isótopos de radio de las aguas embotelladas españolas.

En la investigación. Como resultado del reciente reconocimiento del problema del radón, los geólogos han aprendido hechos sorprendentes sobre los tipos de condiciones geológicas que han conducido al aumento de radón en las edificaciones, y como los suelos, rocas y aguas subterráneas se enriquecen en radón. Nuevos trabajos revelarán más información y los datos obtenidos por los geólogos seguramente conducirán a afirmaciones más precisas sobre los peligros reales del radón para los propietarios de viviendas.

Resumen de la Parte II

El aumento del nivel de educación es el paso más significativo que se puede tomar contra los riesgos por materiales geológicos. Sin embargo, muchos profesionales que están enseñando ciencias de la tierra, geografía física, geología física e introducción a la geología, no han cursado nunca personalmente cursos sobre mineralogía, petrología o suelos. Los propietarios de viviendas son las principales víctimas de las pérdidas económicas en aquellas zonas donde suelos expansivos o materiales de construcción inadecuados podrían causar estragos en las estructuras. Para estar seguro es preciso disponer de buena información sobre las características de la zona proporcionada por un geólogo, y adquirir la cobertura de seguros adecuada que indemnice las pérdidas que este tipo de riesgos pueda producir (ver Sistema Español de Cobertura en la Parte IV).

El radón y los asbestos son dos temas frecuentes en los medios de comunicación. Se han gastado enormes cantidades de dinero para remediar estos riesgos, y algunas estimaciones para su futura remediación exceden los costes combinados de todos los riesgos geológicos. El estado actual de los conocimientos sobre estos riesgos parece ser desconocido o mal interpretado por políticos y periodistas. El público continúa estando mal informado, sin darse cuenta de la importante controversia que existe con respecto a los asbestos y el radón. Mientras algunos segmentos de la población sufren innecesarios miedos y pérdidas financieras no deseadas, otros permanecen inadvertidos de los peligros reales. La regulación legal indiscriminada que no esté basada en datos científicos sólidos, podría convertirse en el disparate más caro del presente siglo.

La Parte II ha sido adaptada por Manuel Reguciro y González-Barros, Licenciado en Ciencias Geológicas y especialista en rocas y minerales industriales del Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE). Es profesor asociado del Dpto. de Cristalografía y Mineralogía de la Facultad de Ciencias Geológicas de la UCM, Secretario del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de España y Presidente de la Federación Europea de Geólogos.

Bibliografía sobre el radón y otros gases de la edición americana

(*) Indica que las referencias bibliográficas son especialmente adecuadas para educadores

- Abelson, P. H., 1990, *Uncertainties about health effects of radon*. E: Science, v. 250, p. 353.
- Adams, J. A. S., and Lowder, W. M. (ed.), 1964, *The Natural Radiation Environment*: University of Chicago Press.
- Association of Bay Area Governments, 1991, *Toxic gas releases in earthquakes: existing programs, sources, and mitigation strategies*: ABAG Metro Center, P.O. Box 2050, Oakland, CA 95604.
- (*) Brookins, D. G., 1990, *The Indoor Radon Problem*: New York, Columbia University Press.
- Caharrubias, J., 1992, *Methane gas hazard in Fairfax District, Los Angeles*: in *Engineering Geology Practice in Southern California*, Assoc. Engrg. Geologists Spec. Pub., Belmont, CA, Star Pub Co., pp. 131-143.
- Cohen, B., 1989, *Radon - A Homeowner's Guide to Detection and Control*: New York, Avon Books.
- (*) Environmental Protection Agency, 1986, *A citizens' guide to radon, what it is and what to do about it*: U. S. EPA., OPA-86-004.
- Environmental Protection Agency, 1985, *Nationwide occurrence of radon and other natural radioactivity in public water supplies*: U. S. EPA., 520/5-85/008.
- (*) Environmental Protection Agency, 1986, *Radon reduction methods, a homeowners guide*: U. S. EPA., OPA-86-005.
- Environmental Protection Agency, 1986, *Radon reduction techniques for detached houses - technical guidance*: U. S. EPA., 625/5-86/019.
- Environmental Protection Agency, 1991, *International symposium on radon and radon reduction technology: Proceedings papers in 5 volumes*. U.S. EPA, Air and Energy Environmental Research Laboratory, Research Triangle Park, NC 27711.
- Gates, A. F., and Gundersen, L. C. (eds.), 1993, *Geologic controls on radon*: Geol. Soc. Amer. Spec. Paper 271, in press.
- Graves, B., (ed.), 1987, *Radon in Groundwater*: Chelsea, MI, Lewis Publishers. (Produced from the conference of the National Water Well Association and the U. S. EPA; also available from Natl. Ground Water Assoc., Dublin, OH).
- (*) Gundersen, L. C. S., 1992, *Hidden Hazards of radon - scanning the country for problem locations*: Earth, November, pp. 54-61.
- Gundersen, L. C. S., and others, 1991, *Preliminary radon potential map of the United States*: U. S. Geol. Survey, Denver, CO, in press.
- Horton, T. R., 1985, *Nationwide occurrence of radon and other natural radioactivity in public water supplies*: U. S. EPA., 520/5-85-008, 708 p.
- Lafavore, M., 1987, *Radon: the Invisible Threat*: Emmaus, PA, Rodale Press.
- Mafoske, W. J., and Edelstein, M. R., 1988, *Radon and the Environment*: Park Ridge, NJ, Noyes Pub.
- Morrow, R. (ed.), 1989, *The Radon Industry Directory*: P. O. Box 25551, Alexandria, VA 22313, Radon Press Inc.
- Nazaroff, W. W., and Nero, A. V., Jr (eds.), 1987, *Radon and Its Decay Products in Indoor Air*: New York, Wiley.
- National Council on Radiation Protection and Measurements, 1975, *Natural background radiation in the United States*: NCRP, Rept. 45, Bethesda, MD, 163 p.
- National Council on Radiation Protection and Measurements, 1984, *Exposures from the uranium series with emphasis on radon and its daughters*: NCRP, Rept. 77, Bethesda, MD, 132 p.
- National Council on Radiation Protection and Measurements, 1984, *Evaluation of occupational and environmental exposures to radon and radon daughters in the United States*: NCRP, Rept. 78, Bethesda, MD, 204 p.
- Nero, A. V., Jr., 1985, *The indoor radon story*: Technology Review, v. 89, p. 28-31; and pp. 336-340.
- Schumann, R. K., Gundersen, L. C. S., and Tanner, A. B., 1993, *Geology and occurrence of radon: in Radon; Measurement, Prevalence, and Control*, Amer. Soc. for Testing Materials ASTM MNI. 15.
- Tanner, A. B., 1986, *Indoor radon and its sources in the ground*: U. S. Geol. Survey Open File Rept. 86-222, 5 p.
- Tuohey, R. E., 1987, *Radon vs. lung cancer: New study weighs the risks*: Logos, Argonne Natl. Laboratory, v. 5, pp. 7-11.

Bibliografía sobre el radón de la edición española

- Åkerblom, G.; Lindgren, J. (1997): *Mapping of Ground Water radon potential*, European Geologist nº 5. European Federation of Geologists.
- Alter, H. W. and Fleischer, R. L. (1981): *Passive integrating radon monitor for environmental monitoring*. Health Phys. 40, 693.
- Batrako, V. G. F.; Kremeev, V. N.; Zemlyanov, A. D.; Pavlidi, L. M.; Zesenko, A. Ya.; Kukharchik, A. V. (1980): *Título en ruso. Palabras clave: geoquímica isotópica, geocronología, Cs-137; Th-234; radón; isotopo; materia-organica; agua-mar; Golfo de Guinea; Canarias; Ru-222*. Morsk. Gidrofiz. Issled. n.º 2, pp 40-47.
- Botter-Jensen, I.; Lauterback, V.; Pessara, W.; Thompson, I. M. (1989): *Multilaboratory testing of environmental gamma dose rate meters*. P 413-416. Radiation Protection. Theory and Practice. Ed. E. P. Goldginch. Institute of Physics. Bristol.
- Bouville, A. and Lowder, W. M. (1988): *Human population exposure to cosmic radiation*. Radiat. Prot. Dosim. 24: 293-299.
- Castaing, C.; Dutastro, P.; Fourniguet, J.; Gouyet, J.-F.; Langevin, C.; Loiseau, P.; Pernel, F.; Pointet, T. (1987): *Massif granitique d'Huelgoat (Finistère). Etude géologique, morphologique et structurale, avec contrôle des teneurs en gaz radon dans les sols, pour application à la prospection hydrogéologique* Princ. Result. Sci. Tech. - Bur. Rech. Geol. Minieres pp. 203.
- Cohills, P. (1991): *Le Radon dans les habitations*. Cabinet du ministre du logement pour la région wallonne, Bruxelles.
- Commission of the European Communities, Luxembourg (1988): *Third CRC intercomparison of active and passive detectors for measurement of radon and radon decay products*.
- Commission of the European Communities (1990): *Commission Recommendation on the protection of the public against indoor exposure to radon*. Official Journal of the European Communities 80/26-28, Brussels.
- Del Río, L. M. (1988): *Estudios espectrométricos gamma para bajos niveles de actividad*. Tesis doctoral. Universidad de Extremadura, Cáceres.
- Díaz Vidal, R. (1964): *Poder generador de radón en suelos gallegos en relación con otros grandes grupos mundiales y con el contenido en plomo total*. Anales de Edafología y Agrobiología, Tomo XXIII.
- Documents of the NRPB: *Board Statement on Radon in Homes*. National Radiological Protection Board. Chilton. UK. 1990.

GUIA CIUDADANA DE LOS RIESGOS GEOLOGICOS

- Dueñas, M.^a C.; Fernández, M.^a C. (1983): **Transporte de gas radón en el suelo cerca de la superficie; Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica, 1981/ Zaragoza.** Vol 2, pp. 909-916. Madrid, Inst. Geogr. Nacional.
- Dueñas M.^a C.; Fernández, M.^a C. (1988): **Temporal variations in soil gas radon; any possible relation to earthquakes?** Tectonophysics, 152; 1-2, Pages 137-145. Elsevier, Amsterdam, Netherlands.
- Dueñas Buey, M.^a C.; Fernández Jiménez, M.^a C.; Carretero Rubio, J.; Pérez Martínez, M. (1993): **Estudio de la ventilación de la Cueva de Nerja mediante la concentración de radón.** Geología de la Cueva de Nerja n.º 3, pp. 253-264. Patronato de la Cueva de Nerja.
- Dueñas Buey, M.^a C.; Fernández Jiménez, M.^a C.; Carretero Rubio, J.; Pérez Martínez, M. (1992): **Analysis of the gross alpha radioactivity in waters of Málaga.** Toxicological and Environmental Chemistry, Vol 37, pp. 79-84.
- Dueñas Buey, M.^a C.; Fernández Jiménez, M.^a C.; Carretero Rubio, J.; Pérez Martínez, M. (1993): **Ra-226 and Ra-224 in waters in Spain.** Toxicological and Environmental Chemistry, Vol 39, pp. 71-79.
- Dueñas Buey, M.^a C.; Fernández Jiménez, M.^a C. (1987): **Dependence of radon 222 flux on concentrations of soil gas and air gas an analysis of the effects produced by several atmospheric variables.** Annales Geophysicæ, 87/06 B, 533-7. EGS-Gauthier-Villars.
- Dueñas Buey, M.^a C.; Fernández Jiménez, M.^a C.; Pérez Martínez, M. (1983): **Radon 222 from the ocean surface.** Journal of geophysical research, Vol 88, n.º C13, pp. 8613-8616.
- Dueñas Buey, M.^a C.; Pérez Martínez, M.; Fernández Jiménez, M.^a C.; Carretero Rubio, J. (1994): **Disequilibrium of radon and its short-lived daughters near the ground with atmospheric stability.** Journal of geophysical research, Vol 99, n.º D6, pp. 12 865-12 872.
- Dueñas Buey, M.^a C.; Pérez Martínez, M.; Fernández Jiménez, M.^a C.; Carretero Rubio, J. (1996): **Radon Concentrations in surface air and vertical atmospheric stability of the lower atmosphere.** J. Environ. Radioactivity, Vol 31, n.º 1, pp. 87-102.
- Dueñas Buey, M.^a C.; Fernández Jiménez, M.^a C.; de la Torre, M.; (1986): **Fluxes and exchange rates of radon and oxygen across an air-sea interface.** Geochemical Journal, Vol 20, pp. 61-69. Geochemical Society of Japan. Nagoya, Japan
- Dueñas Buey, M.^a C.; Fernández Jiménez, M.^a C.; Senciales, M.; (1990): **Usefulness of Rn, decay products of Rn, and Th B to study diffusion in the lower atmosphere.** Atmosphere Environment Vol 24³, n.º 5, pp. 1255-1261.
- Dueñas Buey, M.^a C.; Fernández Jiménez, M.^a C.; Carretero, J.; Liger, E.; (1996): **Measurement of 222Rn in soil concentrations in interstitial air.** Appl. Radiat. Isot. Vol 47, n.º 9/10 pp. 841-847.
- Dueñas Buey, M.^a C.; Fernández Jiménez, M.^a C.; Carretero Rubio, J.; Pérez Martínez, M. (1993): **Relationship between radon 222 daughter and ThB concentrations in surface air with atmospheric stability.** Journal of Geophysical research, Vol 98, n.º D7, pp. 12 895-12 899.
- Dueñas Buey, M.^a C.; Fernández Jiménez, M.^a C.; Carretero Rubio, J.; Liger, E.; Pérez Martínez, M. (1997): **Release of 222Rn from some soils.** Ann.geophysicæ 15, 124-133.
- Dueñas Buey, M.^a C.; Fernández Jiménez, M.^a C.; Carretero Rubio, J.; Liger, E. (1996): **Natural radioactivity levels in atmospheric air in Málaga (Spain).** Appl. Radiat. Isot. Vol 47, n.º 9/10, pp. 1077-1080.
- Dueñas Buey, M.^a C.; Fernández Jiménez, M.^a C. (1988): **Temporal variations in soil gas radon; any possible relation to earthquakes?** Tectonophysics, 152, pp. 137-145.
- Dueñas-C; Fernández, M. C.; Pérez-Martínez-M. (1983): **Radon 222 from the ocean surface.** JGR. Journal of Geophysical Research, C. Oceans and Atmospheres, 88; 13, Pages 8613-8616. American Geophysical Union, Washington, DC, United States.
- Ettenhuber, E. and Lichman, R. (1986): **The collective dose equivalent due to the naturally occurring radionuclides in building materials on the German Democratic Republic, Part I. External radiation.** Health Phys., 50(1): 49-56.
- European Communities (1980): **Council Directive of 15 July 1980 laying down the next basic standards for the health protection of the general public and workers against the dangers of ionizing radiation (80/836/Euratom).** O. J. Eur. Communities, 23, n.º L 246, 17 September.
- European Communities (1984): **Council Directive of 3 September 1984 amending Directive 80/836/Euratom as regards the basic safety standards for the health protection of the general public and workers against the dangers of ionizing radiation. (84/467/Euratom).** O. J. Eur. Communities, 27, n.º L265/1, 5 October.
- Commission of the European Communities, Luxembourg (1989): **Evaluation of the Radiation Protection Research Programmes.**
- Evans, R. D. (1974): **Radium in man.** Health Phys. 27: 497-510.
- Fernández Amigot, J. A. (1981): **Prospección e investigación de yacimientos uraníferos en la Provincia de Salamanca.** Tectonicae, 8; 43, pp. 45-73. Ibérica de Especialidades Geotécnicas, Madrid, Spain.
- Fernández, P. L.; Gutiérrez, I.; Quindos, L. S.; Soto, J.; Villar, E. (1986): **Natural ventilation of the Paintings Room in the Altamira Cave.** Nature (London), 321; 6070, pp. 586-588. Macmillan Journals, London, United Kingdom, 1986.
- Fernández Rubio, R. **Fábrica de uranio de Andujar (Juen); clausura del dique de estériles** Boletín Geológico y Minero, 102; 1, pp. 119-134. Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Madrid, Spain, 1991.
- Fernández, P. L.; Quindos, L. S.; Soto, J.; Villar, E. (1984): **Radiation exposure levels in Altamira Cave.** Health Physics, 46; 2, pp. 445-447. Pergamon, Long Island, NY, United States.
- Fry, F. A., Dodd, N. J., Green, N., Major R. O. and Wilkins, B. T. (1982): **Environmental radioactivity surveillance programme: Results for the UK for 1981.** Chilton, NRPB-R134 (London, HMSO).
- Garzón Matín, M. L. (1988): **Posibilidades que ofrece la medida de radón en la prospección de hidrocarburos.** VIII Congreso Internacional de Minería y Metalurgia, Oviedo, Tomo 7, pp. 82-102. Asoc. Nac. Ing. Min.España.
- Garzon, L. (1978): **Radioactividad y medio ambiente.** Universidad de Oviedo. Servicio de Publicaciones.
- Garzón Ruizpérez, L. (1992): **Radón y sus riesgos.** Ed. Servicio de Publicaciones Universidad de Oviedo.
- González, J. A. (1992): **Caracterización del potencial del terreno como fuente de radón.** Ing. Civ. n.º 84, pp. 129-131.
- Gutiérrez, J. C.; Baixeras, B.; Robles et al. (1992): **Indoor radon levels dose estimation in two major Spanish cities.** Radiat. Prot. Dosim. 45: 465-467.
- Klement, A. W. (1982): **Handbook of Environmental Radiation.** CRC-PRESS, Florida.
- Hernández Pedro, A.; Pérez-Nemesio, M.; Hernández Moreno José, M.; Soler, Vincente; Espino Mesa, Monserrat; Hernández, Francisco, J. (1993): **Pedological and environmental influences upon volcanic soil gas (super 222) Rn in the highland area of Tenerife, the Canary Islands, Spain.** Geological Society of America, 1993 annual meeting. Abstracts with Programs - Geological Society of America, 25; 6, Pages 434. Geological Society of America (GSA). Boulder, CO, United States.
- International Commission on Radiological Protection (1984): **Principles for limiting exposure of the public to natural sources of radiation.** ICRP Publication n.º 39.
- International Commission on Radiological Protection (1987): **Lung Cancer risk from indoor exposures to radon daughters; A report of a task group of the ICRP.** Ed. Pergamon Press, Oxford.

- International Commission on Radiological Protection (1991): **Annual Limits on Intakes of Radionuclides by Workers based on the 1990 Recommendations**, ICRP Publication 61. Annals of the ICRP, Pergamon Press, Oxford.
- International Commission on Radiological Protection (1991): **1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection**, ICRP Publication 60. Annals of the ICRP, Pergamon Press, Oxford.
- International Commission on Radiological Protection (1994): **Protection against radon-222 at home and at work**, ICRP Publication n° 65.
- International Commission on Radiation Units and Measurements (1978): **Basic aspects of high energy particle interactions and radiation dosimetry**, ICRU Report 28.
- Jacobi, W. and Andre, K. (1963): **The vertical distribution of 222-radon, 220-radon and other decay products in the atmosphere**. Journal of Geophysical Research. 68, 3799-3814.
- Jacobi, W. (1979): **Blei-210, Wismut-210, Polonium-210. Natürliche Aktivität, interne Dosimetrie und Dosisfaktoren bei Ingestion und Inhalation**. GSF-Bericht-S-586.
- Jacobi, W., and Einfeld, K. (1980): **Dose to tissues and effective dose equivalent by inhalation of radon-222, radon-220 and their short-lived daughters**. GSF report S-626, Gesellschaft für Strahlen und Umhelforschung, Munich-Neuherberg, West Germany.
- James, A. C.; Strong, J. C.; Cliff, K. D., et al. (1988): **The significance of equilibrium and attachment in radon daughter dosimetry**, Radiat. Prot. Dosim. 24: 451-455.
- Kahren, R. L. (1984): **Radioactivity in the environment: sources, distribution and surveillance**. Harwood Academic Publishers. ISBN 3-7186-0203-2.
- Kenneth, S.; Deffeyes and MacGregor, I. (1980). **Reservas uraníferas mundiales**. Revista Investigación y Ciencia, marzo.
- Kraner, H. W.; Schroeder, G. L. and Evans, R. D. (1964): **Measurements of the effects of atmospheric variables on ²²²Rn flux and soil-gas concentrations**. In the Natural Radiation Environment. Chicago. University of Chicago Press, pp. 191-215.
- Krieger, R. (1981): **Radioactivity of construction materials**. Betonwerk Fertigteil-Technik, 47, pp. 468-470.
- Lucas, H. (1957): **Improved low level alpha scintillation counter for radon**. Rev. Sci. Instrum. 28: 680-683.
- Martínez Lobo, A.; Palomares, J. (1991): **On the determination of super 226Ra in soils and uranium ores by direct gamma-ray spectrometry**. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 147; 2, Pages 225-234. Elsevier. Lausanne-Budapest, International.
- Martín Morales, F. (1987): **Fábrica de uranio de Andújar**; Estratos n.º 4 pp. 16-17.
- Martín-Salas, A.; Vidal Lopez, F. J.; Pardos Fernández Delpino, M. (1984): **Estudio de la influencia ejercida por la humedad y temperatura sobre la exhalación del Toron en una muestra de arenas radioactivas**. Revista de Geofísica (Madrid), 40; 2, pp. 259-264. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid, Spain.
- Mjånes, L. (1986): **Gamma radiation in Swedish dwellings**. Radiat. Prot. Dosim. 15: 131-140.
- Morcno Gutiérrez, A.; Astudillo J.; Pérez López, J. A. (1985): **Determinación de radón en aguas naturales su importancia en la prospección hidrogeológica**. Química e Industria (Madrid), 31; 6, pp. 425-428. Asociación Nacional de Químicos de España. Madrid, Spain.
- National Radiation Council (1988): **Health risks of radon and other internally deposited alpha emitters (BEIR IV)**. National Academy Press.
- National Research Council (1991): **Comparative dosimetry of radon in mines and homes**. National Academy Press. Washington D.C.
- National Radiological Protection Board. Kliff, K. D.; Holub, R. F.; Kintson, E. O.; Lettner, H. and Solomon, S. B. (1994): **International Intercomparison of Measurements of Radon and Radon Decay Products**. Badgastein, Austria, September 1991. NRPB report interno.
- Nazaroff, W. and Nero, A. V. (Eds) (1988): **Radon in Indoor air**. John Wiley & Sons, New York.
- NCRP n° 9 (1988): **Measurement of radon and radon daughter in air**, National Council on Radiation Protection and Measurements. Bethesda, MD.
- NCRP n° 103 (1989): **Control of radon in houses**, Bethesda, Maryland.
- Nero, A. V. and Lowder, W. M. (1983): **Indoor Radon**. Ed Pergamon Press. Health Physics Vol. 45, n° 2.
- Nero, A. V.; Schwacht, M. B. and Nazarow, W. W. (1986): **Distribution of airborne radon concentrations in US homes**. Science. 234, pp. 992-997.
- Nuclear Energy Agency Group of Experts. **Dosimetry Aspects of Exposure to Radon and Thoron Daughter Products**, OECD, Paris (1983).
- O'Riordan, M. (1990): **Human exposure to radon in homes**. Documents of the NRPB.
- Organization for Economic Cooperation and Development. **Exposure to radiation from the natural radioactivity in building materials**. Report by a Group of experts of the OECD. OECD, Paris (1979).
- Pardo, M. **El enemigo en casa**. 1989. Revista del MOPU. Nov.
- Peake, R. T. (1988): **Radon and geology in the United States**. Radiation Protection Dosimetry. Vol 24 (1-4), pp. 173-177.
- Pérez Nemesio, M.; Sturchio Neil, C.; Archart-Greg, B.; Heraty Linnea; Hernández Francisco, J.; Hernández Pedro, A. (1994): **Anomalous changes in chemical and isotopic composition of fumarolic gases from Teide Volcano; possible precursory changes related to seismic activity in the Canary Islands, Spain**. Geological Society of America, 1994 annual meeting. Abstracts with Programs - Geological Society of America. 26; 7, Pages 484. Geological Society of America (GSA).
- Quindós, L. S. (1995): **Radón. «Un gas radiactivo de origen natural en su casa»**. Consejo de Seguridad Nacional y Universidad de Cantabria.
- Quindós, L. S.; Fernández, P. L. y Soto, J. (1992): **Estimate of external gamma exposure outdoors in Spain**. Radiation Protection Dosimetry, vol. 45, n° 4, pp. 527-529.
- Quindós, L. S.; Fernández, P. L. y Soto, J. (1993): **Exposure to natural sources of radiation in Spain**. Nucl. Traks Radiat Meas, vol. 21, n° 2, pp. 295-298.
- Quindós, L. S.; Fernández, P. L. y Soto, J. (1995): **Study of Arcas of Spain with high indoor radon**. Radiation Measurements, vol. 24, n° 2 pp.207-210.
- Quindós, L. S.; Soto, J.; Fernández, P. L. et al. (1989): **Radón, principal fuente de radiación natural**. Revista Española de Física, vol. 3, n° 2, pp. 22-27.
- Quindós, L. S.; Soto, J.; Fernández, P. L. (1990): **First International Seminar on Managing the Indoor radon problem**. Mol. Belgium.
- Quindós, L. S.; Soto, J.; Fernández, P. L. and Soto, J. (1991): **National survey on indoor radon in Spain**. Environ. Int. 17, pp. 449-453.
- Quindós, L. S.; Fernández, P. L.; Soto, J. and Sinnave, J. (1991): **Results of an intercomparison of gamma spectrometry measurements of radioactivity in soils and building materials**. Santander: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cantabria.
- Quindós, L. S.; Fernández, P. L.; Soto, J.; Ródenas, C. (1991): **Terrestrial gamma radiation levels outdoors in Cantabria, Spain**. Radiat. Protect. Dosimet. 11, pp. 127-130.
- Quindós, L. S.; Soto, J.; Fernández, P. L.; Madrid, J.; Arteche, J. (1989): **Survey of radon in Cantabria homes**. Thirty-fourth annual meeting of the Health Physics Society; abstracts of papers presented. Health Physics. 56; Suppl. 1, Pages 59. Pergamon. Long Island, NY, United States.

- Quindós, I. S.; Newton, G. J.; Fernández, P. L. and Soto, J. (1988): **National radioactivity of some Spanish building materials.** The Science of the total Environment 68, pp. 181-185.
- Quindós, I. S.; Fernández, P. L. and Soto, J. (1991b): **Short vs long-term indoor radon measurements.** Health Phys. 61, 539-542.
- Radford, F. P.; Clair, R. G. and Cair, S. R. (1984): **Lung cancer in Swedish iron miners exposed to low doses of radon daughters.** National England Journal of Medicine, 310, pp. 1485-1494.
- Radiation Protection Dosimetry (1991): **The Natural Radiation Environment.** Proceedings of the Fifth International Symposium on the Natural Radiation Environment, Salzburg, Austria.
- Rodenas Palomino, C. (1995): **Estudio de las fuentes de radiación natural en España. Estimación de dosis a la población.** Tesis Doctoral. Dpto. Física Aplicada. Facultad de Ciencias. Universidad de Cantabria.
- Ronca-Battista, M.; Magno, P.; Nyberg, P. (1988): **Standard measurement techniques and strategies for indoor ²²²Rn measurements.** Health Phys. 55, pp. 67-69.
- Samet, J. M. and Nero, A. V. (1989): **Indoor radon and lung cancer.** National England Journal of Medicine. 320, pp. 591-598.
- Samet, J. M. (1990): **Radon and lung cancer: The BEIR IV report.** Health Physics. 59, pp. 89-97.
- Samet, J.; Stolwijk, J. and Rose, S. (1991): **Summary: International workshop on residential radon epidemiology.** Health Physics. 60, pp. 223-227.
- Soler, V.; Carracedo, J. C.; Coello, J.; Martín, C.; Nuez, J. de la; Badiola, E. R.; Pérez, N. M. (1992): **Medidas de radón en galerías y su posible relación con el volcanismo activo de Tenerife, Islas Canarias.** Actas de las Sesiones Científicas. III Congreso Geológico de España. Salamanca, 1992. Tomo I. pp. 477-480. Madrid. Soc. Geol. Esp.
- Siotis, I.; Wrixton, A. D. (1984): **Radiological consequences of the use of fly ash in building materials in Greece.** Radiat. Prot. Dosim. 7, pp. 101-105.
- Suárez Mahou, E. & Fernández Amigot, J. A. (1996): **El Proyecto Marna.** Revista de la Sociedad Nuclear Española. Octubre.
- Suárez Mahou, E.; Fernández Amigot, J. A. (1996): **El mapa de radioactividad natural de España.** Estratos nº 41. Otoño-96.
- Suárez Mahou, E.; Fernández Amigot, J. A.; Botas Medina, J. (1997): **El proyecto Marna.** Industria Minera, nº 330. Agosto.
- Tanner, A. B. (1964): **Radon migration in the ground: a review.** The Natural Radiation Environment, University of Chicago Press, Chicago, Ill. 1964 (pp. 161-190); 1980, **Radon migration in the ground: a supplementary review.** Natural Radiation Environment III, (U.S. Department of Energy Report CONF-780422), National Technical Information Service, Springfield, Va. (vol. 1, pp. 5-56).
- Tanner, A. B. (1986): **Geological factors that influence radon availability.** Pittsburg, Pa., Air Pollution Control Assn., P.O. Box 2861, Pittsburgh, PA 15230, Publication SP-54, pp. 1-12.
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Sources, effects and risks ionizing radiations (1989): **1988 report to the General Assembly with annexes.** New York.
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Sources and effects of ionizing radiations (1993): **1993 report to the General Assembly with annexes.** New York.
- Van de Lugt, G.; Scholten, L. C. (1985): **Radon emanation from concrete and the influence of using fly ash in cement.** Sci. Total Environment. 45, pp. 143-150.
- White, S. B.; Bergsten, J. W.; Alexander, B. V.; Rodman, N. F.; Philips, J. L. (1992): **Indoor ²²²Rn concentrations in a probability sample of 43,000 houses across 30 states.** Health Phys. 62, pp. 41-50.
- Whittemore, A. S. and McMillan, A. (1983): **Lung cancer mortality among US uranium miners: A reappraisal.** Journal of National Cancer Institute, 71, pp. 489-499.
- Wilkening, M. W. (1990): **Radon in the Environment.** Ed. Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam.
- Worm, R. (1986): **Das gaskinetische verhalten von radon unter dem einfluss von bodenwasser in lockergesteinen ueber verdeckten uranvorkommen.** TH. DOKT. GEOWISS., BERLIN.
- Wrixon, A. D.; Green, B. M. R.; Lomas, P. R. et al. (1988): **Natural radiation exposure in UK dwellings.** Chilton, NRPB-R190 (London, HMSO).

Videos sobre radón y otros gases de la edición americana

- H₂S: The Unexpected - How to Work Safely Around Hydrogen Sulfide:** undated, 28 min, Gulf Publishing Co. Video Publishing, 3301 Allen Parkway, Houston, TX 77019-1896, (713) 529-4301.
- Radon:** 1989, 26 min, Films for the Humanities and Sciences, 743 Alexander Road, Princeton, NJ 08540, (609) 452-1128.
- Radon - a Homeowners Guide E:** 1989, 25 minutes, Atlas Video, 4915 St. Elmo Ave., Suite 305, Bethesda, MD 20814, (301) 907-0030.

Parte III - Riesgos derivados de los Procesos Geológicos

La parte III contiene los capítulos sobre terremotos, volcanes, deslizamientos, subsidencia, inundaciones y riesgos costeros, riesgos que resultan de los procesos dinámicos que caracterizan nuestro planeta. Cada capítulo detalla la distribución del riesgo, su naturaleza a lo largo del tiempo geológico, los métodos de medida o cuantificación de la

severidad de un riesgo donde sea pertinente, los peligros impuestos por el riesgo, los métodos de reducción de pérdidas derivadas del riesgo, y el papel de los geólogos en la mitigación de los riesgos. Cada capítulo termina con una extensa lista de referencias bibliográficas, incluyendo listas de videos disponibles sobre riesgos específicos.

TERREMOTOS

En áreas densamente pobladas en las que no se han tomado precauciones mediante normas constructivas, un solo terremoto se ha cobrado más de 100.000 vidas en menos tiempo del que le costará a usted leer esta página. Desde 1884 se han producido unos 30 terremotos mayores en los Estados Unidos, que han producido daños económicos significativos y pérdidas de vidas. Sólo el terremoto de Loma Prieta de 1989 produjo unos 6.000 millones de dólares en daños. Las pérdidas se minimizan mediante la zonificación de los usos del suelo y la realización de proyectos de ingeniería que tengan en cuenta la geología. En España se han producido grandes terremotos destructivos a lo largo de su historia, lo que implica que el riesgo sísmico constituye una realidad presente a tomar en cuenta desde el punto de vista de los proyectos constructivos, de la planificación y de la protección civil.



Antiguo edificio de comunicaciones de cinco plantas en Spitak, Armenia. Este colapso es típico de edificios construidos sin sujeciones adecuadas entre pisos y muros. Durante la vibración, los pisos se hunden a lo largo de los muros verticales y no dejan espacio libre en el que las víctimas puedan sobrevivir. Los hospitales de esta zona se construyeron de la misma forma, y su colapso mató a una gran parte del personal médico. El terremoto de Armenia dejó 25.000 muertos, 15.000 heridos y cerca de medio millón de personas sin hogar. Las pérdidas fueron de más de 14.000 millones de dólares americanos. (Foto de C. J. Langner, USGS).

Intensidad y magnitud de los terremotos

La energía bruscamente liberada durante un gran terremoto produce una experiencia aterradora. Esta energía se describe en términos de su magnitud y su intensidad. El terremoto de Alaska de 1964 (magnitud 9.2) liberó tanta energía como la que producirían 25.000 bombas atómicas del tamaño de la que destruyó Hiroshima en 1945.

La **Escala de Magnitud de Richter**, ideada en el Instituto de Tecnología de California en 1934 por el Dr. Charles F. Richter, expresa el cálculo de energía que libera un terremoto. La magnitud de Richter está basada en una escala logarítmica en la que cada grado entero de la escala representa un incremento de diez veces en la amplitud de la traza de la onda sísmica. Una magnitud de 1 en la escala de Richter representa la energía liberada en una detonación de alrededor de 170 gramos de TNT, mientras que un terremoto con una magnitud de 8 representa la energía equivalente a la que libera una explosión de unos 6 millones de toneladas de TNT. Los terremotos que se registran por encima de 7 se considera que son terremotos "mayores"; los que lo hacen por encima de 8 son llamados "grandes" terremotos.

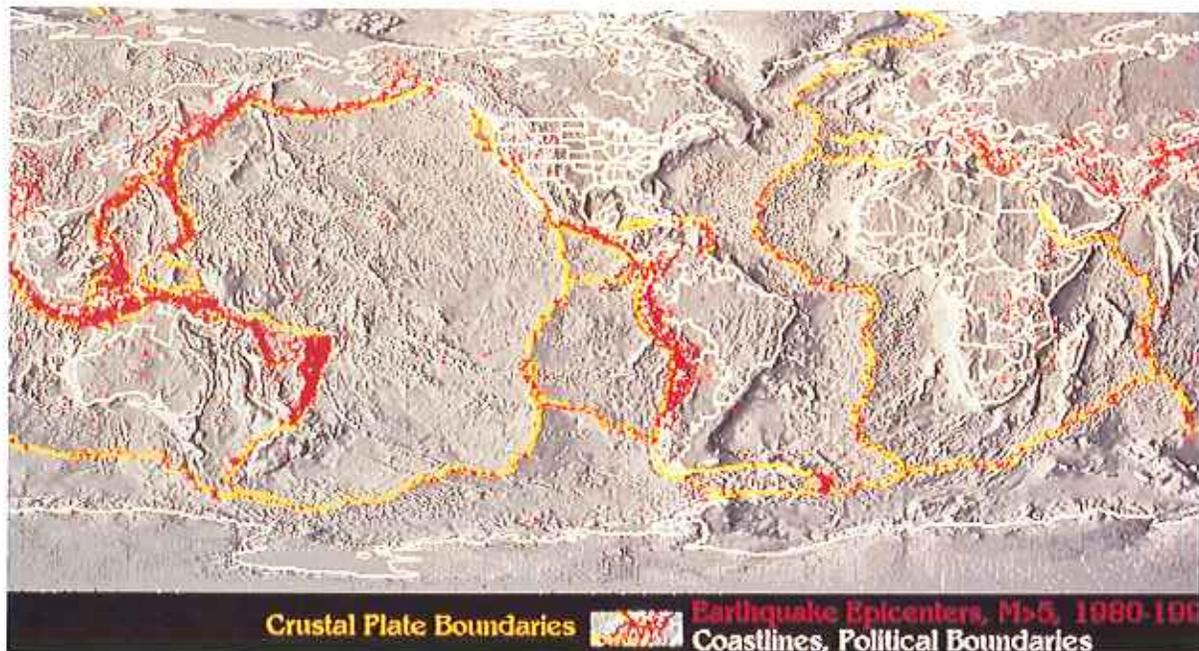
Otra escala, la **Escala de Intensidad de Mercalli**, desarrollada en 1902 por el geólogo italiano Giuseppe Mercalli, emplea observaciones de los efectos de los terremotos sobre las estructuras hechas por el hombre, y es una expresión de la intensidad más fácilmente comprensible para los no científicos. La escala de Mercalli, según la modificación de 1931, se expresa



ESCALAS DE CLASIFICACION DE TERREMOTOS COMPARADAS EN FUNCION DE LA ENERGIA LIBERADA Y LOS DAÑOS OBSERVADOS

MAGNITUD RICHTER	INTENSIDAD MERCALLI	ENERGIA EQUIVALENTE EN PESO DE TNT	OBSERVACIONES DE TESTIGOS
hasta 3	I - II	menos de 181,4 kg	difícilmente perceptible
3 - 4	II - III	hasta 6 toneladas	se siente una vibración como la de un camión cercano
> 4 - 5	IV - V	hasta 200 toneladas	pequeños objetos se vuelcan, gente durmiendo se despierta
> 5 - 6	VI - VII	hasta 6.270 toneladas	dificultad para mantenerse en pie; daños en construcciones de ladrillo
> 6 - 7	VII - VIII	hasta 100.000 toneladas	pánico general; cae algún muro
> 7 - 8	IX - XI	hasta 6.270.000 toneladas	destrucción masiva, grandes deslizamientos
8 - 9	XI - XII	hasta 200.000.000 toneladas	destrucción total; se ven ondas en la superficie del suelo

Modificado de Petak y Atkinson (1982) y el Boletín de Información de Terremotos (1974, Sept.-Oct.)



Mapa mundi del relieve elaborado por ordenador mostrando los límites de las placas litosféricas (amarillo) y los epicentros de terremotos de intensidad Mercalli superior a 5 (rojo) (grandes terremotos) desde 1980 a 1990. (Imagen producida por el Centro Nacional de Datos Geofísicos de Estados Unidos).

mediante números romanos desde "I" a "XII". Un grado "I" raramente se siente; un grado "V" se siente fácilmente, con pequeños objetos tales como vasos volcándose o cayendo de los estantes. Uno de "XII" da lugar a graves daños en casi todas las estructuras.

Distribución de los terremotos

Sabemos que la litosfera del planeta, la capa externa de roca con un espesor medio de 100 km, no es una "piel" continua, sino que, por el contrario, es como un rompecabezas, con verdaderos trozos de litosfera llamadas **placas**. A diferencia de las piezas de un rompecabezas, las placas se mueven. El movimiento de las placas se debe a desplazamientos en la capa inmediatamente más profunda de la tierra (la astenosfera) sobre la que se apoya a la litosfera. Las placas se mueven solamente, poco más o menos, a la velocidad a la cual crecen sus uñas, pero en todo caso se requiere una energía enorme para mover tan inmensas masas de roca.

En el tiempo geológico el movimiento no es uniforme y constante. Por el contrario, el movimiento es espasmódico, con las placas chocando una contra otra durante algún tiempo, hasta que se acumula suficiente energía como para vencer el rozamiento que las bloquea, y se produce un movimiento repentino. **Terremoto** es el vocablo para designar un evento en el que el suelo tiembla y vibra durante la brusca liberación del esfuerzo acu-



En esta vista aérea se muestra la falla de San Andrés de California como una incisión lineal que separa la llanura Carrizo (izquierda) de la Sierra Temblor. (Foto de R.E. Wallace, USGS).

PRINCIPALES TERREMOTOS CATASTROFICOS EN EL MUNDO

AÑO	MAGNITUD RICHTER	LOCALIZACION	NUMERO APROXIMADO DE MUERTES
365	desconocida	Creta y Grecia	50.000
526	desconocida	Arca de Siria	250.000
893	desconocida	India	180.000
1138	desconocida	Siria	100.000
1293	desconocida	Japón	30.000
1455	desconocida	Italia	40.000
1556	desconocida	Shaanxi, China	830.000
1667	desconocida	Caucasia	80.000
1693	desconocida	Sicilia	60.000
1737	desconocida	Calcuta, India	300.000
1755	8,7	Lisboa, Portugal	60.000
1783	desconocida	Italia	50.000
1797	desconocida	Ecuador	41.000
1868	desconocida	Ecuador y Colombia	70.000
1908	7,5	Sur de Italia	58.000
1915	7,5	Italia central	32.000
1920	8,6	Kansu, China	200.000
1923	8,3	Yokohama, Japón	103.000
1927	8,3	Nan-Shan, China	200.000
1932	7,6	Kansou, China	70.000
1935	7,5	Norte de la India	60.000
1939	7,8	Chile	40.000
1939	7,9	Erzincan, Turquía	23.000
1949	7,3	Pelileo, Ecuador	6.000
1960	5,8	Agadir, Marruecos	12.000
1970	7,7	Chimbote, Perú	67.000
1976	8,0	Tangshan, China	242.000
1976	7,5	Guatemala	23.000
1978	7,7	Norte de Irán	25.000
1985	8,1	Ciudad de Méjico	9.500
1988	6,8	Armenia	25.000
1990	7,7	Norocste de Irán	40.000

Las víctimas dadas aquí incluyen las de los incendios, deslizamientos y tsunamis asociados. Los datos provienen principalmente de Gere y Shah, 1984, *Terra Non Firma* y la Oficina de Asistencia a Catástrofes en el Extranjero, 1992, *Historia de los Desastres*.

mulado. Los grandes esfuerzos en los límites de placa producen numerosas fracturas a lo largo de las cuales se producen movimientos repetidamente. Tales fracturas se llaman **fallas**, y las fallas a lo largo de las cuales se ha percibido movimiento en tiempos históricos se llaman **fallas activas**. Casi todos los terremotos ocurren a partir de procesos en los que los esfuerzos naturales son liberados a lo largo de grandes fallas. Sin embargo, en casos muy raros, se han producido pequeños terremotos como consecuencia de actividades humanas, tales como la inyección de fluidos en el subsuelo cerca de Denver, Colorado, en 1962 o el llenado de grandes embalses, como el Embalse de Koyna, en la India, en 1967. En

estos casos, el esfuerzo inducido por la actividad humana hace desplazarse a las rocas a lo largo de **diaclasas** (fracturas naturales en las rocas que no han experimentado anteriormente desplazamiento), generándose como consecuencia terremotos.

La génesis de terremotos y el concepto de Tiempo Geológico

Los terremotos son uno de los pocos riesgos geológicos que raramente avisan con tiempo suficiente como para permitir la evacuación o la reubicación de la

población. Los mayores problemas en relación con los terremotos residen en su prevención y predicción. Si los terremotos ocurrieran periódicamente, a intervalos regulares de tiempo, serían fáciles de predecir. Desgraciadamente los terremotos no ocurren con regularidad. Donde los terremotos ocurren frecuentemente, tal como ocurre en California y Japón, son fáciles de anticipar (por ejemplo, sabemos que se producirán uno o más en los próximos pocos años), pero no es posible predecirlos (ésto es, nadie sabe en qué día o incluso en qué año ocurrirán).

En el este y medio-oeste de los Estados Unidos, los terremotos no están asociados a límites de placa sino que, por el contrario, ocurren a lo largo de fallas profundas dentro de la placa de Norteamérica. Aparentemente estas fallas están fuertemente trabadas porque los temblores son poco frecuentes. Cuando la energía no se libera en series de temblores frecuentes, esta energía se acumula con el tiempo hasta que inmensas cantidades de la misma son liberadas en un único terremoto. Tales terremotos se distinguen por su tamaño y poder destructivo y debido a que ocurren con poca frecuencia, una vez cada pocas décadas o quizás siglos, son difíciles de prever y, mucho menos, de predecir.

El dominio de la corteza de nuestro planeta es activo, y el millón aproximado de terremotos que ocurren cada año atestiguan su naturaleza dinámica. Un 99% de este millón de terremotos no representa peligro, y son únicamente conocidos a través de la respuesta que producen en los sensibles instrumentos de los sismólogos. No obstante, cada año ocurren cerca de 100 terremotos que son capaces de producir graves daños.

Los peligros de los terremotos

Extrañamente la liberación de toda esta energía bajo la superficie del planeta entraña poco peligro directo a las personas. Los seres humanos no son "sacudidos hasta morir" por los terremotos, y las descripciones cinematográficas que muestran a víctimas aterrorizadas, forcejeando y cayendo en ardientes abismos sin fondo, son meras representaciones con el entretenimiento como único atenuante.

Los mayores peligros proceden de la interacción de las vibraciones del terremoto y las propias estructuras hechas por el hombre. Son muy reales los peligros de ser aplastados en edificios que caen, ser quemado en incendios que estallan a partir de roturas de conducciones de gas o depósitos de combustible, ser arrastrado o ahogado en una inundación por rotura de una presa, o ser enterrado bajo un deslizamiento inducido por un terremoto. Casi cada 20 años acontece un terremoto individual que arrebató alrededor de 100.000 vidas. Un terremoto en China, en 1556, mató a más de tres cuartos de millón de personas.

El riesgo suscitado por un terremoto particular dependerá en parte de su localización y de su intensidad. Cuando la roca sometida a esfuerzo rompe, el violento reajuste envía ondas de choque que irradian hacia afuera desde la zona alrededor del punto de rotura o foco (usualmente a varios kilómetros de profundidad). Para un observador sobre el suelo las vibraciones de la onda de choque se mueven como ondas, como las rizaduras que irradian en círculos hacia afuera cuando se



Fotografía de 1886 del terremoto de Charleston, Carolina del Sur, tomada a lo largo de la calle East Bay. Debido a la poca frecuencia con que los mayores terremotos ocurren lejos de los límites de placa, muchos propietarios no comprenden que están expuestos a riesgos y no tienen seguros contra daños sísmicos. Este tipo de terremotos, lejos de los límites de placa, son análogos a los que han afectado, durante 1996 y 1997 al triángulo Triacastela-Becerreá-Sarriá en Lugo (Galicia) con gran alarma de la población. (Foto de J.K. Hillers; Fotobiblioteca del USGS, Denver, CO).



Los daños por tsunamis, muy por encima de la línea de costa, se manifiestan por los árboles quebrados cerca del borde de este acantilado costero de Alaska. Este tsunami fue generado por el terremoto de 1964 cerca de Anchorage. (Foto de la Fotobiblioteca del USGS, Denver, CO).

arroja una piedra sobre un depósito de agua estancada. El **epicentro** es el punto en la superficie del terreno situado directamente encima del punto de origen o foco. En general, las vibraciones se sentirán menos fuertemente cuanto más alejado esté un observador del epicentro.

Los terremotos causan daños de cuatro maneras:

1. **Sacudida del suelo.** La sacudida del suelo es generalmente la causa directa de los daños más graves. Edificios públicos atestados de gente, que no pueden ser evacuados rápidamente, tales como iglesias, escuelas y hospitales, pueden colapsar durante la sacudida del suelo y dar lugar a enormes pérdidas de vidas. Un ejemplo es el colapso del hospital de veteranos en Sylmar, California, en 1971, que mató a 45 personas.

2. **Rotura superficial.** La rotura superficial es el desplazamiento horizontal o vertical de la superficie del suelo a lo largo de una estrecha zona de falla. Aunque afecta a un área mucho más reducida, si se compara con lo que produce la sacudida del suelo,

puede dañar severamente las estructuras localizadas al lado de las fallas. Los daños derivados de la rotura superficial fueron particularmente graves en el terremoto de San Fernando de 1971, en California.

3. **Fallo del suelo.** El fallo del suelo es una causa indirecta de daño, pero puede ser muy extenso y producir alguna de las más devastadoras pérdidas de vidas. Se pueden desarrollar fisuras (fracturas abiertas) en ciertos suelos durante terremotos mayores, debido a la sacudida del suelo, pero la mayor parte de estas fisuras son superficiales. Las posibilidades de ser "tragado" por una fisura, como se muestra en las escenas cinematográficas de *Shogun* o *El Clan del Oso Cavernario*, corren parejas con la suerte de un vegetariano atragantándose con una espina hasta morir. Sin embargo, se produce un peligro extremo cuando un terremoto da lugar a deslizamientos y coladas de barro. Entonces, ser enterrado vivo es una posibilidad real. La vibración de un terremoto origina el flujo de suelos sensibles. Algunos incluso se licuefactan al colapsar los granos de suelo y liberarse agua de los poros microscópicos. Las estructuras construidas sobre suelos sensibles colapsan y se hunden. Los deslizamientos inducidos por terremotos en China durante 1920 mataron alrede-

dor de 100.000 personas. En Granada, debido al carácter licuefactable de las arenas de su vega, se pueden producir fallos en el suelo, si se produce un terremoto mayor, que serían los causantes de la mayoría de las pérdidas personales y económicas.

4. **Tsunamis.** Los Tsunamis son olas oceánicas producidas por terremotos, erupciones volcánicas o grandes deslizamientos (ver el capítulo de riesgos costeros). Estas olas pueden barrer la costa, causando daños en puntos a miles de kilómetros del epicentro. Olas similares se pueden producir dentro de espacios de agua cerrados o restringidos, tales como lagos y embalses. Los daños pueden ser graves cuando las olas sobrepasan la línea de costa, o desbordan presas, permitiendo que sean inundadas áreas situadas aguas abajo. En Valdez, Alaska, se perdieron 81 vidas en 1964 como resultado del tsunami producido por un terremoto. En Cádiz el maremoto de 1755 causó más de mil muertos, como resultado del terremoto de Lisboa, que produjo olas de 20 a 27 metros.

El riesgo sísmico en España

A pesar de que no se puede comparar con lo que ocurre en las zonas sísmicas muy activas del planeta, como por ejemplo en Japón, California o Irán, España se sitúa en una región mediterránea en la que existe un grado relativamente importante de actividad sísmica. A lo largo de la Historia se han producido en España terremotos destructivos que han dado lugar tanto a grandes pérdidas de vidas como a daños en edificios y viviendas. El catálogo sísmico oficial del Instituto Geográfico Nacional, que incluye terremotos históricos desde el año 300 antes de Cristo y terremotos instrumentales, muestra que, como media, al menos cada 100 ó 150 años se da un terremoto destructivo, sentido en el epicentro con intensidad IX o X.

El último gran terremoto destructivo se dio en la región de Granada en el año 1884, produciendo entre 750 y 900 víctimas mortales y cuantiosos daños en edificios de varias poblaciones de Granada y Málaga, y las pérdidas no fueron mayores porque la densidad de población en esa región era entonces muy baja. Este terremoto interesó vivamente a nivel internacional y dio lugar, para paliar los daños, a una serie de ayudas, procedentes tanto de España como de otros muchos países, que alcanzaron los 10 millones de pesetas de entonces. Las pérdidas reales debieron llegar a los 18 millones de pesetas. En España se perciben además otros terremotos próximos que se producen tanto en territorio portugués como en el océano. Uno de estos últimos, el terremoto de Lisboa de 1775, que se sintió en prácticamente toda

la Península, está considerado como el terremoto de mayor magnitud conocido (8,6 en la escala de Richter) y produjo un tsunami que afectó, además de a Lisboa, a las costas españolas del SW (Golfo de Cádiz).

La distribución de la sismicidad generada en España está lejos de ser homogénea de tal forma que se concentra en el sur y sureste (Andalucía y Murcia), en la región del Pirineo y en la zona costera de Cataluña. Excepto un par de terremotos profundos en la región de Granada, los focos en todos los terremotos de España son superficiales y se pueden considerar intraplaca. Toda esta sismicidad es expresión de la situación geodinámica de la Península Ibérica, inmediatamente al lado del límite entre las placas litosféricas de Eurasia y África. Estas dos placas se están aproximando una hacia la otra desde la era Terciaria, produciendo el choque entre ambas masas continentales. En este choque de continentes se formaron las cordilleras de los Pirineos y de las Béticas, los mayores relieves de la Península, dejando en medio un área menos deformada que constituye la Meseta. La velocidad actual de este movimiento de aproximación es de unos 2 cm al año y esto da lugar a un esfuerzo de compresión que se orienta según la dirección NNW-SSE. Ante esta compresión se están moviendo actualmente una serie de fallas de la corteza terrestre cuya distribución depende de la historia geológica previa. Estas fallas activas se concentran en aquellas áreas geológicas donde la deformación en la era Terciaria fue mayor y donde la distancia al límite con la placa africana es menor y esto explica que el riesgo de terremotos sea



Dstrucción de edificios en Arenas de Rey (Granada), en el terremoto de Andalucía de 25 de Diciembre de 1884. Escenas de destrucción como éstas indican que en España, como en otros países del Mediterráneo, el riesgo sísmico no puede olvidarse a la hora de la planificación territorial y de la protección civil. (Tomado de la colección de diapositivas de "Los Riesgos Geológicos", Instituto Tecnológico y Geominero de España).



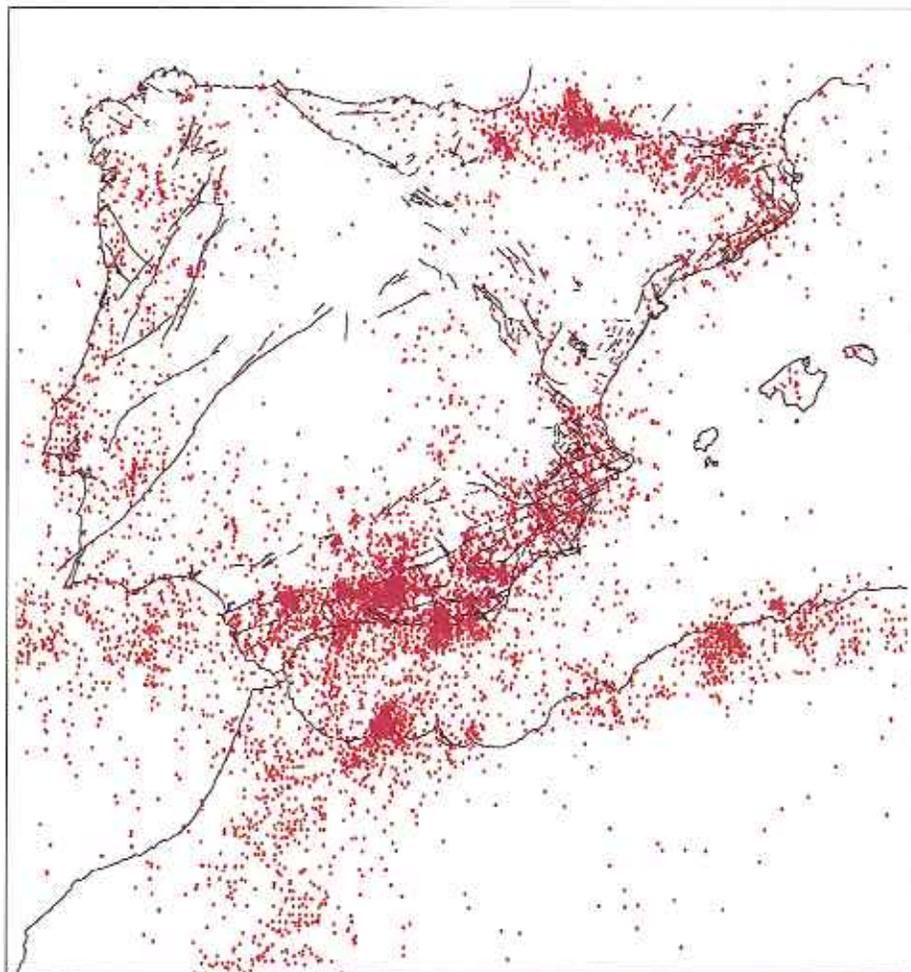
Terremotos históricos destructivos en España, sentidos con intensidad IX o mayor en el epicentro. Los números corresponden a los de la tabla siguiente.

mayor en las zonas donde se sitúan las dos grandes cordilleras alpinas. Sin embargo, se dan también terremotos en áreas más estables, como en Galicia o en la región del Sistema Ibérico. En realidad la mayor diferencia entre las fallas de estas zonas "estables" y las de las zonas más sísmicas es la velocidad de deformación. En las zonas más estables son del orden de 0,5 a 0,05 mm/año, con lo que terremotos de grado 6 se producirían con periodos de recurrencia del orden de 1.000 a 10.000 años. Nuevamente el concepto de tiempo geológico nos dice que lo que parece estable a escala de una vida humana no lo es tanto si consideramos otra medida temporal.

Los tipos de daños observados en los terremotos destructivos históricos en España indican que no sólo la sacudida del suelo puede producir caída de edificios, si no que incluso las condiciones geológicas locales facilitan otros fenómenos, como son la formación de grietas en el suelo, el colapso por licuefacción y la inducción de deslizamientos de ladera y desprendi-

TERREMOTOS EN ESPAÑA SENTIDOS CON INTENSIDAD IX O MAYOR EN EL EPICENTRO

Año	Epicentro	Intensidad	Magnitud	Muertos/Comentarios
1396	1.-Tavernes (Valencia)	IX		Fortalezas y puentes hundidos, centenares de casas destruidas, desprendimientos, grietas, surgencias
1428	2.- Queralps (Gerona)	IX-X		800 / Daños importantes en iglesias y castillos, muchas viviendas dañadas, grandes grietas en suelo
1431	3.- Atarfe (Granada)	IX		Se cuartejan torres y mezquitas, cae parte del muro de la Alhambra
1504	4.- Carmona (Sevilla)	IX		100 / Destrucción en murallas, hundimiento de bóvedas de templos, daños en muchas casas, deslizamientos, grietas, cambio en régimen de aguas
1518	5.- Vera (Almería)	IX-X		Destrucción de toda la ciudad, se reconstruye en otro emplazamiento, daños en fortalezas
1522	6.- Almería	IX		Mas de 2500/Almería completamente destruída, devastadas 80 poblaciones, puerto arruinado, tsunami, considerado tan importante como el de Lisboa
1680	7.- Málaga	IX	6,8 - 7,4	Solo en Málaga 200 muertos y 250 heridos/Destrucción alcazaba, 852 casas destruídas y 1250 dañadas
1804	8.- Dalías (Almería)	IX		150-200 / Hundidas iglesias y torres de fortalezas, varios centenares de casas destruídas, réplicas durante siete meses
1829	9.- Torrevieja (Alicante)	X	6,9	399 muertos, 388 heridos / unas 2900 casas destruidas y más de 2000 dañadas. Meses con réplicas, grietas en suelo y cambios en régimen de aguas
1884	10.- Arenas de Rey (Granada)	IX	6,5 - 6,7	750-900 muertos, unos 2000 heridos / unas 1000 casas destruídas y unas 17000 dañadas. Deslizamientos, grietas, licuefacción, alteración en aguas, réplicas fuertes durante un año



Mapa de epicentros mostrando la distribución de la sismicidad en la Península Ibérica y el norte de África. La actividad sísmica se concentra en el límite entre las placas euroasiática y africana, donde se localiza la cordillera héctica, y en el antiguo límite de placas donde se sitúa el Pirineo. (datos del catálogo de la sismicidad del área Ibero-magrebí del Instituto Geográfico Nacional de España).

mientos de grandes bloques de roca, con efectos destructivos sobre edificios y sobre estructuras y edificaciones cimentadas en terrenos sensibles. Se han descrito también emanaciones de gases y alteraciones en el régimen de aguas subterráneas y superficiales, como formación de surgencias, enturbiamiento en pozos y manantiales y cambios de caudal. Estos fenómenos explican que en el registro histórico se haya dado varias veces la destrucción casi total de poblaciones, que en algunos casos han debido ser reconstruidas en otro emplazamiento próximo.

La reducción de los daños por terremotos

Una media de 10.000 personas mueren cada año en todo el mundo a causa de los terremotos. Se prevé que un terremoto mayor en el norte de California, producirá varios miles de muertes y cerca de 40.000 millones de dólares en daños. Un consorcio de seguros llamado "El Proyecto Terremoto" estima que,

para un terremoto mayor a lo largo de la falla Newport-Inglewood, en el sur de California, las pérdidas en indemnizaciones, incluyendo los incendios que siguen al terremoto, las compensaciones a los trabajadores y las responsabilidades generales, podrían sobrepasar los 50.000 millones de dólares. El terremoto de Loma Prieta produjo unos 6.000 millones de dólares en daños, pero el daño afectando a propiedad asegurada se calculó únicamente en el 16 % del total de estas pérdidas. Es obvio que muchos propietarios no estaban asegurados contra este riesgo. Otro gran terremoto en el medio-oeste, noreste o la costa de Carolina, donde no existen ni normas constructivas sismorresistentes comparables ni planes sobre catástrofes, podrían ser posiblemente incluso más devastadores. En España las futuras pérdidas probables por terremotos hasta el año 2016 se han estimado en unos 84.784 millones de pesetas, utilizando una hipótesis de riesgo medio. La cobertura de estos riesgos en nuestro se contempla en la descripción del sistema español de cobertura de catástrofes naturales, en la Parte IV.

Es posible reducir significativamente los daños a estructuras y las pérdidas de vidas mediante las siguientes medidas:

1. Requerir que los edificios se sitúen a distancias específicas de las fallas activas conocidas.
2. Restringir el uso del suelo en áreas con formaciones proclives al deslizamiento o al asentamiento.
3. Poner en vigor requerimientos rigurosos para los emplazamientos y proyectos.
4. Incorporar diseños constructivos que resistan las sacudidas del suelo.
5. Reforzar las estructuras existentes para resistir las sacudidas del suelo.
6. Animar a la reducción efectiva de los daños mediante la planificación fiscal.
7. Fomentar la contratación de cobertura aseguradora de daños en los bienes (para daños materiales) o de seguro de accidentes (para daños personales), para así tener derecho a la indemnización en caso de catástrofes, al menos en los términos que, como mínimos obligatorios, establece el sistema de cobertura de catástrofes naturales en España (ver Parte IV).
8. Proporcionar incentivos fiscales para usos del suelo que sean compatibles con los riesgos existentes.
9. Educar al público su propia protección y la de sus propiedades.



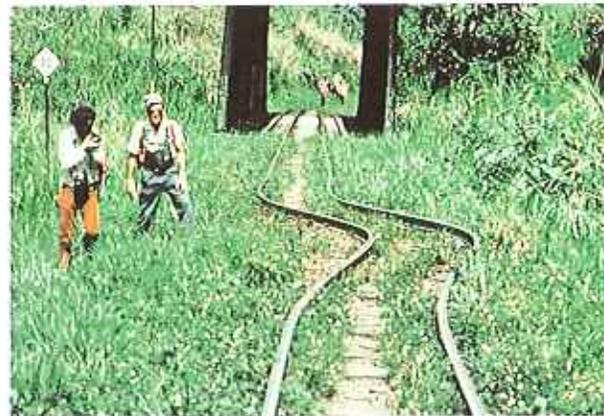
Victima de las sacudidas del suelo, una iglesia armenia de sillería yace en ruinas tras el terremoto de 1988. Techos con sostenimiento deficiente en tales edificios públicos son responsables de grandes pérdidas de vidas en un único lugar. (Foto de C. L. Langcr, USGS).



Agrietamiento del suelo en el terremoto de Guatemala de 1976. (Foto de la Fotobiblioteca del USGS, Denver, CO).

El papel del geólogo en la reducción de los riesgos por terremotos

En el seguimiento regional. Los geólogos están involucrados en los niveles regional y local. A nivel regional, los geólogos siguen los terremotos a través de una red mundial de estaciones sísmicas que están unidas a bancos centrales de información vía ordenador. Cuando un terremoto ocurre en cualquier parte del mundo, inmediatamente se calcula y se registra, en la base de datos, su intensidad, profundidad y localización del epicentro. Esta



Línea de ferrocarril en Guatemala desplazada por rotura superficial. (Foto de la Fotobiblioteca del USGS, Denver, CO).

información se puede entonces utilizar para determinar si un terremoto es la causa probable de un desastre específico, tal como un deslizamiento o el colapso de una estructura. Aún más, la red sísmica permite la identificación de terremotos particularmente grandes que pueden producir tsunamis y proporciona tiempo suficiente para la preparación y evacuación de los habitantes a lo largo de áreas costeras que, de otra forma, estarían desprevenidos con respecto a su inmediato destino. En España estos datos de interés para el seguimiento se obtienen de forma continua en el servidor automático AUTODRM de la Red Sísmica Nacional del Instituto Geográfico Nacional y en los boletines provisionales mensuales.

En el servicio público. En conjunción con los registros históricos, la información sísmica se usa para levantar mapas de las condiciones geológicas que favorecen la ocurrencia de terremotos y los daños que éstos producen. Se han construido mapas de riesgo sísmico para el conjunto de los Estados Unidos y se están elaborando otros mapas más detallados para áreas locales. Los servicios públicos disponen de publicaciones sobre terremotos que van desde trípticos educativos para los niños, hasta publicaciones técnicas destinadas al uso de los ingenieros y otros profesionales. En España se han elaborado algunos mapas sismotectónicos, donde se

representan los principales datos para evaluar la actividad tectónica y sísmica, tanto para el conjunto del país como mapas neotectónicos y sismotectónicos para provincias específicas de alta sismicidad, como son las de Granada y de Murcia.

En la ingeniería. Para que las estructuras de ingeniería sean sismorresistentes se requiere una cartografía precisa de la geología bajo la estructura en su emplazamiento. Los geólogos están formados para identificar y cartografiar la distribución de los materiales geológicos. Ellos aplican este conocimiento a nivel local en la cartografía, muestreo y testificación de los materiales de la cimentación para trabajos de construcción, zonificación, gestión del uso del suelo y evaluación del riesgo. La Geología es de suma importancia para la ingeniería y la arquitectura en cualquier situación, pero especialmente en áreas sísmicas. Incluso cuando los proyectos de obras públicas y de edificación son de la más alta calidad, una estructura puede caer instantáneamente, con fatales consecuencias, si las condiciones geológicas han sido ignoradas o evaluadas incorrectamente. Los países que tienen frecuentes terremotos usualmente requieren que los geólogos realicen la investigación geológica. Muchos geólogos profesionales están empleados en empresas de ingeniería o trabajan como consultores independientes para tales



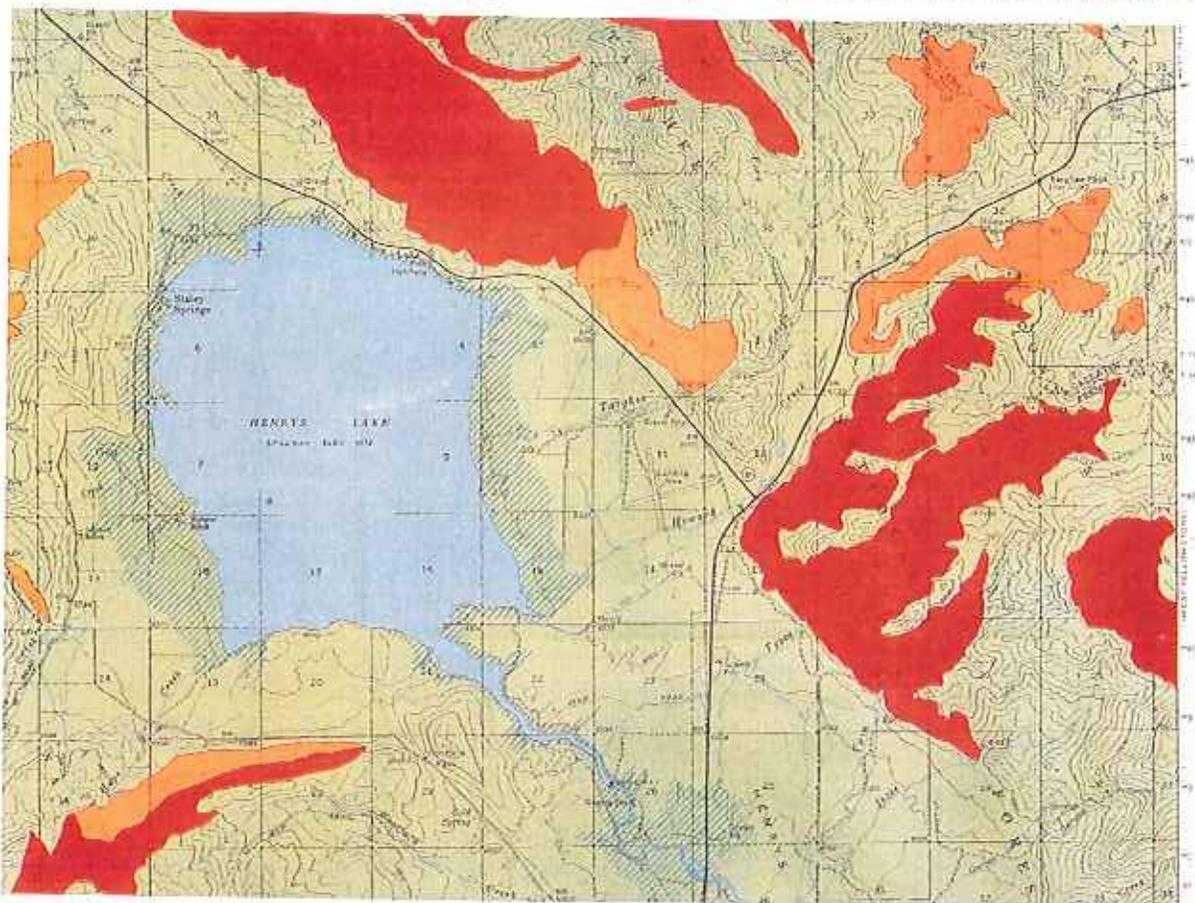
Deslizamiento de aproximadamente 3.000 metros cúbicos de material que yace en la base de un acantilado cerca de Fort Funston, California, después del terremoto de Loma Prieta de 1989. Tales deslizamientos a menudo bloquean vías de transporte e impiden el rescate y evacuación de personas. (Foto de D. M. Peterson, USGS).

empresas. En los proyectos de grandes obras, como presas, u otras instalaciones de alta seguridad los geólogos vienen participando con sus conocimientos tanto de los factores geológicos generales como en el análisis sismotectónico.

En la investigación. La predicción de terremotos constituye un campo particularmente fascinante y activo de la investigación geológica. El eventual desarrollo de un modelo fiable de predicción sísmica será un gran hito entre los logros científicos. Hasta la fecha sólo se han podido predecir unos pocos terremotos, tales como los de Blue Mountain Lake, en Nueva York, y Hsing-t'ai, en China. Aunque la predicción precisa de terremotos no es todavía posible, el estado actual del conocimiento permite a los geólogos delimitar la mayor parte de las áreas donde se puede anticipar que ocurrirán terremotos en las próximas décadas. En España los geólogos está desarrollando proyectos de

investigación financiados por entidades públicas diversas, dedicados tanto a la detección de fallas activas como a la caracterización de todos sus datos tectónicos y condicionantes geológicos, como son la velocidad de deformación, datación del último evento de deslizamiento sísmico, régimen tectónico y campos de esfuerzos e indicadores geomorfológicos de actividad.

En la educación. En California, donde los terremotos son evidentes, el público tiene un verdadero interés en tener conocimientos acerca de los terremotos. "¿Está usted preparado para el próximo Gran Terremoto?" fue un anuncio a todo color de tipo revista que recientemente fue puesto en 2,4 millones de periódicos en el área de San Francisco. Fue producido por el US Geological Survey e imprimido mediante fondos de la Cruz Roja Americana y el United Way. La respuesta del público fue extraordinaria y dio lugar a unas 700.000 peticiones de copias



Los mapas especiales que resaltan los riesgos geológicos son una de las principales contribuciones de los geólogos al trabajo de los planificadores e ingenieros. Arriba se puede ver una porción de uno de estos mapas elaborado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) para el área de Henrys Lake en Montana. Este mapa muestra áreas de riesgos relacionados con terremotos y que pueden ser evitados. En rojo y naranja se cartografían áreas donde los temblores sísmicos van probablemente a producir deslizamientos. El rayado azul, alrededor del borde del embalse, delinea terrenos que pueden ser inundados por olas generadas en el embalse por un terremoto. Los Estados Unidos va detrás de otras naciones en la provisión de mapas detallados para uso público.



Mapa sismotectónico de Granada. En este tipo de mapas se muestran los datos de la sismicidad y de los factores geológicos que la condicionan, y se utilizan en la realización de proyectos de obras públicas y de edificación y en la planificación territorial. (Tomado de la colección de diapositivas de "Los Riesgos Geológicos", Instituto Tecnológico y Geominero de España).

adicionales en las pocas semanas posteriores a la difusión de la publicación,

En muchas partes del país los ciudadanos que viven en áreas de peligro son generalmente desconocedores de la naturaleza del riesgo al que se enfrentan. Tal complacencia procede del largo intervalo de tiempo entre los terremotos mayores. Únicamente un pequeño porcentaje de propietarios norteamericanos fuera de California tienen seguros frente a terremotos y la mayor parte de las estructuras no están diseñadas para ser sísmorresistentes. Los riesgos geológicos no son tratados en la mayor parte de los cursos de ciencias de la Tierra en las escuelas. En términos de cultura sísmica, los ciudadanos de la mayor parte de las áreas de los Estados Unidos fuera de California no están advertidos de los peligros de los terremotos, no planifican o proyectan para el próximo e inevitable terremoto y no están en general preparados para tratar con este riesgo.

En España, a pesar de que la experiencia histórica y el contexto geológico nos dice que se han producido terremotos destructivos y que, con certeza, se van a producir en un futuro más o menos próximo, no existe una conciencia clara en la población

y en las autoridades de la realidad de este riesgo geológico. Pero la falta de terremotos sentidos con intensidad IX o mayor durante este siglo no constituye la norma general, pues cuando se revisa el catálogo sísmico en España se observa que, excepto en el siglo XVIII, lo normal es que se produzcan entre 1 y 3 cada siglo. El grado de divulgación de información acerca de las causas geológicas de la sismicidad, la sismicidad histórica, el riesgo sísmico en la propia comunidad o las medidas de protección, tanto física como de sus bienes y propiedades, es en general muy baja o nula. Los programas de enseñanza media no incluyen este riesgo geológico, tan importante en ciertas regiones más sísmicas, como Andalucía o Murcia, como parte de lo que se debe conocer del medio en el que la población se desenvuelve. Faltan además completamente folletos o publicaciones divulgativas acerca de este riesgo, del tipo de los que existen en California.

Adaptado para la edición española por Ramón Capote del Villar, Catedrático de Geodinámica de la Facultad de Geología de la Universidad Complutense de Madrid.



Edificio colapsado durante el terremoto de Loma Prieta de 1989 en el barrio de Marina de San Francisco. Este área estaba rellena de arena y material residual desde el terremoto de 1906. Tal relleno licuefacta y fluye ante la vibración; estructuras como éstas no deberían haber sido construidas nunca sobre tal material en un país sísmico. Nueve personas murieron en incendios y colapso de edificios en este distrito. Como en 1906, los incendios no pudieron ser combatidos con el abastecimiento de agua de la ciudad debido a que el desplazamiento del suelo por licuefacción rompió las conducciones de agua. (Foto del NOAA de D.Perkins, USGS).

Bibliografía sobre Terremotos de la edición americana

(*) Indica referencias bibliográficas especialmente adecuadas por educadores

- (*) American Geophysical Union, 1993, **Earthquake Curriculum Package**: AGU, 2000 Florida Avenue, N. W., Washington, DC 20009, (202) 462-6900. The exercises for grades 7-12 now being field tested in 1993 will be generally available in 1994.
- (*) American Red Cross, 1984, **Safety and survival in an earthquake**: Los Angeles, American Red Cross.
- American Society of Civil Engineers., 1976, **Liquefaction Problems in Geotechnical Engineering**: New York, Amer. Soc. Civil Engrs.
- Arkansas Earthquake Preparedness Program, 1990, **Home and family earthquake preparation guidebook**: P. O. Box 758, Conway, AR, 72032.
- (*) Arkinson, W., 1989, **The Next New Madrid Earthquake - A Survival Guide for the Midwest**: Carbondale, IL, Southern Il. Univ. Press, 210 p.
- Asada, T., (ed.), 1982, **Earthquake Prediction Techniques: Their Application in Japan**: Univ. Tokyo press.
- (*) Bay Area Regional Earthquake Preparedness Project, 1989, **Home buyers guide to earthquake hazards**: BARHPP, Matro Center, 101 8th St., Suite 152, Oakland, CA 94607, 13 p.
- Beavers, J. E., (ed.), 1981, **Earthquakes and Earthquake Engineering: Eastern United States**: Ann Arbor, MI, Ann Arbor Science Pub. 2 vols.
- Berlin, G. I., 1980, **Earthquakes and the Urban Environment**: Boca Raton, FL, CRC Press, 3 vol.
- Bertero, V. V., (ed.), 1989, **Lessons learned from the 1985 Mexico earthquake**: Earthquake Engineering Research Institute, 6431 Fairmount Ave. Suite 7. Lil Cerrito, CA 94530 3624.
- (*) Bolt, B. A., 1980, **Earthquakes and volcanoes: Readings from Scientific American**, San Francisco, CA, W. H. Freeman.
- (*) Bolt, B. A., 1988, **Earthquakes** (2nd ed.): New York, Freeman, Cooper & Co.
- (*) Bolt, B. A., Horn, W. L., Macdonald, G. A., and Scott, R. F., 1977, **Geological Hazards**: New York, Springer-Verlag.
- California Division of Mines and Geology, 1982, **Earthquake planning scenario for a magnitude 8.3 earthquake on the San Andreas Fault in the San Francisco Bay area**: Sacramento, CA, CDMG Special Pub. n. 62 (see also Special Pub. n. 60 for Southern California area).

- California Seismic Safety Commission, 1992, **Architectural Practice and Earthquake Hazards**: CASSC, 1900 K St., Suite 100, Sacramento, CA 95814.
- (*) California Seismic Safety Commission, 1992, **The Homeowner's Guide to Earthquake Safety**: CASSC, 1900 K St., Suite 100, Sacramento, CA 95814.
- (*) Canby, T. Y., 1973, **California's San Andreas Fault**: National Geographic, Jan, 1973, pp. 38-53.
- Cluff, L. S., 1983, **The impact of tectonics on the siting of critical facilities**: EOS, Trans. Amer. Geophysical Union, v. 64, p. 860.
- (*) Cohen, D., Menezes, D., and Tussy, R. G. (eds.), 1990, **Fifteen Seconds: The Great California Earthquake of 1989**: Covelo, CA, Island Press. Extensive collection of photos.
- Coulter, H. W., and Migliaccio, R. R., 1966, **Effects of the earthquake of March 27, 1964, at Valdez, Alaska**: U.S. Geol. Survey Prof. Paper 542-C, 36 p.
- Dunbar, P. K., Lockridge, P. A., and Whiteside, L. S., 1992, **Catalog of Significant Earthquakes, 2150 B.C. - 1991 A.D.**: Boulder, CO, NOAA Natl. Geophysical Data Center, 260 p.
- (*) Earthquake Engineering Research Center, 1991 - 1992, **Loma Prieta clearinghouse catalog**: EERC, 1301 South 46th St., Richmond, CA 94804-4698. Four issues through October, 1992, that are bibliographies of articles, slides, videos, photos and data from the Loma Prieta earthquake.
- Earthquake Engineering Research Center, 1989, **Annotated bibliography for urban and regional planners interested in reducing earthquake hazards**: EERI, 499 14th Street, Suite 320, Oakland, CA 94612, (510) 451-0905, 4 p.
- (*) Eckel, H., and others, 1970, **The Alaska earthquake, March 27, 1964, lessons and conclusions**: U.S. Geol. Survey Prof. Paper 546, 57 p.
- (*) Eiby, G. A., 1980, **Earthquakes**: New York, Van Nostrand Reinhold.
- (*) Engholm, C., 1989, **The Armenian Earthquake**: San Diego, CA, Lucent Books, World Disaster Series. Written in children's book format in narrative style.
- (*) Enserch Engineering and Construction, 1989, **Catastrophic earthquake: the federal response... a simulation of Washington's reaction to the inevitable Eastern U.S. earthquake**: Enserch & C, 1025 Connecticut Ave. N.W., Suite 1014, Washington, DC 20036, 62 p.
- (*) Evans, D. M., 1966, **Man-made earthquakes in Denver**: Geotimes, v. 10, pp. 11-18.
- (*) Federal Emergency Management Agency, 1985, **The home builder's guide for earthquake design**: Washington, Government Printing Office.
- (*) Gere, J. M., and Shah, H. C., 1984, **Terra Non Firma**: New York, W. H. Freeman
- (*) Goler, S., 1990, **World Seismicity 1979-1988**: Earthquake Information Center, U.S. Geol. Surv., Box 25046, Federal Center MS 967, Denver, CO, 80225. Beautiful large wall-sized poster-map that is as much a work of art as a technical or reference display.
- Gupta, H. K., and Rastogi, B. K., 1976, **Dams and earthquakes**: New York, Elsevier.
- (*) Hamilton, R. M., 1980, **Quakes along the Mississippi**: Natural History, v. 89, pp. 70-75.
- (*) Hamilton, R., and Johnson, A., 1990, **Tecumseh's prophecy: preparing for the next New Madrid earthquake**: U.S. Geol. Survey Circular 1066.
- (*) Hansen, G., and Condou, E., 1989, **Denial of Disaster: The Untold Story and Photographs of the San Francisco Earthquake and Fire of 1906**: San Francisco, Cameron and Co.
- Hauksson, E., 1992, **Seismicity, faults and earthquake potential in Los Angeles**: in *Engineering Geology Practice in Southern California*, Assoc. Engrg. Geologists Spec. Pub., Belmont, CA, Star Pub. Co., pp. 167-179.
- (*) House, J., and Steffens, B., 1989, **The San Francisco Earthquake**: San Diego, CA, Lucent Books, World Disaster Series. Written in children's book format in narrative style.
- (*) Jacopi, R., 1982, **Earthquake Country**: (revised ed.): Menlo Park, CA, A Sunset Book, Lane Books.
- Jahns, R. H., Page, B. M., and Howard, A. D., 1978, **Earthquakes and the environment**: in *Geology and Environmental Planning*, A. D. Howard and I. Remson (eds.), New York, McGraw-Hill, pp. 209-245.
- (*) Kimball, V., 1992, **Earthquake Ready: The Complete Preparedness Guide** (updated ed.): Malibu, CA, Roundtable Pub.
- Krinitsky, E. L., and Slemmons, D. B., (eds.), **Neotectonics in earthquake evaluation**: Geol. Soc. Amer. Reviews in Engineering Geol. 8., 160 p.
- Lecomte, E., 1989, **Earthquakes and the insurance industry**: Natural Hazards Observer, Univ. CO, Boulder, CO, v. 15, n. 2, pp. 1-2.
- Lindh, A. G., 1990, **Earthquake prediction: the seismic cycle pursued**: Nature, v. 348, pp. 580-581.
- Litan, R. B., 1991, **A national earthquake mitigation and insurance plan: response to market failures**: The Earthquake Project, Ten Winthrop Square, Boston, MA 02110 (617) 423-4620. Worthy reading—an argument for a national earthquake insurance program based on economics.
- Lomnitz, C., 1974, **Global Tectonics and Earthquake Risk**: New York, Elsevier.
- National Research Council, Panel on Regional Networks, 1990, **Assessing the Nation's Earthquakes**: Washington, DC, National Academy Press.
- Nichols, D. R., and Buchanan - Banks, J. M., 1974, **Seismic hazards and land - use planning**: U.S. Geol. Survey Circular 690, 33 p.
- Nuttli, O., 1973, **The Mississippi Valley Earthquake of 1811 and 1812**: Bull. Seism. Soc. Amer., v. 63, pp. 227-248.
- Olson, R. S., Podesta, B., and Nigg, J. M., 1989, **The politics of Earthquake Prediction**: Princeton Univ. Press.
- (*) Pakiser, Louis C., 1990, **Earthquakes**: One of series, «Popular Publications of the U.S. Geol. Survey» Obtain from Books and Open-File Reports Section, U.S. Geol. Survey, Denver, CO 80225, 20 p.
- Perkins, D. M., 1974, **Seismic risk maps**: Earthquake Info. Bull. U.S. Geol. Survey v. 6, n. 6, pp. 10-15.
- Pitak, W. J., 1982, **Natural Hazard Risk Assessment and Public Policy: Anticipating the Unexpected**: New York, Springer-Verlag.
- (*) Pfaffner, G., and Galloway, J. P., 1989, **Lessons learned from the Loma Prieta, California, Earthquake of October 17, 1989**: U.S. Geol. Surv. Circular 1045.
- Press, F., 1975, **Earthquake prediction**: Scientific American, v. 232, pp. 14-23.
- Richter, C. F., 1958, **Elementary seismology**: New York, W. H. Freeman.
- Rikitakr, T., 1983, **Earthquake forecasting and warning**: London, Reidel.
- (*) Ross, K. E., 1989, **Bibliography of earthquake education materials**: Natl. Center for Earthquake Engineering Research, SUNY Buffalo, Red Jacket Quadrangle, Buffalo, NY 14261, 70 p.
- Ross, K. E., 1992, **Issues in earthquake education**: Buffalo, NY 14261, Natl. Center for Earthquake Engineering Research, SUNY at Buffalo, 150 p.
- Schnell, M. L., and Herd, D. G., (eds.), 1984, **National earthquake hazards reduction program: Report to the United States Congress**: U.S. Geol. Survey Circular 918.
- Seismic Loss Analysis Committee, 1990, **Metropolitan Boston area earthquake loss study: Los Analysis Committee report and recommendations**: Massachusetts Civil Defense Agency and Office of Emergency Preparedness, 400 Worcester Rd., P.O. Box 1496, Framingham, MA 01701.

- (*) Simkin T., and others, 1989, **This Dynamic Planet - World Map of Volcanoes, Earthquakes and Plate Tectonics**: Smithsonian Institution, NIIB-MS 109, Washington, DC 20560. Attractive wall-sized map compiled by the Smithsonian Institution and the U.S. Geological Survey. Excellent educational display.
- Simpson, D. W., and Richards, P. G., (eds.), 1981, **Earthquake prediction**: American Geophysical Union, Washington, DC, (51 papers).
- Slemmons, D. B., 1977, **State-of-the-art for assessing earthquake hazards in the United States; Report 6, Faults and earthquake magnitudes**: Misc. Paper S-73-1, U.S. Army Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS 39180.
- (*) Snider, F. G., 1990, **Eastern U.S. Earthquakes: Assessing the Hazard**: *Geotimes*, v. 35, n. 11, pp. 13-15.
- (*) Soren, D., 1988, **The day the world ended at Kourion**: National Geographic, July, 1988, pp. 30-53 (details of the earthquake at Crete in 365 A. D.).
- (*) Walker, B., and others, 1982, **Earthquake**: Alexandria, VA, Time Life Books (well written and spectacularly illustrated).
- Wallace, R. E., (ed.), 1990, **The San Andreas Fault System, California**: U.S. Geol. Survey Prof. Paper 1515. Detailed text and beautiful full-page color photos.
- (*) Ward, P. L., 1990, **The next big earthquake in the bay area may come sooner than you think: Are you prepared?**: 24-page earthquake preparedness guide for San Francisco Bay area delivered as a newspaper supplement. Over 3 million were distributed. Available from USGS, 345 Middlefield Road, Menlo Park, CA 94025, (415) 329-5009.
- (*) Ward, P. L., and Page, R. A., 1990, **The Loma Prieta Earthquake of October 17, 1989**: U.S. Geol. Survey Pamphlet, 16 p. Contains excellent 4 - page annotated bibliography of particular use to planners and managers.
- Ward, S. N., 1992, **Synthetic quakes model for longterm prediction**: *Geotimes*, July, 1992, pp. 18-20.
- Wilson, R. C., 1991, **The Loma Prieta Quake, What One City Learned**: Washington, DC, International City Management Assoc., 64 p.
- Yanev, P., 1991, **Peace of Mind in Earthquake country: How to Save Your House and Your Life** (2nd ed.) E: San Francisco, Chronicle Books.
- Ziony, J. I., (ed.), 1985, **Evaluating earthquake hazards in the Los Angeles region**: U.S. Geol. Survey Prof. Paper 1360, (16 papers).
- Canas, J. A.; Barbat, A. H.; Pujades, L.I.; Egozcue, J. J. and Sarrate, J. (1991): **Spectral analysis of the Beznar dam accelerogram, comparison with results in the northeastern of Spain: En Seismicity, Seismotectonics and Seismic Risk of the Ibero-magrebien Region**, Mezcuva, J. and Udías, A. (Edit). Instituto Geográfico Nacional, Madrid, 357-375.
- Capote, R. (1978): **Tectónica española: Seminario sobre criterios sísmicos para instalaciones nucleares y obras públicas**. Madrid, 1-3.
- Capote, R. (1988): **Geología y Terremotos, En Riesgos Geológicos**, Instituto Geológico y Minero de España, Serie Geología Ambiental: 99-107.
- Capote, R.; Goy, J. L.; Zazo, C.; Carbó, A.; González de Vallejo, L.; Hernández Enrile, J. L.; Ubanell, A. G. y Vegas, R. (1984): **Investigación sobre neotectónica en el centro, sur y levante de la Península**, *Energía Nuclear*, 28: 1-30.
- Capote, R.; González de Vallejo, L. y Skipp, B. O. (1984): **Estudio sismotectónico de la región de Arenas de Rey (Granada)**: I Congreso Español Geología, III: 11-25.
- Capote, R.; González Casado, J. M.; de Vicente, G. y González de Vallejo, L. (1986): **Determinación de los elipsoides de esfuerzo y deformación de la tectónica actual en la región de Alborán, a partir del análisis poblacional de los mecanismos focales de terremotos**: 1.ª Jornadas de Estudio del fenómeno sísmico y su incidencia en la ordenación del territorio. Murcia: 1-12.
- Carreño, E.; Egozcue, J. J.; Barbat, A. H.; Canet, J. M. y Banda, E. (1988): **Peligrosidad sísmica en Cataluña**: Ed. ETSICCP-UPC, Barcelona.
- De Vicente, G.; Herraiz, M.; Giner, J. L.; Lindo, R.; Cabañas, L. y Ramírez, M. (1996): **Características de los esfuerzos activos intraplaca en la Península Ibérica**. *Geogaceta*, 20: 909-912.
- Galbis, J. (1931): **Catálogo sísmico de la zona comprendida entre los meridianos 5º E y 20º W de Greenwich y los paralelos 45º y 25º N Tomo I**. E: Imp. R. Velasco. Madrid.
- Gentile, P. y de Justo, J. I., (1983): **Terremoto de Carmona de 1504: Sismicidad Histórica de la Región de la Península Ibérica**. Madrid: 9-16.
- González de Vallejo, L.; Capote, R. y Carbó, A. (1982): **Sismotectónica y Riesgo sísmico, En Geología y Medio Ambiente**, CEOIIMA, Serie Monografías, 11: 293-300.
- González de Vallejo, L. (1994): **Seismotectonic hazard for engineering projects in moderate seismicity regions**, 7th International IABG Congress. Proceedings, Lishoa, III: XIX-XXXVIII.
- García-Dueñas, V.; Sanz de Galdeano, C. De Miguel, F. y Vidal, F. (1984): **Neotectónica y sismicidad en las Cordilleras Béticas: Una revisión de resultados**: *Energía Nuclear*, 28: 231- 238.
- Institut de Physique de Globe de Paris (1981): **Carte sismotectonique de l'Europe et du Bassin Méditerranéen**, Esc. 1:5.000.000. Inst. Phys. Gl. Paris.
- Instituto Geográfico Nacional (1992): **Análisis sismotectónico de la Península Ibérica, Baleares y Canarias** E: MOPT, Publicación Técnica núm. 26, 43 pp, 1 mapa escala 1:1.000.000
- Instituto Geológico y Minero de España (1983): **Mapa Sismotectónico de España, Granada, Hoja piloto escala 1:100.000**, Madrid, 1 mapa, 36 pp.
- Litchner, J. J. and Marrone, J. E. (1991): **Seismic hazard in the area of northeast Spain: En Seismicity, Seismotectonics and Seismic Risk of the Ibero-Magrebien Region**, Mezcuva, J. And Udías, A. (Edit). Instituto Geográfico Nacional, Madrid, 325-348.
- López Arroyo, A.; Martín Martín, A. J. y Mezcuva Rodríguez, J. (1981): **Terremoto de Andalucía, Influencia en sus efectos de las condiciones del terreno y del tipo de construcción: El terremoto de Andalucía del 25 de Diciembre de 1884**. Instituto Geográfico Nacional. Madrid: 5-94.
- Martín Martín, A. J. (1984): **Riesgo sísmico en la Península Ibérica**: Tesis Doctoral, E.T.S.I Caminos, Canales y Puertos, Univ. Politécnica, Madrid: 235 pp.

Bibliografía sobre Neotectónica y Terremotos de la edición española

- Buena, J. y Barranco, L. M. (1993): **Mapa Neotectónico, Sismotectónico y de Actividad de Fallas de la Región de Murcia**: Instituto Tecnológico Geominero de España, 99 pp.
- Benito, B. and López Arroyo, A. (1991): **Uniform hazard methodology applied to southwest Spain: En Seismicity, Seismotectonics and Seismic Risk of the Ibero-magrebien Region**, Mezcuva, J. and Udías, A. (Edit), Instituto Geográfico Nacional, Madrid, 313-324.
- Buforme, F. y Udías, A. (1991): **Focal mechanism of earthquakes in the Gulf of Cadiz, South Spain and Alboran Sea: En Seismicity, Seismotectonics and Seismic Risk of the Ibero-Magrebien Region**, Mezcuva, J. And Udías, A. (Edit). Instituto Geográfico Nacional. Madrid: 29-40.
- Buforme, H.; Udías, A. y Mezcuva, J. (1988): **Seismicity and focal mechanisms in South Spain**: *Bull. Seism. Soc. Am.*, 78: 2008-2024.
- Buforme, H.; Udías, A. y Mezcuva, J. (1990): **Sismicidad y sismotectónica de la región Ibero-Magrebí**: *Rev. Geofis.*, 46: 171-180.

- Martínez Díaz, J. J. y Hernández Eurile, J. L. (1996): **Implicaciones neotectónicas de la serie sísmica de Adra (1993-1994): Ejemplo de un terremoto compuesto**: *Geogaceta*, 20: 834-837.
- Mezcua, J. y Udías, A. (Edit) (1991): **Seismicity, Seismotectonics and Seismic Risk of the Ibero-Maghrebian Region**: Instituto Geográfico Nacional, Monografía núm. 8, 390 p.
- Mezcua, J. (1982): **Catálogo General de Isosistas de la Península Ibérica E**: Pub. Técnica 202 Inst. Geog. Nac. Madrid, 62 pp, 261 mapas.
- Mezcua, J. y Martínez Solares, J. M. (1983): **Sismicidad del Area Ibero-Mogrebí**: Pub. Técnica 203 Inst. Geog. Nac., 301 pp, 1 mapa
- Mezcua, J.; Rueda, J. y Martínez Solares, J. M. (1991): **Seismicity of the Ibero-Maghrebian region: En Seismicity, Seismotectonics and Seismic Risk of the Ibero-Maghrebian Region**. Mezcua, J. and Udías, A. (Edit) Instituto Geográfico Nacional, Madrid, 14-28.
- Munuera, J. M. (1963): **Datos básicos para un estudio de sismicidad en el área de la Península Ibérica**: Mem. Inst. Geog. Cat., 32 (1): 1-93.
- Muñoz, D. y Udías, A. (1981): **Estudio de los parámetros y serie de réplicas del terremoto de Andalucía del 25 de Diciembre de 1884 y de la sismicidad de la región de Granada-Málaga: El terremoto de Andalucía del 25 de Diciembre de 1884**: 95-139.
- Muñoz, D. y Udías, A. (1983): **Terremoto de Málaga de 1680: Sismicidad Histórica de la Región de la Península Ibérica**. Madrid: 35-37.
- Muñoz, D.; Udías, A. y Moreno, E. (1983): **Reevaluación de los datos del terremoto de 1829 (Torrevecija): Sismicidad Histórica de la Región de la Península Ibérica**: 33-41.
- Muñoz, D. y Udías, A. (1991): **Three large historical earthquakes in southern Spain: En Seismicity, Seismotectonics and Seismic Risk of the Ibero-Maghrebian Region**. Mezcua, J. and Udías, A. (Edit) Instituto Geográfico Nacional, Madrid, 175-182.
- Rey Pastor, A. (1927): **Traits Sismiques de Péninsule Ibérique**: Inst. Geog. Cat. Madrid, 72 pp.
- Santanach, P. F.; Sanz de Galdeano, C. Y.; Bousquet, J. C. (1980): **Neotectónica de las regiones mediterráneas de España**: *Bol. Geol. Min.*, 11: 417-470.
- Sanz de Galdeano, C. (1983): **Los accidentes y fracturas principales de las Cordilleras Béticas**: *Estud. Geol.*, 39: 157-165.
- Sanz de Galdeano, C. (1990): **Geologic evolution of the Betic Cordilleras in the western mediterranean, Miocene to the present**. *Tectonophysics*, 172: 107-119.
- Sanz de Galdeano, C. y López Casado, C. (1988): **Fuentes sísmicas en el ámbito bético-rifeño**. *Rev. de Geofísica*, 44: 175-198.
- Suriñac, E. y Roca, A. (1983): **Evaluación de los datos sísmicos de la región NE de la Península Ibérica: Sismicidad Histórica de la Región de la Península Ibérica**. Madrid: 48-52.
- Tomé, M. y Rueda, J. (1996): **Autodra. Un sistema para intercambio de información sísmica en España**: *Avances en Geofísica y Geodesia*, 1: 99-105.
- Udías, A. and Muñoz, D. (1979): **The Andalusian earthquake of 25 Dec. 1884**. *Tectonophysics*, 53: 291-299.
- Udías, A., Bouforn, H. & Ruiz de Gauna, J. (1989): **Catalogue of Focal Mechanisms of European Earthquakes**: Department of Geophysics Universidad Complutense, Madrid: 274 pp.
- Vegas, R. (1991): **Present-day Geodynamics of the Ibero-Maghrebian Region: En Seismicity, Seismotectonics and Seismic Risk of the Ibero-Maghrebian Region**. Mezcua, J. and Udías, A. (Edit) Instituto Geográfico Nacional, Madrid: 193-203
- Vidal, F. y de Miguel, F. (1983): **Las series sísmicas de Santafé (Granada): Sismicidad Histórica de la Región de la Península Ibérica**.
- Villamor, P.; Capote, R. y Tsige, M. (1996): **Actividad neotectónica de la Falla de Alentejo- Plasencia en Extremadura (Macizo Hespérico)**: *Geogaceta*, 20: 925-928.
- Villamor, P.; González de Vallejo, L.; Capote, R. and Tsige, M. (1997): **Influence of Neotectonics on seismic hazard for critical facilities: Engineering Geology and the Environment**. Marinou, Koukis, Tsiambo & Stoumbaras (Edit). Balkema, Rotterdam: 1119-1124.

Videos sobre Terremotos de la edición americana

- (*) **A Predictable Disaster**: 1976, 32 minutes, Time-Life Video, 1271 Avenue of the Americas, New York, NY 10020, (219) 484-5940.
- Aftershocks of the Loma Prieta Earthquake - Computer Animations**: 1990, 23 minutes, U.S. Geol. Survey, Library, Special Collections, MS 955, 345 Middlefield Road, Menlo Park, CA 94025, (415) 329-5009.
- (*) **Approach to the Prediction of Earthquakes**: 1971, 27 minutes, American Educational Films, 3807 Dickerson Road, Nashville, TN 37207, (800) 822-5678.
- (*) **Are you ready?**: 1984, 84 minutes, U.S. Geol. Survey Library, Special Collections, MS 955, 345 Middlefield Road, Menlo Park, CA 94025, (415) 329-5009. A taping of experts concerning earthquake characteristics.
- Born of Fire**: 1983, 60 minutes, Vestron Video, P.O. Box 576, Itasca, IL 60143, (800) 523-5503. Video Produced by National Geographic. A documentary on volcanos in rift areas but focuses also on earthquakes.
- Earthquake**: Tapes made available to insurance industry on effects to the economy by earthquakes. Washington Independent Productions, Inc., 400 North Capitol Street N. W., Suite 183, Washington, DC 20001, (202) 638-3400.
- (*) **Earthquake!**: 1988 Disaster in Los Angeles, Finley-Holiday Corp., P.O. Box 619, Whittier, CA 90608, (213) 945-3325. Provides actual footage on 1987 Whittier earthquake.
- (*) **Earthquake Awareness and Risk Reduction in Utah**: 1992, 25 minutes, Utah Geological Survey, 2363 Foothill Drive, Salt Lake City, UT 84109-1491, (801) 581-6831.
- (*) **Earthquake Country**: 1987, 52 minutes, Channel Four Television, United Kingdom, Available on loan from U.S. Geol. Survey Library Special Collections, MS 955, 345 Middlefield Road, Menlo Park, CA 94025, (415) 329-5009.
- (*) **Earthquake Do's and Don't's**: 1987, 11 minutes, Natl. Safety Council, Film Communicators, 108 Wilnot Road, Deerfield, IL 60013-5196.
- (*) **Earthquake Emergency Procedures**: 1985, 27 minutes, Southwestern Pub. Co., 5101 Madison Road, Cincinnati, OH 45227, (513) 271-8811.
- (*) **Earthquakes**: 1977, 29 minutes, Dallas County Community College District, Center for Telecommunications, 4343 N Hwy. 67, Mesquite, TX 75150-2095, (214) 324-7988. Features the 1964 Alaska earthquake and the San Andreas Fault in California.
- (*) **Earthquakes**: 1990, Corporation for Public Broadcasting, Annenberg - CPB Project, 901 E St. Washington, DC 20004-2006, (800) 532-7637.
- (*) **Earthquakes**: 1990, 60 minutes, NOVA, Vestron Video, P.O. Box 576, Itasca, IL 60143, (800) 523-5503.
- Earthquakes and Moving Continents**: 1987, 25 minutes, Educational Activities Inc., 1937 Grand Avenue, Baldwin, NY 11510, (516) 223-4466.
- (*) **Earthquakes: Exploring Earth's Restless Crust**: 1987, 22 minutes, American Educational Films, 3807 Dickerson Road, Nashville, TN 37207, (800) 822-5678.
- (*) **Earthquakes: Prediction and Monitoring**: 1989, 26 minutes, Films for the Humanities and Sciences, 743 Alexander Road, Princeton, NJ 08540, (609) 452-1128.

GUIA CIUDADANA DE LOS RIESGOS GEOLOGICOS

- (*) **Earthquakes: Seismology at Work:** 1989, 25 minutes, Media Guild, 11722 Sorento Valley Road, Suite E, San Diego, CA 92121, (619) 755-9191.
- (*) **Earth's Interior and Plate Tectonics:** 1984, Gulf Publishing Co., 3301 Allen Parkway, P.O. Box 3881, Houston, TX 72001, (713) 529-5928. Produced by Phillips Petroleum Co.
- Effects of Earthquakes on Building Contents: A Visual Experience:** 1991, 8 minutes, Loma Prieta Clearinghouse Project, EERC, 1301 South 46th Street, Richmond, CA 94804-4698, (415) 231-9401.
- (*) **H.E.J.P. Hands-on Earthquake Learning Package:** 1984, 17 minutes, Environmental Volunteers. Elementary students use models and puzzles to illustrate hazards that include liquefaction and earthquake damage. Available on loan from U.S. Geol. Survey Library Special Collections, MS 955, 345 Middlefield Road, Menlo Park, CA 94025, (415) 329-5009.
- How to Prepare for Earthquakes:** 1992, 8 minutes, Earthquake Video Distribution Manager, Advocate Films, 555 Bryant St. Box 263, Palo Alto, CA 94301 (408) 244-9489.
- (*) **Italy's 1000 Earthquakes:** 1975, 10 minutes, Journal Films, 930 Pinet Ave., Evanston, IL 60202, (800) 323-5448. Focuses on Ancona, Italy, where persistent earthquakes have caused over 800 million dollars in damages.
- Iran Earthquake and Iran Earthquake Relief:** 1990, 60 minutes each, ABC Nightlines, MPI Home Video, 15825 Rob Roy Drive, Oak Forest, IL 60452, (800) 323-0442.
- EERI Loma Prieta Earthquake Briefing:** 1990, 57 minutes, Earthquake Engineering Research Institute, 6431 Fairmount Ave. Suite 7, El Cerrito, CA 94530-3524, (510) 525-3668.
- (*) **Loma Prieta Earthquake of October, 1989:** 1989, 60 minutes, and **Loma Prieta Earthquake of October, 1989 - Overview E:** 1989, 10 minutes, Earthquake Engineering Research Institute, 499 14th Street, Suite 320, Oakland, CA, 94612 (510) 451-0905. Available on loan from U.S. Geol. Survey Library Special Collections, MS 955, 345 Middlefield Road, Menlo Park, CA 94025, (415) 329-5009.
- Mapping Earthquakes:** 1989, 36 minutes, Narration and lecture by Dr. Bruce Bolt on mapping location and size of earthquakes. Dr. Bruce Bolt, Dept. of Geology and Geophysics, University of California at Berkeley, CA, 94720. Available on loan from U.S. Geol. Survey Library Special Collections, MS 955, 345 Middlefield Road, Menlo Park, CA 94025, (415) 329-5009.
- (*) **Mexico Earthquake - September 19, 1985:** 1985, 20 minutes, National Audiovisual Center, National Archives and Records Administration, Customer Service Section PZ, 8700 Edgeworth Drive, Capitol Heights, MD 20743-3701, (301) 763-1896, or Instructional Video, P. O. Box 21, Maumee, OH 43537, Produced by U.S. Geol. Survey.
- (*) **Our Active Earth:** 1985, 25 minutes, The Film Library, 3450 Wilshire Blvd., Number 700, Los Angeles, CA 90010-2215, (800) 421-9585. Produced by National Safety Council.
- (*) **Outlasting the Quakes,** 1975, 4 minutes, American Educational Films, 3807 Dickerson Road, Nashville, TN 37207, (800) 822-5678.
- (*) **Predictable Disaster:** 1988, 60 minutes, Vestron Video, P.O. Box 576, Itasca, IL 60143, (800) 523-5503.
- San Francisco Earthquake:** 1990, release pending, Educational Video Network, 1401 19th St. Huntsville, TX 77340, (409) 295-5767.
- (*) **Subject to Change...:** 1988, 18 minutes, PACBELL, Available on loan from U.S. Geol. Survey Library Special Collections, MS 955, 345 Middlefield Road, Menlo Park, CA 94025, (415) 329-5009.
- (*) **Restless Earth - The Earthquake:** 1972, 26 minutes, Indiana University Audiovisual Center, Bloomington, IN 47405-5901, (812) 335-8087.
- Soil and Structure Response to Earthquakes:** 1979, Earthquake Engineering Research Institute, 499 14th Street, Suite 320, Oakland, CA 94612, (510) 4510905. 4 lectures in B&W, each 2 hours, sold as set.
- (*) **Subject to Change:** 1988, 17 minutes, U.S. Geol. Survey, Library, Special Collections, MS 955, 345 Middlefield Road, Menlo Park, CA 94025, (415) 329-5009. (A tape targeted at teachers, planners and laymen about earthquake hazards).
- (*) **Surviving the Big One - How to Prepare for a Major Earthquake:** 1989, 58 minutes, KCET Home Video, P.O. Box 310, San Fernando, CA 91341, (800) 228-5238. A comprehensive, detailed guide to earthquake preparedness. Available on loan from U.S. Geol. Survey Library Special Collections, MS 955, 345 Middlefield Road, Menlo Park, CA 94025, (415) 329-5009.
- (*) **The Alaska Earthquake,** 1966, 20 minutes, National Archives and Records Administration, Customer Service Section PZ, 8700 Edgeworth Drive, Capitol Heights, MD, 20743-3701, (301) 763-1896. Produced by U.S. Geol. Survey. Available on loan from U.S. Geol. Survey Library Special Collections, MS 955, 345 Middlefield Road, Menlo Park, CA 95025, (415) 329-5009.
- (*) **The Earthquake Connection:** 1988, 44 minutes, Films Incorporated Video, 5547 North Ravenswood Ave., Chicago, IL 60640-1199, (800) 323-4222, ext. 43.
- (*) **The Great San Francisco Earthquake:** 1989, 60 minutes, PBS Video American Experience Series, 1320 Braddock Place, Alexandria, VA 22314-1698, (800) 424-7693. Rare footage of the 1906 earthquake and recovery of the city over 3 years.
- (*) **The San Francisco Earthquake:** 1989, 60 minutes, MPI Home Video, 15825 Rob Roy Drive, Oak Forest, IL 60452, (800) 323-0442. Footage of the Loma Prieta earthquake of 1989, produced by ABC News.
- (*) **The Great Quake of '89:** 1989, 60 minutes. A laserdisc presentation set up for APPLE and MACINTOSH computers. Voyager Co., 1351 Pacific Coast Highway, Santa Monica, CA 90401, (800) 446-2001.
- (*) **The Quake of '89: A Final Warning?:** 1990 BBC, Osborn Court, Olney Buckinghamshire, MK 46 4AG United Kingdom, Phone 0234-711198 or 713390. Produced for BBC Horizon Series. Available on loan from U.S. Geol. Survey Library special Collections, MS 955, 345 Middlefield Road, Menlo Park, CA 94025, (415) 329-5009.
- (*) **The Armenian Earthquake:** 1989, 60 minutes, Earthquake Engineering Research Institute, 499 14th Street, Suite 320, Oakland, CA 94612, (510) 451-0905.
- The Parkfield Earthquake Prediction Experiment: The Emergency Response:** 1988, 5 minutes, U.S. Geol. Survey. Available on loan from U.S. Geol. Survey Library Special Collections, MS 955, 345 Middlefield Road, Menlo Park, CA 94025, (415) 329-5009.
- (*) **Tomorrow's Quake:** 1983, 16 minutes, American Educational Films, 3807 Dickerson Road, Nashville, TN 37207, (800) 822-5678.
- (*) **Tomorrow's Quake Earthquake Prediction:** 1977, American Educational Films, 3807 Dickerson Road, Nashville, TN 37207, (800) 822-5678.
- (*) **To Predict and Control Earthquakes:** 1985, 20 minutes, The Cinema Guild, 1697 Broadway, Room 802, New York, NY 10019, (212) 246-5522.
- (*) **Warning: Earthquake:** 1976, 24 minutes, Britannica Films, 310 South Michigan Ave., Chicago, IL 60604 (800) 621-3900. Call for current prices. Occasional special sale prices on videos are given.
- We Aren't Asking For the Moon:** 1986, 58 minutes, Icarus Films, 200 Park Avenue South, Suite 1319, NY, NY 10003, (212) 674-3375. Film focuses on the economic effects of the 1985 Mexico City earthquake, particularly on garment industry.
- (*) **When the Bay Area Quakes:** 1990, 20 minutes, U.S. Geol. Survey, Available on loan from U.S. Geol. Survey Library Special Collections, MS 955, 345 Middlefield Road, Menlo Park, CA 94025, (415) 329-5009.
- When the Earth Quakes:** 1990, 28 minutes, National Geographic, 17th and M Streets, NW, Washington, DC 20036, (800) 368-2728.

VOLCANES

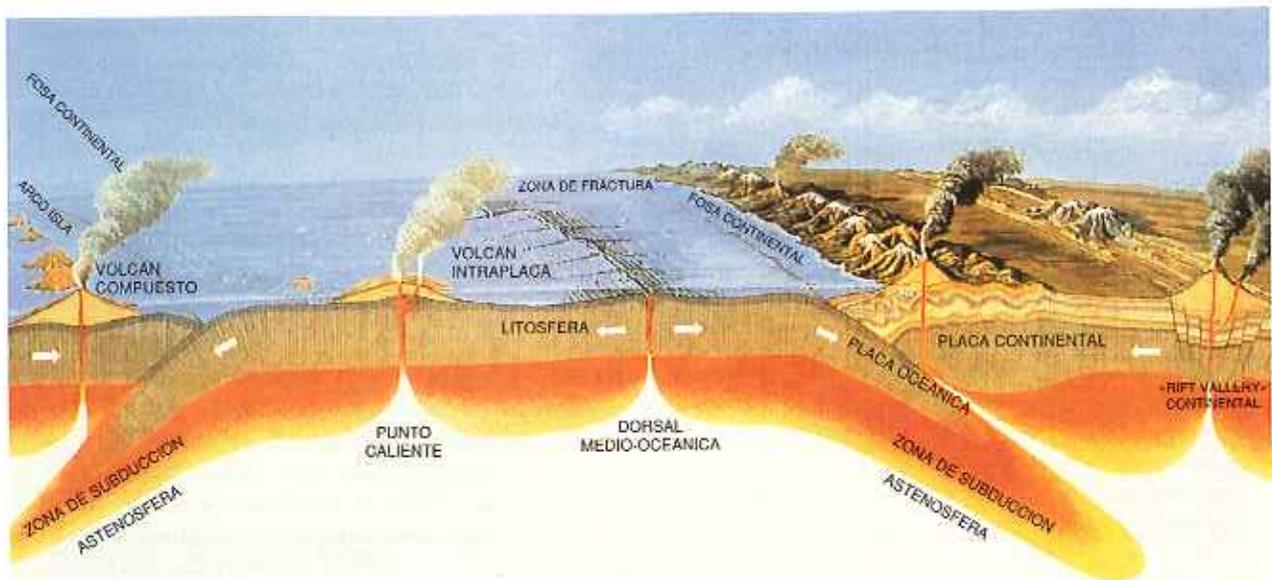
Los desastres producidos por los riesgos volcánicos no son frecuentes, pero son devastadores. En algunos países desarrollados densamente poblados, los volcanes son una seria amenaza. Las grandes erupciones pueden afectar al clima global durante al menos un año o dos después del acontecimiento volcánico. Solamente una pequeña parte de los volcanes del mundo se ha estudiado en detalle.

Acontecimientos volcánicos

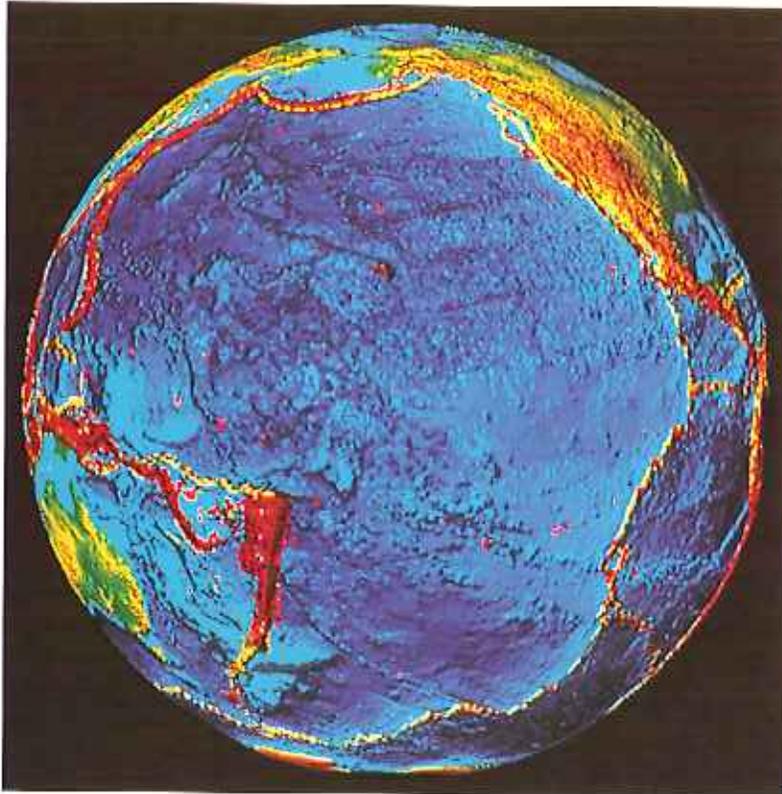
Pocas cosas excitan tanto la imaginación como la exclamación, «¡Volcán!» La propia palabra nos hace imaginar explosiones tremendas, ríos de lava incandescente anaranjada e imágenes de destrucción humeante. La capacidad real para destruir no es exagerada: las erupciones volcánicas son uno de los riesgos geológicos más devastadores. Hay unos 700 volcanes potencialmente peligrosos en el mundo, y cada año unas 50 erupciones se producen a lo ancho del mismo. Estados Unidos es el tercer país volcánicamente más activo del mundo. En él, han entrado en erupción 58 volcanes más de 470 veces desde exactamente 1700 A.D. Solamente Japón e Indonesia han tenido más erupciones.

Las Islas Aleutianas de Alaska contienen el mayor número de volcanes de Estados Unidos - más de 40 volcanes que han hecho erupción históricamente. La isla de Hawaii consta de 5 volcanes, 2 de los cuales han estado constantemente activos, con unas 100 erupciones principales entre ellos, desde comienzos de 1800. El volcán Haleakala, en Maui, al noroeste de Hawaii, entró en erupción en 1790. Dentro del territorio continental de los Estados Unidos, 11 cumbres de la Cordillera de las Cascadas, la cual discurre desde el norte de California a través de Oregón y Washington, tienen historias que están llenas de erupciones; 6 de estas cumbres han entrado en erupción en tiempos históricos.

Un 80% de los volcanes de la tierra se encuentran cerca de los límites de subducción o fosas de arco-



Sección esquemática de la corteza con (de izquierda a derecha) arco isla con zona de subducción, punto caliente, zona de rift de la dorsal medio-oceánica (divergente), zona de subducción debajo de placa continental y zona de «rift-valley» continental. Analogías actuales de izquierda a derecha son: ARCO ISLA - Japón y Filipinas; PUNTO CALIENTE - Hawaii; DORSAL MEDIO-OCEÁNICA - Elevación Pacífica y Dorsal Medio-Atlántica; ZONA DE SUBDUCCIÓN (debajo de PLACA CONTINENTAL) - Montañas de las Cascadas al oeste de Estados Unidos; «RIFT VALLEY» CONTINENTAL - Rift Este Africano actual. (Simkin et al, 1989, This Dynamic Planet - World Map of Volcanoes, Earthquakes and Plate Tectonics, Smithsonian Institution and U. S. Geological Survey; diseño de James Caldwell).



El «Cinturón de Fuego» Pacífico mostrando los límites de placa en amarillo y los epicentros de terremotos de magnitud 5 o superior en la escala de Richter en rojo. El Cinturón de Fuego debe su nombre a los numerosos volcanes que se localizan a lo largo de los límites de placa. Muchos terremotos y volcanes están asociados geográficamente a lo largo de los límites de placa, pero los terremotos no producen los volcanes, y muchos terremotos no son producidos por los volcanes. (Imagen en relieve del globo obtenida por ordenador por el Dr. Peter Sloss, NOAA National Geophysical Data Center, Boulder, Colorado).

isla. Los límites de subducción aparecen donde las placas oceánicas más densas (formadas primariamente por basalto negro, una roca ígnea de grano fino) son lenta, pero inexorablemente, empujadas bajo las placas continentales menos densas (formadas primariamente por granito, roca ígnea de grano grueso y color claro). Las fosas de arco-isla son similares, en que aparece la subducción de una placa oceánica basáltica, y se diferencian de los límites de subducción en que la placa es empujada bajo otro bloque de placa oceánica que ha sido inmovilizado contra el lado de una placa continental. La subducción de placas oceánicas aparece alrededor de la mayor parte del perímetro del Océano Pacífico, un área con abundantes erupciones volcánicas, denominada por generaciones de geólogos «el Cinturón de Fuego». Los volcanes en la Cordillera de las Cascadas del noroeste de Estados Unidos y a lo largo de las Islas Aleutianas de Alaska aparecen en de los límites de subducción, mientras que los del Japón y las Filipinas lo hacen a lo largo de arcos-isla.

El otro 15% se presenta en las **zonas divergentes**, donde dos placas distintas están siendo separadas una de otra. La zona de borde donde comienza tal separación se llama un área de **rift**. Un ejemplo de una zona divergente se encuentra a lo largo de la Dorsal Medio-Atlántica, donde la Placa de América del Norte y la Placa Eurasiática están separándose unos pocos centí-

metros al año. Aquí, los volcanes submarinos de la parte central del Océano Atlántico aparecen como magma penetrado en el rift producido por la separación. Los volcanes aflorantes de Islandia, tales como el Surtsey, son simplemente las expresiones superficiales de este mismo tipo de vulcanismo, donde la roca fundida extruida por los volcanes ha construido terreno por encima del nivel del mar. La divergencia puede también comenzar dentro de una placa existente, agrietando y separando gradualmente la placa, y consiguiéndose algunas veces la completa separación en dos placas distintas. Las coladas lávicas Malpai de Nuevo Méjico, que tienen una antigüedad de solamente unos pocos de miles de años, entraron probablemente en erupción cuando el Rift Río Grande estuvo fugazmente activo dentro de América del Norte. Algunos volcanes asociados con dicho agrietamiento se encuentran cerca de ciudades importantes tales como Albuquerque, Nuevo Méjico, aunque ahora se piensa que están apagados. Finalmente, unas pocas áreas de actividad volcánica se producen dentro de las placas sin estar relacionadas con los límites de ellas. Estas se atribuyen a los **puntos calientes** - áreas debajo de la corteza que tienen suficiente calor como para producir vulcanismo superficial a través de la placa. Las Islas Hawaianas, cerca del centro de la Placa Pacífica, y el Parque Yellowstone, dentro de la placa de América del Norte, son ejemplos de vulcanismo asociado con puntos calientes.

Vulcanismo y el Concepto de Tiempo Geológico

Aunque los volcanes son riesgos violentos, el tiempo que transcurre entre erupciones es a menudo grande, en especial si lo comparamos con los acontecimientos históricos. Como los dragones durmientes de las tradiciones y fábulas que echan fuego, muchos volcanes permanecen silenciosos durante siglos, hasta los momentos terroríficos en que vuelven a despertarse con erupciones amenazadoras para la vida. Si preguntaras, «¿Por qué la gente vive próxima a los volcanes?» una respuesta podría ser «Porque los volcanes proporcionan algunos de los suelos más ricos para la agricultura, y porque densas poblaciones, como las de Japón y Filipinas, necesitan desesperadamente todo el espacio disponible para la vida.» Por otra parte, allí donde las presiones impuestas por las necesidades agrícolas y el espacio para la vida no son tan críticas, tal como ocurre en las Montañas de las Cascadas de los Estados Unidos, la respuesta podría ser «¡Porque el terreno volcánico es hermoso! Es uno de los terrenos más deseados de todos como residencia.» Una cuestión más pertinente a los riesgos volcánicos, «¿Por qué las erupciones volcánicas producen pérdidas tan abundantes?» se responde en último término con «Porque los volcanes permanecen dormidos entre erupciones durante siglos, y los largos periodos de inactividad traen un falso sentido de seguridad a los residentes, quienes a menudo no aciertan a evacuar el área a tiempo»

Si los humanos vivieran durante varios cientos de años, sus percepciones sobre los riesgos volcánicos serían mucho más claras. La visión de una vida muestra constancia e inmutabilidad, pero una visión temporal más amplia mostraría un área caracterizada por la violencia y el cambio catastrófico. El monte Pinatubo en las Filipinas despertó en 1991, después de 600 años de inactividad. El Chichón en Méjico se asumió que era un volcán extinguido quizás por que ningún geólogo lo había estudiado con suficiente detalle para ver la evidencia que demostró que era de otra manera. Su erupción en 1982 mató a más de 1800 personas. Si los alrededores de diez mil años de historia de las erupciones en las Montañas de las Cascadas se comprimen a través de una simulación de ordenador en aproximadamente diez segundos de película, una visión cartográfica que incluya el norte de California, Oregón y Washington se parece a las series sucesivas de fláses y explosiones de una traca de fuegos artificiales.



Ceniza fina expulsada con estruendo hacia lo alto desde el cráter del Monte St. Helens en la erupción de Mayo de 1980. (Foto de D. A. Swanson, USGS).

Los geólogos tienen mucho más éxito con la previsión de las erupciones volcánicas que con la de los terremotos. El trabajo se simplifica porque los volcanes no aparecen precisamente fuera de los entornos volcánicos bien conocidos de los límites de placas y los puntos calientes. Todavía, la clasificación de un volcán como «extinguido» es un asunto arriesgado, puesto que pueden transcurrir miles de años entre las erupciones. Los acontecimientos geológicos que están separados por tales cantidades de tiempo nunca son fáciles de predecir. Cuando una erupción es inminente, los avisos generalmente aparecen unas pocas semanas o unos pocos días antes de ella. El aviso más común es una serie de terremotos de magnitud y frecuencia crecientes. Temblores especiales llamados **tremores armónicos** muestran que el magma está moviéndose hacia arriba, y estos tremores pueden ser detectados en los sismógrafos modernos. Pueden aparecer cambios topográficos, generalmente protuberancias, en algunas cumbres volcánicas, como resultado de la tensión que está incorporándose desde abajo. Tales cambios en la forma se pueden detectar por instrumentos de investigación sensibles y por los instrumentos desplegados en el volcán que muestran leves cambios en la inclinación

de la superficie del suelo (**inclinómetros**). Aunque algunos volcanes han entrado en erupción sin aviso, los sensibles instrumentos modernos hacen más fácil percibir las señales de aviso dadas por los volcanes. Como estos métodos son cada vez más refinados y se aplican con más frecuencia, las muertes causadas por las erupciones «sorpresa» se pueden disminuir, ya que se dispone de más tiempo para la evacuación. Para hacer uso de esta tecnología, los gobiernos pueden subvencionar programas de monitorización, de modo que el personal científico esté disponible y los instrumentos puedan desplegarse. Una de las decisiones más arriesgadas que un gobierno puede tomar, es asumir las advertencias de los geólogos y tomar medidas para desalojar a los residentes de un área en *peligro*.

Un trágico ejemplo donde las autoridades oficiales no atendieron los avisos, tuvo lugar en la erupción del Nevado del Ruiz, Colombia, el 13 de Noviembre de 1985. Más de 20.000 personas murieron después de que el calor producido por la erupción fundiera el hielo glaciar y enviara coladas de barro calientes (lahares) corriendo a través de estrechos cañones fluviales y expulsadas sobre la llanura aluvial donde la ciudad de Armero permanecía durmiendo. Señales de avisos de una erupción se habían notado en 1984, y en el verano de 1985 se desplegó una extensa red de control sísmico. A pesar de todo, las autoridades gubernamentales fracasaron en reconocer el grado de peligro, la red de comunicaciones entre los científicos y las autoridades oficiales fracasó, y el gobierno local de la ciudad de Armero

ERUPCIONES VOLCÁNICAS HISTÓRICAS MUNDIALES, ÍNDICE DE EXPLOSIVIDAD VOLCÁNICA (IEV) Y VÍCTIMAS APROXIMADAS

AÑO	VOLCÁN	IEV	LOCALIZACIÓN (CAUSA DE LA MORTALIDAD)	VÍCTIMAS
628 A.C.	Santorini	6	Grecia (explosión, tsunami)	desconocidas
79	Vesubio	5	Pompeya y Herculano (colada piroclástica)	3.360
1631	Vesubio	4	Nápoles y Resina (coladas piroclásticas)	3.500
1783	Skaptar (Laki)	4	Islandia (tefra y hambre)	9.500
1792	Unzen	2	Kyushu, Japón (avalancha y tsunami de la erupción y terremoto asociado)	15.000
1815	Támbara	7	Indonesia (tefra, tsunami y hambre)	92.000 ^a
1822	Galunggung	4	Indonesia (coladas piroclásticas y coladas de barro)	4.000
1883	Krakatoa	6	Indonesia (tsunami)	36.400
1902	Pelée	4	Martinica (coladas piroclásticas en 2 erupciones. La primera produjo 28.000 muertos)	29.000
1902	Santa María	6	Guatemala (coladas piroclásticas)	6.000
1919	Kelut	4	Java (coladas de barro)	5.110
1951	Lamington	4	Nueva Guinea (avalancha de derrubios, coladas piroclásticas)	2.942
1977	Nyragongo	1	Tanzania (coladas de lava del reventón de la pared del lago de lava que corrió por el valle a más de 100 km/hora)	menos de 100
1980	Mt. St. Helens	5	Washington (explosión lateral, avalancha de derrubios y coladas de barro)	57
1982	El Chichón	4	Méjico (coladas piroclásticas)	1.877
1985	Nevado del Ruiz	3	Colombia (coladas de barro)	23.000
1986	Nyos	NA	Camerún (nube de gas CO ₂)	1.746 ^b
1990	Kelut	4	Java, Indonesia (tefra)	32
1991	Unzen	2?	Shimabara, Japón (coladas piroclásticas)	38
1991	Pinatubo	5	Luzón, Filipinas (tejados hundidos por tefra; enfermedad en los campos de evacuación)	932
1993	Mayon	NA ^c	Mayon, Filipinas	60 ^c

^a 70.000 muertos de hambre por la destrucción de la cosecha ^c La erupción comenzó cuando la edición americana de este libro estaba en prensa
^b Nube fría de gas emitida del fondo del lago en un volcán antiguo

Datos de Barberi et al. (1990); Smithsonian Institution, comunicación escrita (1991), y la Oficina de Asistencia a Catástrofes en el extranjero, *Disaster History* (1992).



En una exhibición de belleza deslumbrante y poder, la lava de rojo intenso y relámpagos blancos intensos bailan juntos en el cielo nocturno en la erupción del Galunggung, Indonesia. Los relámpagos son productos comunes de las erupciones, pero rara vez son captados en las fotografías. (Foto de Ruska Hadian, Servicio Vulcanológico de Indonesia)

no tomó ninguna acción. Algunos supervivientes recordaron que el alcalde tuvo una entrevista en la radio en la cual expresó que había poco peligro -momentos antes de que también él fuera barrido por la colada de barro! Otros recordaron a las autoridades aconsejando simplemente a la gente volver dentro de sus casas y permanecer tranquilas. Una simple orden de evacuar hacia terrenos más altos hubiera salvado miles de vidas. Por contra, no se consideró ningún riesgo en la erupción de 1991 del Monte Pinatubo en las Filipinas. La Base Aérea de Clark, y las aldeas próximas fueron evacuadas como resultado de la atención de las autoridades al aviso anticipado de los geólogos. La pérdida de vidas fue mínima, incluso a pesar de que la erupción fue una de las más grandes de los tiempos históricos.

La explosividad de los volcanes

Los volcanes obtienen mucha de su fuerza explosiva devastadora de un material muy inocuo - el agua. El agua confinada a varias veces su temperatura de ebullición ejerce enormes presiones como vapor supercalentado. Cuando el sello confinante de la roca suprayacente al magma falla, una inmensa presión que puede hacer añicos en fragmentos diminutos a kilómetros

cúbicos de roca se libera en unos pocos momentos de violencia explosiva. Los geólogos han usado varias escalas a través de las cuales expresar y comparar las energías liberadas durante diferentes explosiones históricas. Actualmente se acepta un número que expresa la clasificación en el **Índice de Explosividad Volcánica (VEI)**. Esta clasificación, debida a C. G. Newhall del Servicio Geológico de los Estados Unidos, se basa en la medición del volumen de material expulsado (la roca y ceniza expulsados por el volcán), la altura de la columna de la nube, y otras observaciones. En la escala VEI, 1 es pequeño y 5 es muy grande. La escala continúa hasta 8, pero ninguna erupción en los últimos 10,000 años se ha asignado a un VEI 8. Históricamente, la erupción más grande registrada (VEI de 7) fue la del Tambora, Indonesia, en 1815, donde fueron expulsados unos 147 km³ de material (Monte St. Helens expulsó unos 6 Km³).

Una única erupción puede afectar al planeta entero. La explosión de 1815 del Tambora liberó la energía de unas 10 000 bombas atómicas del tamaño utilizado en la II Guerra Mundial. La capa de ceniza envolvente y la liberación de gases sulfurosos incrementó el albedo del planeta y redujo la temperatura media de la Tierra en 2º F durante 2 años. Se registraron nevadas en

New England, incluso en Julio y Agosto, y 1816 se conoció como «el año sin verano». En otros sitios, las bajas temperaturas produjeron las pérdidas de las cosechas e incluso hambre en algunas pocas áreas. Un menor enfriamiento global brusco siguió a la erupción del Pinatubo en 1992, que tuvo lugar en el verano de 1991.

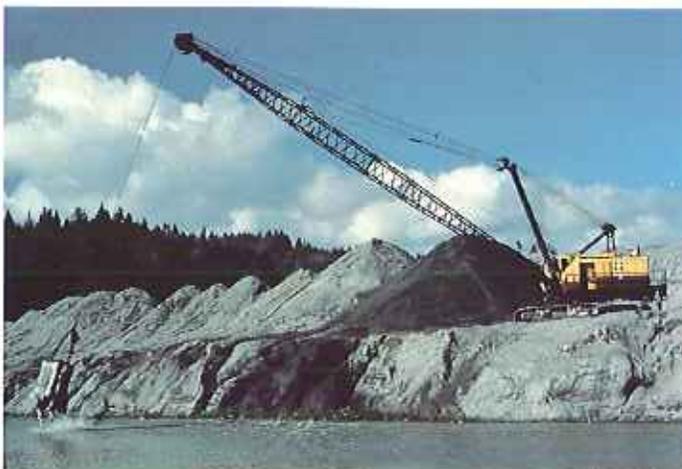
Los peligros de los volcanes

Aunque la lava incandescente venga a nuestra cabeza cuando oímos la palabra «volcán», la lava representa un escaso peligro. A continuación se incluye una lista de riesgos asociados con los volcanes.



Coladas de barro cubriendo un garaje en el canal North Fork del Río Toutle después de la erupción del 18 de Mayo de 1980 del Monte St. Helens. (Foto de Lynn Topinka. Observatorio volcánico de las Cascadas).

El autobús de la compañía de transporte Weyerhaeuser atrapado en una colada de barro. Las coladas de barro cubrieron carreteras y entraron a raudales dentro de las casas durante la erupción del Monte St. Helens de 1980. La nieve fundida proporcionó gran parte del agua necesaria para llevar las coladas de barro hacia las áreas habitadas y arroyos primitivos. (Foto de Lynn Topinka. Observatorio volcánico de las Cascadas).



Dragalina dragando los lodos volcánicos del St. Helens del canal North Fork del Río Toutle, en un intento por restablecer un canal navegable y prevenir la sedimentación arroyo abajo. (Foto de Lynn Topinka. Observatorio Volcánico de las Cascadas).



Densa nube de vapor cargada de cenizas (colada piroclástica) corre ladera abajo del Monte St. Helens. La única defensa contra tales coladas consiste en no estar allí. (Foto de G. Coyer, Observatorio Volcánico de las Cascadas).

I. Coladas de barro (lahares) y avalanchas de derrubios. «Lahar» es un término que surgió en Indonesia donde estas coladas causaron miles de muertos. Los lahares pueden ser calientes o fríos y se generan cuando el agua procede de la lluvia, o cuando cantidades masivas de hielo glaciar o nieve de una cumbre volcánica funde rápidamente por el calor liberado por una erupción. Como este agua desciende por las laderas, incorpora inicialmente grandes cantidades de ceniza y suelo volcánico y, luego, con el tiempo, grandes cantos y árboles. Muchas coladas de barro siguen la red de drenaje existente de los valles fluviales. Las coladas pueden alcanzar grandes distancias mas allá del propio volcán. La colada de barro prehistórica Osceola se extendió 96 km desde el Monte Rainier, en Washington. Las coladas de barro pueden moverse a más de 50 km por hora, lo cual es mucho más rápido que una persona corriendo. Trituran, entierran o arrastran todo a su paso.

Los lahares mataron entre 20.000 y 24.000 habitantes en 1985 cuando el Nevado del Ruiz entró en erupción en Colombia. Unos 200 hogares fueron destruidos por las coladas de barro a lo largo del Río Toutle cuando el Monte St. Helens entró en erupción en 1980. En Japón, se ha utilizado un sofisticado sistema de sensores en algunas áreas de cabecera de los valles, donde probablemente comienzan las coladas de barro. Allí, las autoridades oficiales pueden saber con anticipación su movimiento y avisar a los habitantes valle abajo.

El 18 de Mayo de 1980, la erupción del Monte St. Helens produjo avalanchas de derrubios y coladas de barro que destruyeron el Lago Spirit y llenaron la cuenca con barro y derrubios. La avalancha formó una gran presa de derrubios que creó un nuevo represamiento. El nuevo Lago Spirit tenía 61 metros de profundidad, y su nuevo fondo se situó muy cerca de la cota de la superficie del primer lago. El Nuevo Lago Spirit retuvo 268 millones de m³ de agua. Si hubiera fallado esta presa, las ciudades aguas abajo hubieran sido barridas bajo una pared de agua de más de 46 metros de altura. Debido a que no había manera de estabilizar esta presa, se perforó un túnel a través de un risco rocoso, con un coste de más de 13 millones de dólares, para drenar las aguas del Lago Spirit hacia el cercano Lago Coldwater. (El Lago Coldwater es otro lago que se formó en 1980 cuando una colada de barro represó el riachuelo Coldwater. Sin embargo, esta presa natural era gruesa y sólida. Tan solo precisó la construcción de un desagüe de hormigón para asegurar su permanencia).

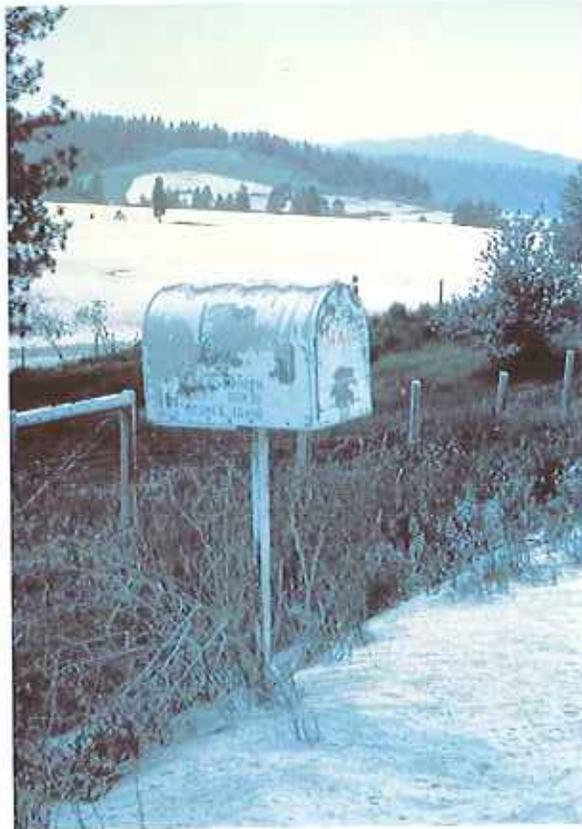
La filtración de contaminantes de los cascotes y de la vegetación en putrefacción, pueden causar también la contaminación de las fuentes y los arroyos que corren desde los nuevos embalses. Las aguas del Lago Spirit estuvieron fuertemente contaminadas con microorganismos nocivos tras la erupción del 18 de Mayo de 1980 del St. Helens.

Años después de producirse las coladas de barro, los derrubios todavía colapsan los canales fluviales y

producen una extensa sedimentación mucho más abajo de la extensión actual de las coladas. Fueron necesarios intensos dragados de los cauces fluviales, hasta bastante lejos del Monte St. Helens, ya que los arroyos arrastraron río abajo los derrubios procedentes de las coladas de barro que había en las cabeceras. Hubo que construir grandes presas de retención para evitar una mayor contaminación aguas abajo.

2. Coladas piroclásticas (incluyendo avalanchas incandescentes y emisiones de gas caliente). Piroclástico es un término que se usa para describir los fragmentos de roca producidos durante una erupción explosiva. Cuando se producen erupciones explosivas los gases volcánicos se mezclan con el aire, agua y fragmentos piroclásticos, para formar densas nubes cargadas de gas y ceniza. Estas nubes pueden viajar ladera abajo a más de 322 kilómetros por hora, cubriendo áreas de más de 259 kilómetros cuadrados cerca del volcán. En las islas Windward, al sudeste de Puerto Rico, más de 30 000 personas murieron en la Martinica en 1902 cuando una colada piroclástica del Monte Pelée, incandescente y a unos 800° C, arrasó la ciudad de San Pierre. Al momento, cada construcción fue aplastada y simultáneamente incendiada; al instante, todo ser vivo pereció.

Algunas coladas piroclásticas son más frías, pero aun sin calor son letales. El polvo es tan concentrado dentro de la nube que aparece la asfixia; los pulmones, simplemente, no pueden manejar tales concentraciones de polvo. La cantidad de cenizas en esta nube les dan una consistencia más afín al agua que al aire. Su densidad, unida con su velocidad les da a estas nubes la fuerza de impacto de un martillo pilón y el poder abrasivo de un chorro de arena. Edificios y construcciones son triturados y hechos pedazos; los árboles son arrancados de sus tocones y despojadas sus cortezas y ramas en una violenta tormenta abrasiva de fragmentos angu-



Asemejándose engañosamente a una nueva nevada, depósitos de ceniza volcánica blanca, como éstos, han cubierto miles de kilómetros cuadrados en dirección del viento del Monte St. Helens. (Foto del archivo fotográfico del USGS, Denver, Co).



Ceniza volcánica vista con el microscopio de polarización aumentada 140 veces. Los granos oscuros son vidrio con magnetita negra dura; los granos claros son plagioclasa; los granos con un ligero color son los minerales horblenda y diopsido. La dureza de este material hace a su polvo devastador para la maquinaria, ya que rechina dentro de todas las partes móviles con las que contacta. La muestra es de la erupción mas pequeña, 25 de Mayo de 1980, del Monte St. Helens. (Foto de Edward Nuhfer).



Lava anaranjada incandescente se desliza desde una fisura y cubrirá lentamente el área. El observador permanece sobre una roca basáltica negra de una colada lávica anterior, quizás prehistórica. Esta colada no es peligrosa para el observador en primer término, pero las coladas pueden causar daños económicos devastadores como cuando invaden autopistas, construcciones y hogares. (Foto del Observatorio Volcánico de Hawaii, USGS).

losos de roca. También se pueden producir violentas tormentas eléctricas dentro de las nubes, incluso a favor de viento, y la luz de los rayos puede provocar fuegos adicionales.

Aunque el vapor es el principal gas dentro de las nubes volcánicas, también pueden aparecer en concentraciones mortales dióxido de carbono, monóxido de carbono, cloruro de hidrógeno y óxidos sulfurados. Las bolsas de gases venenosos que aparecen alrededor de los conductos volcánicos resultan letales para animales y excursionistas que pueden encontrarse dentro de ellas antes de que se den cuenta del peligro. Las erupciones de gases pueden resultar mortales incluso cuando son frías. En Camerún, en 1986, se produjeron más de 1700 víctimas cuando un chorro de dióxido de carbono reventó en el fondo del Lago Nyos, situado dentro de un cono volcánico.

3. Depósitos de tefra. La tefra hace referencia a los fragmentos piroclásticos que salen volando hacia la atmósfera durante las erupciones. La tefra de grano muy fino se llama ceniza. Cuando las erupciones violentas descargan tefra en las capas altas de la atmósfera, la ceniza puede caer sobre áreas a cientos de kilómetros a favor de viento, y el polvo fino puede incluso

dar la vuelta a la Tierra y permanecer durante años en la atmósfera. En el lado inmediato de sotavento del volcán, se pueden acumular depósitos de caída de varias decenas de metros de espesor. Quitar la ceniza es un problema económico serio, e incluso depósitos de unos pocos milímetros son devastadores para una



Un riesgo volcánico mucho más mortal que la lava de arriba: el Lago Nyos, almacenado en su cráter volcánico en Camerún, permanecía turbio y lleno de derrubios varios días después de que el gas dióxido de carbono vomitado desde el fondo del lago matara a más de 1.700 personas. (Foto de Michelle Tuttle, USGS).

ciudad. En la ciudad de Moses Lake, WA (población de unos 11.000 habitantes), el 18 de Mayo de 1980, la erupción del Monte St. Helens hizo necesaria la eliminación de 230.000 metros cúbicos de ceniza. El Departamento de Transporte de Washington informó que se retiraron más de 540.000 toneladas métricas de cenizas del Monte St. Helens de las autopistas del estado.

Las nubes de ceniza ponen en peligro al avión que pueda penetrarlas, ya que la ceniza puede destruir un motor del avión en pocos momentos. Un avión comercial que transportaba a más de 200 pasajeros se tropezó con un chorro de ceniza del Volcán Redoubt de Alaska, el 15 de Diciembre de 1989. Los motores fallaron y el aparato cayó más de 3600 metros antes de que el piloto pudiera volver a arrancar los motores. Se

evitó una tragedia por muy poco, y el aparato sufrió millones de dólares en daños.

Además de los problemas a corto plazo de la irritación pulmonar asociada con las partículas finas de polvo, los problemas a largo plazo persisten hasta que se solucionan. La caída de cenizas es similar a una nevada, en cuanto que debe ser retirada para que una comunidad vuelva a su vida normal, salvo que esta «nevada» ¡no funde! En cambio, debe limpiarse conscientemente y transportada en camiones a un vertedero. La ceniza está compuesta por partículas de vidrio muy finas y duras, e incluso de minerales más duros. La dureza del material le permite dañar todas las partes móviles, y su pequeño tamaño les permite acceder virtualmente a todas y cada una de las piezas de la maquinaria - motores de automóvil, generadores eléctricos,



Gran cantidad de árboles permanecen alineados como las púas de la espalda de un puercoespín. Los investigadores descubrieron que tal derribo del bosque fue el resultado de la fuerza de las densas nubes cargadas de cenizas que siguieron el perfil del terreno y allanaron el bosque por donde pasaron. (Foto del Observatorio Volcánico de las Cascadas, USGS).



El tronco de árbol destrozado de la derecha demuestra el poder explosivo de las erupciones que empujaron las densas nubes cargadas de cenizas. (Foto de N. Banks, USGS).

motores de calefacción y aparatos de aire acondicionado, cortacéspedes, instrumentos eléctricos, computadoras, relojes; cualquier cosa con partes móviles esta sujeta a desgaste y averías prematuras. Si puedes imaginar los efectos de echar vidrio molido en las partes móviles de tu pequeño electrodoméstico favorito, computadora o vehículo a motor, entonces podrás imaginar el coste económico que deben soportar los habitantes cuyos hogares y negocios reciben una lluvia de cenizas. Los vecinos de Anchorage, Alaska, experimentaron esto de primera mano en 1992, con la erupción del Monte Spurr.

4. Coladas de lava. Lava es el término utilizado para el magma que se emite desde las fisuras o conos volcánicos, y corre como un fluido sobre la superficie de la tierra. Las coladas de lava tienen escaso riesgo para la vida porque siguen caminos impuestos por la topografía. Debido a que sus cursos descendentes se conocen de antemano, hay generalmente suficiente tiempo para la evacuación. A veces, se construyen presas y canales que desvían con éxito la lava lejos de los hogares y otras construcciones. En Islandia, se utilizaron mangueras especiales para bombear agua del mar contra el frente de una colada que avanzaba lentamente. Esto solidificó la lava y afortunadamente frenó la colada impidiendo su avance en el interior del área del puerto de Vestmannaeyjar.

Las coladas de lava fluidas acompañan a tipos de erupciones suaves, como las que a menudo se filman en el Parque Nacional de los Volcanes de Hawaii. Estas erupciones fluidas son espectaculares, pero generalmente afectan solo a pequeñas áreas en una erupción dada, y están precedidas por temores sísmicos que avisan y permiten la evacuación. Los volcanes más peligrosos son las erupciones explosivas o aquellos que emiten coladas piroclásticas, tales como el Monte St. Helens, en el estado de Washington, y el Monte Unzen en Japón. Estas erupciones explosivas son mortales sobre grandes áreas, pero rara vez están asociadas con lava fluida.

Riesgos Volcánicos en España

El territorio español tiene cuatro zonas volcánicas principales, tres de ellas peninsulares y una insular, el Archipiélago Canario. Una quinta zona de menor importancia y extensión la constituye las Islas Columbretes, frente a Castellón. Las zonas peninsulares se localizan en Gerona (áreas de La Selva, Ampurdán y, sobre todo, La Garrotxa), área del SE (desde Cabo de Gata, en Almería, hasta la franja del norte de Murcia, sur de Albacete) y Ciudad Real (comarca de Campo de Calatrava). Las tres tienen

edades menores de 10 millones de años, aunque en ninguna se ha registrado vulcanismo histórico, por lo que deben considerarse como zonas inactivas. La erupción más reciente que se tiene registrada corresponde a un volcán de Olot (La Garrotxa) con unos 100.000 años de antigüedad. Las únicas reminiscencias de ese vulcanismo que quedan en el territorio, son varios manantiales de aguas minero-medicinales, más o menos termales, que han dado lugar desde antiguo a establecimientos balnearios, muchos todavía en funcionamiento.

Las zonas de Gerona y del SE, junto con Columbretes, forman parte de la extensa región volcánica de «**rifting**» que recorre el borde mediterráneo occidental y que también tiene expresión en otras áreas volcánicas de centroeuropa. El magmatismo de Ciudad Real parece corresponder también a un proceso de «**rifting**», pero abortado, dentro de la placa ibérica.

En Gerona y Ciudad Real, el vulcanismo ha sido poco explosivo y bastante puntual, caracterizado por pequeños conos piroclásticos estrombolianos (unos 50 en Gerona y 200 en Campo de Calatrava) que expulsaron pocas cantidades de lava. En ambas, dichos conos se encuentran dispersos por amplias zonas, como es el caso de Ciudad Real en donde se distribuyen dentro de un territorio de más de 7.000 Km².

En la zona del SE peninsular, el vulcanismo es de composición más variada, superponiéndose distintas fases a lo largo de los casi 10 millones de años de duración. La más espectacular y peligrosa fue la primera, localizada en la costa almeriense (Parque Natural de Cabo de Gata), que se caracterizó por un magmatismo similar al de las Montañas Rocosas de Estados Unidos, con grandes cantidades de brechas explosivas y depósitos de avalanchas violentas.

El tipo de vulcanismo en el Archipiélago Canario es totalmente diferente al de las otras tres áreas peninsulares. Las siete islas del archipiélago son el resultado de la actividad de un **punto caliente**, situado en el borde occidental del océano atlántico, que ha originado ese conjunto de islas oceánicas.

Las Islas Canarias es una zona geográfica con una larga historia volcánica que comienza hace unos 30 millones de años y llega hasta la actualidad. A lo largo de ella, han ocurrido erupciones explosivas de gran magnitud y destrucción, como la del Roque Nublo en Gran Canaria, o algunas del Edificio Cañadas en Tenerife, entre otras. Suerte que, en aquellas épocas remotas, el hombre no había hecho su aparición en las

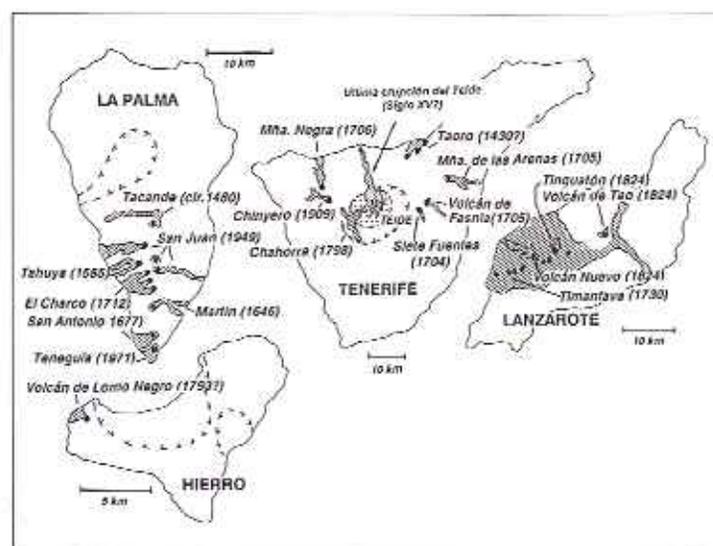
RELACIÓN DE ERUPCIONES HISTÓRICAS HABIDAS EN EL ARCHIPIÉLAGO CANARIO

(según Hernández-Pacheco,1982, y otros)

ISLA	FECHA	NOMBRE DEL VOLCÁN	DURACIÓN (en días)	VOLUMEN APROX. DE MATERIALES (m ³ x 10 ⁶)	ÁREA CUBIERTA POR LOS MATERIALES (m ² x 10 ⁶)
TENERIFE	1430 ?	Taoro			
	1704	Siete Fuentes			
	1705	Fasnia			
	2 - II - 1705	Mtña Arcnas	24	24	4,7
	5 - V - 1706	Mtña Negra	9	66	6,5
	9 - VI - 1798	Chahorra	92	12	4,7
	18 - XI - 1909	Chinyero	10	11	1,5
LA PALMA	1480 ?	Tacande			
	20 - V - 1585	Tahuya	84	16	3,7
	2 - X - 1646	Martín	78	29	7,0
	17 - XI - 1677	San Antonio	65	25	4,5
	9 - X - 1712	El Charco	56	20	10,2
	24 - VI - 1949	San Juan	38	21	4,8
LANZAROTE	26 - X - 1971	Tenegüfa	25	40	3,1
	1 - IX - 1730	Timanfaya	6 años	700	150,0
LANZAROTE	31 - VII - 1824	Tao, Tinguatón, Volcán Nuevo	77		
	? - V - 1793	Lomo Negro	15 ?	2	0,5

islas, pues la violencia de ambas, sobre todo la del Roque Nublo, fue tan considerable que toda la superficie de las isla quedó arrasada. Hechos tan peligrosos y extensivos como esos no se han vuelto a repetir desde al menos hace un millón de años.

Surgida la primera isla (Fuerteventura) de los fondos marinos hace aproximadamente unos 30 millones de años, las erupciones se han sucedido ininterrumpidamente hasta el año 1971, con la erupción del volcán Tenegüfa, en la isla de La Palma. Primero surgieron



Mapa del Archipiélago Canario indicando la distribución del volcanismo histórico. Entre paréntesis las edades más antiguas obtenidas para el volcanismo emergido.



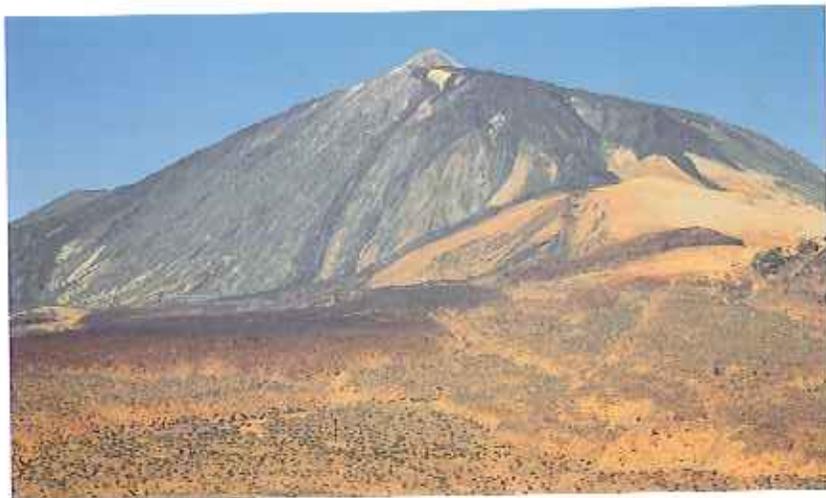
Esquema volcanológico de la isla de Lanzarote durante el comienzo de las erupciones de la región del Timanfaya entre 1730 - 1736. En él se aprecian las áreas afectadas por la lluvia de cenizas en los primeros cuatro meses de crisis volcánica. (Pintado a finales de 1730 por un pintor enviado a Lanzarote por el Cabildo de Fuerteventura).

Fuerteventura y Lanzarote, luego, la actividad volcánica se fue desplazando hacia el oeste apareciendo, en orden sucesivo, Gran Canaria, Tenerife y La Gomera. Mas tarde, surgió La Palma y, por último, la isla más joven y occidental del archipiélago: El Hierro. Sin embargo, la distribución espacial del volcanismo histórico no sigue esa pauta migratoria de este a oeste.

En las Canarias se tienen registradas 17 erupciones históricas en cuatro islas: Lanzarote, Tenerife, La Palma y El Hierro. Casi todas han sido poco explosivas y de corta duración, surgiendo un pequeño cono piroclástico y coladas lávicas de escaso recorrido. Muy pocas supusieron un grave riesgo para la población, dada su pequeña magnitud y alcance. El grado de explosividad volcánica fue bajo y la superficie afectada muy pequeña, dando tiempo suficiente para evacuar

las áreas de riesgo. Ese fue el caso de la erupción histórica del Timanfaya, en Lanzarote, ocurrida el 1 de septiembre de 1730, que resultó la de mayor envergadura espacio-temporal de todas las históricas. Permaneció activa a través de varias fisuras eruptivas durante seis años. Continuas lluvias de piroclastos negros y veloces coladas lávicas surgidas de las fisuras kilométricas, enterraron los campos mas fértiles de la isla, ocasionando la huida del 70% de la población. No hubo víctimas humanas, aunque sí animales provocadas por las emanaciones gaseosas. Las autoridades evacuaron a la población en barcos hacia las islas mas cercanas, principalmente Fuerteventura, o incluso a Tenerife. De allí se tiene constancia de que algunas familias completas emigraron a América y nunca más volvieron a su tierra.

Con el aumento de la densidad de población en el archipiélago, ha aumentado también el riesgo volcánico potencial de algunas zonas semiactivas. De las cuatro islas con vulcanismo histórico, es difícil pronosticar, con las datos disponibles actualmente, en cual de ellas surgirá la próxima erupción. Sin embargo, del análisis histórico se pueden deducir algunas zonas de localización preferente. Así, puede decirse que la mayor probabilidad la tienen el área sur de la dorsal N-S de la isla de La Palma, y el eje central de Tenerife, de orientación N450 E, que alinea las cumbres de Pico Viejo-Teide y dorsal del NE. Si nos atenemos a las características físicas y químicas de las erupciones históricas, los fenómenos volcánicos que cabe esperar en el futuro, se restringen a caída de piroclastos en un radio de varios hectómetros entorno al centro de emisión, y flujo de coladas lávicas fluidas que corran a favor de pendiente. Aunque ninguno de los dos fenómenos parece entrañar riesgo directo para la población, la infraestructura isleña puede ser la gran afectada por una erupción. Las comunicaciones



Panorámica del volcán Teide en la isla de Tenerife, Islas Canarias. Es el único volcán con cierta actividad fumarólica remanente de todo el Archipiélago Canario. (Foto E. Ancochea, Facultad de Geológicas, UCM).

pueden quedar cortadas, los terrenos agrícolas enterrados, los bosques incendiados y, aldeas y pueblos, amenazados de ocupación y, por tanto, necesitados de evacuación. Este último caso ocurrió en la erupción de 1706 del volcán Montaña Negra, en Tenerife, cuando las lavas descendentes alcanzaron la costa norte y sepultaron el puerto de Garachico, el más importante de la isla en aquellos tiempos.

Un caso particular lo constituye el edificio Teide que, con sus 3718 metros de altura, se eleva como un volcán central en la depresión de la Caldera de las Cañadas, en Tenerife. Sin duda, su crecimiento progresivo es una reactivación de la actividad volcánica que existía en la caldera antes de su formación. Este inmenso edificio permanece semiactivo, con anomalías térmicas y emanaciones gaseosas en su cumbre, y luciendo en sus laderas algunas de las erupciones históricas de la isla.

Los volcanes se anuncian por sus terremotos. En el Archipiélago Canario se encuentran instaladas varias estaciones sismológicas del Instituto Geográfico Nacional (Ministerio de Fomento), en vigilancia continua sobre la actividad sísmica de la región.

El papel del geólogo en la reducción de los Riesgos Volcánicos

En el control, predicción y valoración del riesgo. Los geólogos son los mejores profesionales en la primera línea de defensa, que es la predicción. El control ha existido durante años en el Observatorio Volcánico Hawaiano. La erupción del Monte St. Helens en 1980 condujo al establecimiento del Observatorio Volcánico de las Cascadas y al constante control de terremotos bajo aquellos volcanes, que se piensa son los que tienen más probabilidad de entrar en erupción. Establecido por el Servicio Geológico de los Estados Unidos, el equipo de 50 científicos del Observatorio dirige una investigación activa y continua para determinar la potencial actividad volcánica. Los avisos sísmicos suministrados por los terremotos volcánicos fueron particularmente útiles en la minimización de la pérdida de vidas en 1980 en el Monte St. Helens, Washington. La información conseguida desde entonces ha permitido predecir las erupciones menores que han tenido lugar desde el 18 de Mayo de 1980.

La investigación científica de las universidades y de los servicios geológicos estatal y autonómicos está también relacionada con los estudios de predicción. Se han hecho ya algunos avances notables en la ciencia de la predicción que, en condiciones ideales, pueden a veces suministrar al menos un aviso de un día antes de las erupciones específicas del volcán. Los investigadores de la

Universidad de Búfalo tuvieron un total éxito usando un modelo de ordenador para predecir la erupción del Monte Colima, México, el 16 de Abril de 1991. La predicción, sin embargo, está todavía lejos de ser infalible. Erupciones como la del volcán Galagos, en Columbia, de Enero de 1993, que mató al menos a cinco vulcanólogos, han ocurrido sin detectarse ningún aviso previo.

La valoración del riesgo implica la estimación de cuan grande va a ser una erupción, si será probablemente explosiva, y cuales podrían ser sus efectos. Las valoraciones se hacen reconstruyendo la historia eruptiva del volcán, interpretando el origen de los depósitos eruptivos, datando los depósitos para proporcionar una cronología de las erupciones pasadas y cartografiando los depósitos para determinar qué áreas podrían estar afectadas en el futuro por las erupciones. El resultado de estos estudios será, por lo general, un informe con un mapa adjunto. El mapa se utilizará para los planes de zonificación y para determinar las rutas de evacuación y la restricción de accesos.

Dwight Crandell y Donal Mullineaux publicaron en 1978, en el Boletín 1383-C del USGS, la dirección general del principal penacho de cenizas y la trayectoria de las coladas de barro, deducidas de los estudios de los depósitos antiguos, que resultaron extraordinariamente seguras para pronosticar los efectos de la erupción del Monte St. Helens de 1980. Solamente la distancia del efecto explosivo y la distancia de las coladas piroclásticas hacia el norte, noreste y noroeste fueron subestimadas, primero porque nunca dos erupciones son exactamente iguales, y la erupción de 1980 se extendió más allá en estas direcciones que lo que lo habían hecho las erupciones previas. Al menos 15 naciones, incluyendo los Estados Unidos, tienen ahora la valoración de los riesgos volcánicos y los mapas de zonación de riesgos para uno o más de sus volcanes. Sin embargo, de los más de 600 volcanes en el mundo que probablemente son activos, solamente una pequeña parte se ha estudiado en detalle. Ha habido escaso compromiso para investigar estos riesgos particulares.

En la ingeniería y evaluación ambiental. Otro papel de los geólogos supone la ingeniería geológica que se necesita para reconstruir un área después de haber sufrido una erupción. Entre sus responsabilidades se incluyen el reconocimiento de áreas que pueden ser propensas a la destrucción por lahares, la evaluación de la estabilidad de presas naturales, y el suministro de datos geotécnicos para el remedio y la reconstrucción.

En la educación. Aunque los geólogos puedan realizar informes y mapas de riesgos, las personas deben tener suficiente educación geológica para hacer buen uso de esta información. Prohibir el desarrollo de



El Monte Pinatubo en Junio de 1991, en Filipinas, fue una de las mayores erupciones del Siglo XX. Destruyó la Base Aérea de Clark y desplazó a miles de ciudadanos filipinos. Sin embargo, el aviso, al que siguieron las evacuaciones, minimizaron enormemente la pérdida de vidas. Se retiraron grandes cantidades de ceniza, que cubría los terrenos próximos. La nube de ceniza emitida a la parte alta de la atmósfera contribuiría a enrojecer las puestas de sol y a hacer descender la temperatura global durante unos dos años después de la erupción. (Foto del Observatorio Volcánico de las Cascadas, USGS)

poblaciones en áreas de peligro, no es generalmente la solución deseable, ya que el terreno volcánico es hermoso y, salvo los breves periodos puntuales de las erupciones violentas, el vulcanismo produce áreas verdaderamente deseables en las que vivir. Para vivir en tales terrenos sin que resulte una tragedia, la población debería prepararse para aquellos periodos puntuales por medio de la adquisición de la conciencia del riesgo y aceptando que algún día puede ocurrir una erupción. Se necesita un conocimiento completo de los acontecimientos volcánicos y de la historia pasada de los volcanes para garantizar la apreciación de los planes de contingencia y de las políticas de advertencia. Algunas empresas californianas significativas se indignaron en 1982 cuando los geólogos registraron terremotos bajo el área de Mono Lakes y avisaron al público de una posible erupción. Los temores cesaron y la erupción no se produjo, pero la reacción contraria (por aquellos cuyas vidas podrían salvarse por tales avisos) indican la escasa educación y la falta de respeto por el fenómeno volcánico.

Adaptado para la edición española por José Luis Barrera Morate, Geólogo, Doctor en Ciencias Geológicas y Consultor Geológico especializado en Vulcanología.



Los instrumentos sensibles de medida, como este inclinómetro, ayudan a suministrar los avisos que previenen la pérdida de vidas por los riesgos volcánicos. Los instrumentos pueden ayudar a los geólogos a mantener la vigilancia de las áreas de interés algunas de las cuales se relacionan en la página 92. (Foto de J. C. Ratte del archivo fotográfico del USGS).

Bibliografía sobre Volcanes de la edición americana

(*) Indica referencias especialmente interesantes para profesores y estudiantes

- Barberi, F., and others (International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior, Task Group for International Decade of Hazards Reduction), 1990, **Reducing volcanic disaster in the 1990's**: Bull. Volcanological Society of Japan v. 35, pp. 80-95. Available from U.S. Geol. Surv., Mail Stop 905, Reston, VA 22092.
- (*) Berreby, D., 1991, **Harry versus the Volcano**: Discover, June, 1991, pp. 60-67. A brief, colorful article on the current research on prediction of volcanic eruptions.
- (*) Blong, R. J., 1984, **Volcanic Hazards E**: New York, Academic Press.
- Bullard, F. M., 1984, **Volcanoes of the Earth** (2nd ed.): Waukesha, WI, Kalmbach Pub. Co.
- (*) Carey, S., Sigurdsson, H., and Mandeville, C., 1992, **Fire and water at Krakatau**: Earth, v. 1, n. 2. Investigators from University of Rhode Island use field studies for a renewed look at the famous 1883 eruption.
- Casadevall, T. J. (ed.), 1991, **First international symposium on volcanic ash and aviation safety—Program and abstracts**: U.S. Geol. Survey Circular 1065.
- Crandell, D. R., and Waldron, H. H., 1969, **Volcanic hazards in the Cascade Range**: Proc. Conf. on Geologic Hazards and Public Problems: Office of Emergency Preparedness, Santa Rosa, CA, pp. 5-18.
- Crandell, D. R., and Mullineaux, D. R., 1975, **Technique and rationale of volcanic hazards appraisal in the Cascade Range, northwestern United States**: Environ. Geol., v. 1, pp. 23-32.
- Decker, R. W., Wright, T. L., and Stauffer, P. H., (eds.), 1987, **Volcanism in Hawaii**: U.S. Geol. Survey Prof. Paper 1350, 1667 p.
- Decker, R. W., 1978, **State of the art volcano forecasting**: in *Geophysical Predictions*, Natl. Acad. Sci., Washington, DC, pp. 47-57.
- (*) Decker, R. W., and Decker, B., 1980, **Volcano Watching**: Hawaii Natural History Assoc.
- Decker, R. W., and Decker, B., 1991, **Mountains of Fire—The Nature of Volcanoes**: New York, Cambridge University Press.
- (*) Foxworthy, B., and Hill, M., 1982, **Volcanic eruptions of 1980 at Mount St. Helens, the first 100 days**: U.S. Geol. Survey Prof. Paper 1249, 125 p.
- Francis, P., 1976, **Volcanoes**: New York, Penguin Books.
- (*) Gore, R., 1982, **Mediterranean—Sea of man's fate**: (Vesuvius and other volcanoes) National Geographic, Dec., 1982, pp. 694-737.
- (*) Harris, S. L., 1980, **Fire and Ice—The Cascade Volcanoes**: Seattle, WA, Pacific Search Press.
- (*) Helliher, C., and Wright, T. L., 1991, **Lava flow hazards from Kilauea**: Geotimes, v. 36, n. 5, pp. 16-19.
- Herd, D. G., 1986, **The 1985 Ruiz Volcano disaster**: EOS, Trans. Amer. Geophysical Union, pp. 457-460.
- Hill, D. P., and others, 1991, **Response plans for volcanic hazards in the Long Valley Caldera and Mono Lakes (Crater area, California)**: U.S. Geol. Survey Open File Report 91-270, 66 p.
- Howard, A. D., and Dickinson, W. R., 1978, **Volcanic environments**: in *Geology and Environmental Planning*, A. D. Howard and I. Remson, (eds.), McGraw-Hill, pp. 246-274.
- Kling, G. W., and others, 1987, **The 1986 Lake Nyos gas disaster in Cameroon, West Africa**: Science, v. 236, pp. 169-175.
- (*) Lipman, P. W., and Mullineaux, D. R., (eds.), 1981, **The 1980 eruptions on Mt. St Helens, Washington**: U.S. Geol. Survey Prof. Paper 1250, 844 p.
- (*) Krafft, M., and Krafft, K., 1975, **Volcano**: New York, Harry N. Abrams. Very readable book for the layperson, with superb color photographs. Written and produced by the late authors shown on the dedication page of this book.
- McTaggart, K. C., 1960, **The mobility of nuée ardentes**: Amer. Jour. Sci., v. 258, pp. 369-382.
- MacDonald, G. A., 1972, **Volcanoes**: Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall.
- MacDonald, G. A., Abbott, A. T., and Peterson, F. L., 1983, **Volcanoes in the Sea**: Waukesha, WI, Kalmbach Pub. Co.
- Martin, R. C. and Davis, J. F., 1982, **Status of volcanic predictions and emergency response in volcanic hazard zones in California**: Calif. Div. Mines & Geology Special Pub. 63.
- Mason, A. C., and Foster, H. L., 1953, **Diverston of lava flows at Oshima, Japan**: Amer. Jour. Sci., v. 251, pp. 249-258.
- Moxham, R. M., 1972, **Thermal surveillance of volcanoes**: in *The Surveillance and Prediction of Volcanic Activity*, UNESCO, Paris, pp. 103-124.
- Mullineaux, D. R., 1976, **Preliminary overview map of volcanic hazards in the 48 conterminous United States**: U.S. Geol. Survey Map Folio 786.
- National Research Council, 1991, **The Eruption of Nevado del Ruiz Volcano, Colombia, South America, November 13, 1985**: P. O. Box 285, Washington, DC, Natl. Academy Press.
- Newell, R. E., and Decpak, A., 1982, **Mount St. Helens eruptions of 1980 - Atmospheric effects and potential climate impact**: Washington, DC, Natl. Aeronautics and Space Administration SP 458.
- Peterson, D. W., 1988, **Volcanic hazards and public response**: Jour. Geophysical Res., v. 93, pp. 4161-4170.
- Oakeshott, G. B., 1976, **Volcanoes and Earthquakes, Geologic Violence**: New York, McGraw-Hill.
- (*) Pellegrino, C., 1991, **Unearthing Atlantis - An Archaeological Odyssey**: New York, Random House. A superb and readable reconstruction of the eruption in the eastern Mediterranean Sea that produced tsunamis and destroyed the Minoan civilization in 1628 B. C. The myth of Atlantis has this true event as its actual origin.
- (*) Pringle, P., 1990, **Mount St. Helens—new link to the past for volcanic stratigraphy**: Earth Science, v. 43, pp. 18-22.
- Rittmann, A., and Rittmann, L., 1977, **Volcanoes**: New York, G. P. Putnam's Sons.
- Schuster, R. L., 1989, **Engineering geologic effects of the 1980 eruptions of Mount St. Helens**: in *Engineering Geology in Washington*, R. W. Galster, (ed.), WA Div. Geol. and Earth Resources, Bull. 78, v. II, pp. 1203-1228.
- Sheets, P. D., and Grayson, D. K., (eds.), 1979, **Volcanic activity and human ecology**: London, Academic Press. (20 papers), 672 p.
- Simanski, L., 1992, **Volcanism and climate change**: Amer. Geophys. Union, 2000 Florida Ave. N.W. Washington, DC 20009.
- (*) Simkin, T., and others, 1981, **Volcanoes of the World**: Dowden, Hutchinson and Ross, 233 p.
- (*) Stager, C., 1987, **Cameroon's killer lake**: National Geographic, v. 172, pp. 404-420.
- Tilling, R. I., 1989, **Volcanic hazards and their mitigation, progress and problems**: Reviews in Geophysics, v. 27, pp. 237-269.
- Tilling, R. I., (ed.), 1989, **How Volcanoes Work**: Washington, DC, American Geophysical Union.

- Tilling, R. I., (ed.), 1989, **Volcanic Hazards - Short Course in Geology: Volume 1**: Washington, DC, American Geophysical Union.
- (*) Tilling, R. I., 1987, **Monitoring active volcanoes**: U.S. Geol. Survey Pamphlet, 13 p.
- Time - Life Books, 1982, **Volcano E**: Alexandria, VA, Time - Life Books, Planet Earth Series.
- UNESCO, 1972, **The Surveillance and Prediction of Volcanic Activity**: UNESCO, Paris, 166 p.
- United Nations Disaster Relief Coordinator, 1976, **Disaster prevention and mitigation: Volume I, Volcanological aspects**: United Nations, Geneva, 38 p.
- Warrick, R. A., 1975, **Volcano hazards in the U.S.**: Monograph NSF-RA-E-75-012, Univ. Colorado, Boulder, CO.
- (*) Weintraub, B., 1982, **The disaster of El Chichón**: National Geographic, Nov., 1982, pp. 654-684.
- Williams, H., and McBirney, A. R., 1979, **Volcanology**: New York, Freeman, Cooper & Co.
- Williams, R. S., and Moore, J. G., 1973, **Iceland chills a lava flow** E: Geotimes, v. 18, pp. 14-17.
- (*) Wood, C. A., and Kiehl, J., 1990, **Volcanoes of North America**: New York, Cambridge University Press.
- (*) Wright, T. I., and Pierson, T. C., 1992, **Living with volcanoes: The U.S. Geological Survey's volcano hazards program**: U.S. Geol. Survey Circ. 1073.
- Carracedo, J. C.; Badiola R, E. y Soler, V. (1990): Aspectos volcánicos y estructurales, evolución petrológica e implicaciones en riesgo volcánico de la erupción de 1730 en Lanzarote. *Estudios Geológicos*, 46, pp. 25-55.
- Carracedo, J. C.; Soler, V.; Rodríguez Badiola, E. y Hoyos, M. (1990): Zonificación de riesgo para baja magnitud en la Isla de Tenerife. IV Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio (Gijón), pp. 65-72.
- Felpeto, A.; García, A. y Ortiz, R. (1996): Mapas de riesgo. Modelización. En: R. Ortiz (Ed.), *Riesgo Volcánico. Serie Casa de los Volcanes n.º 5*, Servicio de Publicaciones del Cabildo de Lanzarote, pp. 67-98.
- Fernández Navarro, L. (1911): **Erupción volcánica del Chinyero (Tenerife) en noviembre de 1909**. Anales de la Junta para la Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas, Tomo V, Mem. 1, 99 pp.
- Gómez Fernández, F. (1996): **Desarrollo de una metodología para el análisis del riesgo volcánico en el marco de un sistema de información geográfica**. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid.
- Hernández Pacheco, A. (1982): **Sobre una posible erupción en 1793 en la isla del Hierro (Canarias)**. *Estudios Geológicos*, 38, pp. 15-25.
- Hernández-Pacheco, A. (1985): **El vulcanismo histórico en las Islas Canarias**. En: Síntesis de la actividad volcánica de las Islas Canarias. Instituto de Estudios Canarios. La Laguna. pp. 28-38.
- Hernández-Pacheco, A. y Valls, M. C. (1982): **The historic eruptions of La Palma Island. (Canaries)**. Archipelago. Revista da Universidade dos Açores, n.º III, pp. 83-94.
- López Ruiz, J. y Rodríguez Badiola, E. (1980): **La región volcánica neógena del sudeste de España**. *Estudios Geológicos*, 36, pp. 5-63.
- Lorenzo Carbado, A. (1744): **Diario de apuntes de las circunstancias que acaecieron en Lanzarote cuando ardieron los volcanes. Año de 1730 hasta 1736**. Manuscrito desaparecido. Recogido en Hernandez-Pacheco, E. (1909) *Estudio geológico de Lanzarote y de las Isletas Canarias*. Mem. R. Soc. Esp. Hist. Nat., T IV.
- Mallarach, J. M. (1981): **Carta geológica de la región volcánica d'Olot**. Ajuntament d'Olot, Editi.
- Mallarach, J. M. y Martí, J. (1987): **El risc volcànic a la Garrotxa. Primeres aportacions**. *Vitrina* 2, pp. 26-32.
- Martí, J.; Araña, V.; Ablay, G.; Bryan, S.; Mitjavila, J.; Raposo, S.; Pujadas, A. Y.; Romero, C. (1994): **Caracterización de la actividad eruptiva en Tenerife durante los últimos 200.000 años**. En: A. García y A. Felpeto (Eds.) *In Memoriam Dr. José Luis Díez Gil*, Serie Casa de los Volcanes n.º 3, Servicio de Publicaciones del Cabildo de Lanzarote, pp. 157-178.
- Ministerio de Gracia y Justicia (1731): **Descripción del estado a que tiene reducida el Volcán la Isla de Lanzarote desde el primer día de Septiembre de 1730 hasta el 4 de Abril de 1731**. G. y J., Legajo 89 (manuscrito), Archivo Histórico de Simancas, 56 pp.
- Ortiz, R. (Ed.) (1996): **Riesgo Volcánico**. Serie Casa de los Volcanes n.º 5, Servicio de Publicaciones del Cabildo de Lanzarote.
- Ortiz, R.; Alguacil, G.; Olmedilla, J. C.; García, A. Y.; Felpeto, A. (1995): **Teide Decade Volcano: development of instrumentation for volcano monitoring**, *Per. Mineral*, 64, pp. 53-54.
- Ponte y Cologan, A. (1911): **Volcán del Chinyero**. Memoria Histórica descriptiva de esta erupción volcánica, acaecida en 18 de Noviembre de 1909. Tipolit. Tenerife. 61 pp.
- Romero, C. (1991): **Las manifestaciones volcánicas históricas del Archipiélago Canario**. Gobierno de Canarias; Consejería de Política Territorial. 2 Tomos.
- Rumeu de Armas, A. y Araña Saavedra, V. (1982): **Diario pormenorizado de la erupción volcánica de Lanzarote en 1824**. Anuario de Estudios Atlánticos, n.º 28, pp. 15-61.

Bibliografía sobre Volcanes de la edición española

- Ancochea, E. (1983): **Evolución espacial y temporal del vulcanismo reciente de España Central**. Tesis Doctoral. Colección Tesis Doctorales, n.º 203/83. Editorial de la Universidad Complutense de Madrid. 675 pp.
- Ancochea, E.; Fuster, J. M.; Ibarrola, E.; Cendrero, A.; Coello, J.; Hernán, F.; Cantagrel, J. M. y Jamon, C. (1990): **Volcanic evolution of the island of Tenerife (Canary Islands) in the light of new K-Ar data**: Jour. Volcanol. Geotherm. Res. 44, pp. 213-249.
- Araña, V. y Coello, J. (Eds.). (1989): **Los volcanes y la Caldera del Parque Nacional del Teide (Tenerife, Islas Canarias)**. ICONA, Serie Técnica n.º 7, 443 pp.
- Araña, V. y Ortiz (1993): **Riesgo volcánico**. En: J. Martí y V. Araña (Eds.), *La volcanología actual*. Colección Nuevas Tendencias vol. 21, CSIC, pp. 277-385.
- Banda, E.; Dañobeitia, J. J.; Surinach, E. y Ansoorge, J. (1981): **Features of crustal structure under the Canary Islands**. Earth and Planetary Science Letters, 55, pp. 11-24.
- Barrera Morate, J. L. (1996): **Estudio del Volcanismo en la provincia de Ciudad Real**. (Geoprin). Consejería de Agricultura y Medio Ambiente. Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.
- Benitez Padilla, S. (1952): **La erupción de las Manchas en la isla de La Palma y el vulcanismo canario (24 Junio - 31 Julio, 1949)**. El Museo Canario, 41-44, pp. 51-72. Las Palmas de Gran Canaria.
- Cabrera, M. P. y Hernández-Pacheco, A. (1987): **Las erupciones históricas de Tenerife (Canarias) en sus aspectos vulcanológico, petrológico y geoquímico**. *Rev. Mat. Proc. Geol. V. V*, pp. 143-182.
- Carracedo, J. C. (1988): **El riesgo volcánico**. En: *Riesgos Geológicos. Serie Geológico Ambiental*. Pub. Inst. Geol. Minero de España, Madrid, pp. 83-97.
- Carracedo, J. C. (1993): **Volcanismo activo y medio ambiente en las Islas Canarias**. Tierra y Tecnología (I.C.O.G.) 6, pp. 61-70.

Sansón, J. (1996): **La protección civil ante el riesgo de erupciones volcánicas.** En: R. Ortiz (Ed.) *Riesgo Volcánico.* Serie Casa de los Volcanes n.º 5, Servicio de Publicaciones del Cabildo de Lanzarote, pp. 197-216.

Varios autores, 1974, **La erupción del volcán Teneguía (La Palma).** Estudios Geológicos, (número monográfico).

Videos sobre Volcanes de la edición americana

- (*) **Anatomy of a Volcano:** 1981, 57 min. Time-Life Video, 1271 Avenue of the Americas, New York, NY 10020, (219) 484-5940. Focus on Mt. St. Helens.
- Days of Destruction:** 1973, 27 min. Indiana University Audiovisual Center, Bloomington, IN 47405-5901, (812) 335-8087.
- Earth: The Restless Planet:** 1973, 25 min. National Geographic, 17th and M Streets, NW, Washington, DC 20036, (202) 857-7378.
- (*) **Eruption at the Sea:** 1988, 30 min. Káio Productions, P.O. Box 909, Volcano, HI 96785, (808) 967-7166.
- (*) **Eruption: Mt. St. Helens Explodes:** 1980, 25 min. Blackhawk Films, 5959 Triumph St., Commerce, CA 90040-1688, (800) 826-2295.
- Eruption of a New Shield Volcano:** 1987, 48 min. JLM Visuals, 1208 Bridge St., Grafton, WI 53204, (414) 377-7775.
- Eruptive Phenomena of Kilauea's East Rift Zone:** 1987, 43 min. Káio Productions, P. O. Box 909, Volcano, HI 96785, (808) 967-7166.
- Forge of Vulcan:** 1979, 18 min. National Audiovisual Center, National Archives and Records Administration, Customer Service Section PZ, 8700 Edgeworth Drive, Capitol Heights, MD 20743-3701, (301) 763-1896.
- Hawaii Volcanoes National Park:** 1987, 9.5 min. National Park Service, U.S. Geol. Survey Library Special Collections, MS 955, 345 Middlefield Road, Menlo Park, CA 94025, (415) 329-5009.
- Heartbeat of a Volcano:** 1970, 20 min. Britannica Films, 310 South Michigan Ave., Chicago, IL 60604, (800) 621-3900. Focus on Kilauea in Hawaii.
- Hot Spot:** 1974, 9 min. Phoenix BFA Films, 468 Park Ave. South, New York, NY 10016, (800) 221-1274. Focus on Nyiragongo Volcano in Zaire.
- (*) **In the Shadow of Vesuvius:** 1989, 60 min. Vestron Video, P.O. Box 576, Itasca, IL 60143, (800) 523-5503. National Geographic.
- (*) **Inside Hawaiian Volcanoes:** 1989, 25 min. Smithsonian Institution, Richard S. Fiske, Dept. of Mineral Sciences, NHB-119, Smithsonian Institution, Washington, DC 20560. U.S. Geol. Survey Library Special Collections, MS 955, 345 Middlefield Road, Menlo Park, CA 94025, (415) 329-5009.
- (*) **Kilauea - Close-up of an Active Volcano:** 1990, 30 min. Káio Productions, P. O. Box 909, Volcano, HI 96785, (808) 967-7166.
- Life with St. Helens:** 1980, 30 min. PBS Video American Experience Series, 1320 Braddock Place, Alexandria, VA 22314-1698, (800) 424-7693.
- (*) **Mount St. Helens - Why They Died:** 1980, 60 min. San Diego State University Learning Resource Center, San Diego, CA 92182, (714) 265-5726.
- (*) **Mount St. Helens: Monitoring an Active Volcano:** 1985, 25 min. U.S. Geol. Survey, Library Special Collections, MS 955, 345 Middlefield Road, Menlo Park, CA 94025, (415) 329-5009.
- Mount St. Helens—The Turmoil of Creation Continues:** 1989, 90 min. Panorama International Productions, P.O. Box 1255, Beverly Hills, CA 90213, (818) 508-9972.
- Ring of Fire - East of Krakatau:** 1988, 60 minutes Mystic Fire Video, Box 1202, Montauk, NY 11954, (800) 727-8433.
- Rivers of Fire:** 1984, 23 min. The 1984 eruptions of Mauna Loa and Kilauea. U.S. Geol. Survey Library Special Collections, MS 955, 345 Middlefield Road, Menlo Park, CA 94025, (415) 329-5009.
- Saint Helens - Growing Again:** 1987, 19 min. Centre Productions Inc., 1800 30th St. Suite 207, Boulder, CO 80301, (800) 424-1166.
- The Eruption of Kilauea, 1959-60:** 1961, 27 min. U.S. Geol. Survey, Volcano U.S. Geol. Survey Library Special Collections, MS 955, 345 Middlefield Road, Menlo Park, CA 94025, (415) 329-5009.
- The Living Machine:** 1985, 58 min. Corporation for Public Broadcasting, Annenberg - CPB Project, 901 E St. Washington, DC 20004-2006, (800) 532-7637.
- The Magma Chamber:** 1987, 50 min. Osborn Court, Olney Buckinghamshire, MK 46 4AG United Kingdom, Phone 0234-711198, or 713390.
- The Volcanoes of Hawaii:** 1988, 30 min. Norman Berger Productions, 3217 S. Arville St., Las Vegas, NV 89102-7612, (702) 876-2328 or Glenn Ege, 1313 Kalanua Ave., Honolulu, HI 96826.
- (*) **The Volcano Watchers:** 1988, 60 min. PBS Home Video, 1320 Braddock Place, Alexandria, VA 22314-1698, (703) 739-5380.
- Understanding Volcanic Hazards:** International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior, Dr. C. G. Newhall, USGS MS 905, 12201 Sunrise Valley Drive, Reston, VA 22092, (703) 648-6709 on availability.
- Volcanic Eruption in Colombia:** 1988, 15 min. Pan American Health Organization, U.S. Geol. Survey Library Special Collections, MS 955, 345 Middlefield Road, Menlo Park, CA 94025, (415) 329-5009.
- (*) **Volcanism:** 1990, Corporation for Public Broadcasting, Annenberg - CPB Project, 901 E St. Washington, DC 20004-2006, (800) 532-7637.
- Volcano:** 1953, 10 min. Univ. of California at Berkeley, Extension Media Center, 2176 Shattuck Ave., Berkeley, CA 94704, (510) 642-5578.
- Volcano:** 1989, 23 min. Random House Media, Dept. 647, 4000 Hahn Road, Westminster, MD 21157, (800) 638-6460.
- Volcano: The Birth of a Mountain:** 1976, Britanica Films, 310 South Michigan Ave., Chicago, IL 60604, (800) 621-3900.
- Volcano:** 1988, 58 min. Coronet Film and Video, 108 Wilmot Road, Deerfield, IL 60015, (800) 621-2131. Produced by Nora.
- Volcano in Hawaii:** 1990, 60 min. ABC Nightlines, MPI Home Video, 15825 Rob Roy Drive, Oak Forest, IL 60452, (800) 323-0442.
- (*) **Volcano Special:** 1990, 22 min. KGO-TV San Francisco, U.S. Geol. Survey Library Special Collections, MS 955, 345 Middlefield Road, Menlo Park, CA 94025, (415) 329-5009.
- Volcanoes:** 1977, 24 min. Dallas County Community College District, Center for Telecommunications, 4343 N Hwy. 67, Mesquite, TX 75150-2095, (214) 324-7988.
- Volcanoes of the Kanya Rift:** 1988, 28 min. Coronet Film and Video, 108 Wilmot Road, Deerfield, IL 60015, (800) 621-2131.
- (*) **Volcanoscapes** 1988, 45 min. Tropical Visions Video, 62 Halaui Place, Hilo, HI 96720, (808) 935-5557. Eruptions of Kilauea.
- World Famous Volcanoes:** 1988, 30 min. total on 6 programs: Educational Video Network, 1401 19th St. Huntsville, TX 77340, (409) 295-5767. Features Vesuvius, Paricutin, Stromboli, Mauna Loa, Kilauea, and Mt. St. Helens.

DESLIZAMIENTOS Y ALUDES

Los deslizamientos en España producen anualmente unas pérdidas económicas estimadas que pueden alcanzar los 30.000 millones de pesetas y causan varias muertes. Evitar zonas de alto riesgo o, en su caso, proyectar medidas de estabilización por parte de las empresas implicadas en la edificación, promoción y construcción, es una postura deseable. La existencia de buenos mapas geológicos y de estabilidad de laderas incrementa considerablemente la seguridad y el desarrollo de las obras y construcciones.

Dónde ocurren los deslizamientos

Un deslizamiento se define como una masa de terreno que se mueve por fuerzas gravitatorias. El proceso incluye tanto un movimiento ladera abajo como el desplazamiento lateral del material. Pueden incluso producirse movimientos ladera arriba, como ocurre cuando un deslizamiento masivo en su movimiento gravitacional cruza el fondo de un valle y acumula derrubios hacia arriba en la ladera opuesta. El término "deslizamiento" se aplica, en general, a movimientos rápidos del terreno, aunque frecuentemente estos comienzan con una lenta reptación. Un alud es un movimiento similar de nieve y hielo. Los

aludes han causado en España varios muertos en los últimos años. En Turquía en 1992 los aludes mataron a 226 personas.

Los movimientos de ladera de suelos y rocas son procesos naturales que afectan a la superficie de nuestro planeta. La acción constante de la gravedad y el debilitamiento progresivo de los materiales, principalmente debido a la acción de los procesos de meteorización física y química, hacen que los movimientos de ladera sean inevitables a través del tiempo geológico. Sin embargo, al hablar de movimientos de ladera como peligro geológico, se dice que una ladera es peligrosa sólo cuando se prevé que este proceso va a ser lo



Este deslizamiento destruyó varias casas y calles del pueblo de Benamejí en 1989. Anteriormente, en 1963, destruyó más de 90 casas. Los deslizamientos afectan tanto a edificios como a vías de comunicación. La zonificación y gestión del uso del suelo y los diseños especiales en ingeniería pueden reducir enormemente el número de escenas como ésta. (Foto por M. Ferrer).

GRANDES DESLIZAMIENTOS Y ALUDES EN EL MUNDO

AÑO	LOCALIZACIÓN	Nº DE MUERTOS
218 BC	Alpes (alud - Ejército de Anibal)	18.000
1248	Alpes, Francia (alud)	5.000
1618	Monte Conto, Suiza	2.430
1889	South Fork , Johnstown, PA ²	2.200
1906 - 1913	Excavación del Canal de Panamá	cientos
1916 - 1917	Alpes, Italia (alud) ¹	10.000
1920	Kansu, China ⁵	200.000
1928	Presa St. Francis, Southern CA ¹	500
1934	Bihar, Nepal ¹	3.500
1941	Huaraz, Perú (alud y colada de barro)	7.000
1945	Ciudad de Kure, Japón	1.154
1949	Khait - USSR ⁴	12.000
1958	Shizuoka, Japón	1.100
1962	Yungay, Perú	4.500
1963	Embalse de Vaiont, Italia ²	3.000
1966	Aberfan, Gales del Sur (escombrera) ²	144
1967	Rio de Janeiro, Brasil	1.700
1970	Yungay, Perú (alud) ¹	18.000 a 25.000
1970	Rio Alaknanda , India ²	600
1971	Chungar, Perú ²	200
1971	Montañas de Hindu Kuhs, Afganistán ²	1.000
1972	Buffalo Hollow, WV (escombrera) ²	118
1974	Mayunmarca, Perú	450
1976	Guatemala ⁴	cientos
1985	Ponce, Puerto Rico	130
1985	Stava, Italia (escombrera) ²	268
1985	Mamayas, Puerto Rico	129
1989	Tadzhikistán ⁴	270
1991	Uttarkashi, India	2.000
1991	Ormoc, Filipinas	4.081 ³

1 Ejércitos de Italia y Austria.

2 Inundaciones producidas por deslizamientos en ríos, lagos o embalses; víctimas ahogadas.

3 Colapsos y coladas secas activadas por terremotos en laderas formadas por loess en zonas habitadas se observan en más de la mitad de las catástrofes citadas.

4 Deslizamientos producidos durante terremotos.

5 Coladas de barro, deslizamientos e inundaciones asociados a tifones.

Compilado por Coates, 1985; Costa y Baker; Keller, 1985; National Research Council, 1987; Tufty 1969 y la Oficina de Asistencia a Catástrofes en el Extranjero, 1992, *Disaster History*.

suficientemente rápido como para amenazar construcciones o actividades humanas. Muchos deslizamientos tienen lugar en zonas deshabitadas sin ser causa de peligro o riesgo alguno. Los deslizamientos pueden involucrar desde volúmenes tan pequeños como un canto hasta grandes masas de millones de metros cúbicos

de material. El mayor deslizamiento conocido en la Tierra tuvo lugar en Irán en tiempos prehistóricos, con una anchura de 14 Km y una longitud de 19 Km. En España, los mayores deslizamientos conocidos se encuentran en la plataforma continental frente al delta del Ebro.

Riesgos por deslizamientos

La rotura de laderas y taludes ocasiona un costo anual estimado entre 20.000 y 30.000 millones de pesetas en España, según un estudio realizado por el Instituto Tecnológico Geominero (ITGE). Los daños causados por roturas de taludes en autovías y carreteras de algunas provincias andaluzas como consecuencia de las lluvias de finales de 1996 y principios de 1997 han superado estas cifras. Los costes de los trabajos de estabilización de un deslizamiento ocurrido en 1986 en Olivares, Granada, ascendieron a 1000 millones de pesetas. Los daños a edificios y áreas urbanizadas pueden estimarse en varios cientos, incluso miles, de millones de pesetas al año si se consideran los costes por daños directos, reconstrucción y nuevos alojamientos para las personas cuyas viviendas quedan afectadas. En 1989 un deslizamiento antiguo de más de 1 km de longitud se reactivó afectando a calles y casas del pueblo cordobés de Benamejí, en un barrio que ya había sido en parte afectado en 1963 por el mismo movimiento, dejando entonces más de 90 casas destruidas o dañadas.

La mayoría de los deslizamientos se pueden predecir, siendo muy pocos los que se producen en áreas donde la previsión no es posible. En España los deslizamientos de pequeñas dimensiones y las caídas de bloques rocosos son muy comunes en las zonas más montañosas, provocando anualmente algunas pérdidas de vidas humanas sobre todo de conductores. En 1874 un gran desprendimiento rocoso mató a casi un centenar de personas en Azagra (Navarra). En todo el mundo los deslizamientos se cobran una media de unas 600 vidas al año. En 1992 las víctimas de deslizamien-

tos fueron más de 1500, considerando solamente aquellos desastres con más de 10 muertos. Aunque la presencia de pendientes elevadas es un claro condicionante topográfico que debería alertar sobre posibles deslizamientos, la falta de mentalización para tomar en serio estos peligros incrementa el número de pérdidas humanas. Incluso los ingenieros y otros profesionales relacionados con el uso del suelo, aun siendo conscientes de la existencia de antiguos deslizamientos en una determinada zona, se ven tentados de ejecutar los proyectos bajo el convencimiento de que "aquí esto no sucederá".

No es posible evitar todas las pérdidas humanas producidas por "accidentes ocasionales" como la caída de rocas, pero sí es posible prevenir o reducir muchos de los grandes desastres del tipo de los que se describen en la tabla de la página anterior. La prevención se basa en que las roturas rápidas de laderas y taludes ocurren como resultado de la existencia de unos determinados tipos de materiales y de unas condiciones y procesos particulares. Las zonas que presenten condiciones que favorezcan el desarrollo de deslizamientos potenciales pueden evitarse y deben descartarse para la realización de grandes proyectos y urbanizaciones.

Indicadores de inestabilidad natural

Los deslizamientos pueden preverse según los siguientes criterios:

1. Historia de antiguos deslizamientos en la zona circundante y en las mismas unidades estratigráficas del sitio en cuestión. Por ejemplo, en el valle del río

La caída de rocas, o desprendimientos, son procesos frecuentes en taludes rocosos. Los conductores pueden resultar heridos al chocar contra los bloques caídos en la calzada. Incluso los trenes pueden sufrir descarrilamientos por las rocas caídas en la vías. Los desprendimientos de la fotografía ocurrieron sobre el arcén de la Nacional II a su paso por El Molar. (Foto de M. Ferrer).





Fotografía aérea de Anchorage, Alaska, después del terremoto de 1964. Las grietas en los bloques de cabecera del deslizamiento atraviesan las casas de la urbanización de Turnagain Heights. La zona entre las grietas más grandes se hundió como consecuencia de la consolidación y el asentamiento de los sedimentos porosos durante el terremoto. Las ruinas del fondo son los restos de un bloque de apartamentos. Frecuentemente los terremotos desencadenan deslizamientos, y muchos de ellos bloquean carreteras y retrasan las operaciones de rescate y las tareas de reconstrucción. (Foto del archivo del USGS, Denver, CO).

Kootenai, en Montana, se han cartografiado roturas de tipo cuña, históricas, y estas mismas roturas se produjeron en gran número al iniciarse la construcción de la presa Libby en 1967. Los esquistos y filitas que afloran en algunas partes de las Béticas son bien conocidos por los geólogos de la zona como materiales en los que se producen numerosas inestabilidades. Por lo tanto, un mapa geológico que muestre donde afloran estos materiales revela zonas de peligro potencial. Algunos deslizamientos recientes son fácilmente reconocibles en el campo incluso para ojos inexpertos. Los deslizamientos antiguos, con peligro potencial de reactivación, probablemente sean sólo identificados por expertos a partir de foto aérea y técnicas de sensores remotos. Si se ignoran las evidencias se está invitando al desastre.

2. Tipos de suelos tamaño limo-arcilloso, particularmente suelos ricos en arcillas expansivas. Normalmente los movimientos se producen en estos suelos cuando se encuentran saturados, por ejemplo a causa del deshielo y de la nieve fundida en zonas de montaña. Sin embargo, no siempre es necesaria el agua para producir el movimiento. En Kansu, China, cerca de 200.000 personas perdieron la vida cuando un loess seco (suelos finos desarrollados a partir de material

transportado por el viento) comenzó a fluir durante un terremoto, destruyendo viviendas y tragándose a sus habitantes. Los materiales volcánicos sueltos pueden absorber a menudo tal cantidad de agua, que son capaces de fluir rápidamente incluso con muy bajas pendientes. Una colada de barro, junto con gases, destruyó la ciudad romana de Herculano en la base del Vesuvio en el año 79 DC. Formaciones como la de la Arcilla Rissa de Noruega y la Arcilla Leda de Ontario, Canadá, son especialmente favorables a la inestabilidad por generarse flujos durante la licuefacción. Estas arcillas se depositaron durante los últimos periodos glaciares en los mares que ocupaban por entonces aquellas zonas. En los lugares donde el agua dulce subterránea ha lavado las sales depositadas con las arcillas en el medio marino, éstas se vuelven particularmente inestables. En España, en el valle del Guadalquivir aparecen con frecuencia las denominadas margas azules, formación arcillosa que, debido a su alta plasticidad y expansividad, causan continuos problemas de estabilidad incluso en lomas y taludes de baja altura y pendientes.

3. Orientación de los planos de debilidad de los macizos rocosos. Los movimientos traslacionales tienen lugar cuando los planos de estratificación

(planos entre estratos de rocas sedimentarias) buzan ladera abajo. La orientación de la **esquistosidad** (alineaciones de minerales de formas planas y alargadas en rocas metamórficas) en la dirección de la pendiente de la ladera o la orientación de diaclasas paralelas a la pendiente también suponen planos de debilidad propensos a generar deslizamientos. Una gran avalancha rocosa, que se produjo a favor de dos planos de discontinuidad muy netos y continuos, mató a cinco personas en una carretera de Andorra en 1987.

El deslizamiento en el Embalse de Vaiont, en Italia, tuvo lugar en rocas que contenían planos de debilidad buzando fuertemente ladera abajo. Las evidencias de antiguos deslizamientos eran abundantes en el valle del Embalse de Vaiont. Aún así los ingenieros ignoraron lo que ello implicaba y construyeron el embalse. La catástrofe de 1963 sucedió cuando una enorme masa deslizó cayendo al embalse y produciendo una ola de más de 100 m de altura que se propagó por el embalse y pasó por encima de la presa. La presa resistió la inmensa ola que le paso por encima, acreditando a su proyectista. Pero aun así, 3000 personas perecieron atrapadas en el curso de la riada. La perfección del diseño ingenieril demostró no ser un buen sustituto de la investigación geológica del emplazamiento.

4. Excavaciones del pie de laderas y taludes.

Los deslizamientos son especialmente comunes en zonas montañosas, en las riberas de los cursos fluviales, en las orillas de los embalses y en las costas marinas escarpadas. La removilización del material del pie de los acantilados producida por las corrientes y las olas genera cada año innumerables pequeños desprendimientos y deslizamientos. Ejemplos de estos procesos se encuentran con frecuencia en las costas rocosas del norte de España.

5. Temblores de tierra. Un temblor, por muy tenue que sea, puede dar el *toque de gracia* a una ladera que ha estado durante décadas en estado de equilibrio límite. En Granada un deslizamiento de varios millones de metros cúbicos reactivado por el terremoto de Andalucía de 1884 destruyó el pueblo de Güevecar, que hubo de ser reconstruido fuera de la zona afectada. En Canada, más de 130 millones de toneladas de derrubios cubrieron la autopista nº 3 cuando dos pequeños terremotos desencadenaron el deslizamiento de Hope Mountain en la Columbia Británica en 1965. Durante el terremoto de Alaska de 1964, enormes bloques de línea de costa deslizaron hacia el océano en Valdez, Alaska, debido a los deslizamientos rotacionales que se produjeron bajo el nivel del mar.

6. Taludes críticos sometidos a lluvias intensas.

Cuando las condiciones geológicas existentes son las adecuadas, las lluvias intensas pueden desencadenar movimientos en taludes o laderas críticas o inestables. Una noche de enero de 1967, 600 personas perdieron la vida en Brasil cuando un fuerte aguacero de tres horas convirtió unas verdes colinas y unos bellos valles surcados por tranquilos arroyos, en coladas de barro y torrenciales inundaciones. En el sur y zona central de los Apalaches, los períodos de aumento de la frecuencia de deslizamientos coinciden a menudo con fuertes aguaceros y tormentas locales. Estudios realizados en las Rocosas de Canadá revelan un claro vínculo entre las tormentas y los desprendimientos rocosos. Ya se ha citado el ejemplo de los numerosos deslizamientos acaecidos en Andalucía como consecuencia de las continuas lluvias ocurridas durante tres meses en 1996-1997.

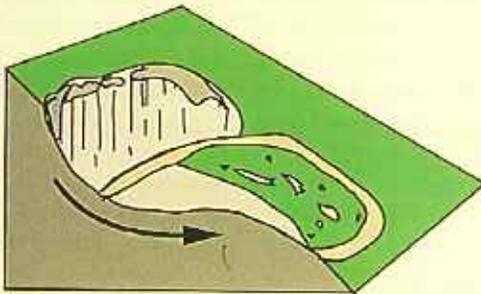
Causas humanas de roturas rápidas en laderas

Las acciones antrópicas pueden causar roturas de laderas catastróficas. Los proyectistas que desconocen los materiales y procesos geológicos, pueden, de forma inconsciente, generar condiciones iguales a las que producen las roturas naturales en determinados lugares.

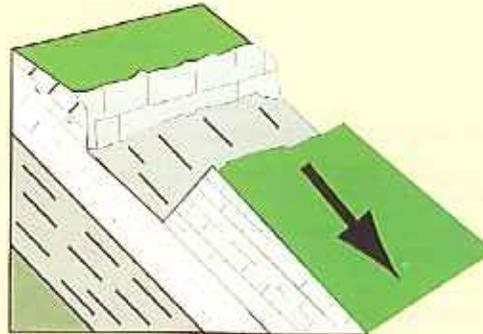
Todos los materiales sueltos como arenas o suelos tienen un **ángulo de reposo natural**, que se define como el ángulo máximo que se puede medir en una pendiente cuando el material está en reposo y es estable. Cuando cualquier terreno se acumula en grandes montones con pendientes más inclinadas que el ángulo de reposo, se crea una situación que incita a la generación de deslizamientos.

Las escombreras de las minas son susceptibles de absorber agua y de sufrir un deterioro gradual de la resistencia al corte. Estos materiales a veces se acumulan en enormes apilamientos con pendientes que superan el ángulo natural de reposo del material (un valor frecuente es de 40°). Cuando el material se debilita, las escombreras pueden romper y deslizar. Ésto ocurrió en Aberfan, Gales, en 1966, cuando 144 personas, de los que 116 eran niños, murieron a causa de un flujo de materiales finos procedentes de la escombrera de una mina. Seis años después, en Buffalo Hollow, en West Virginia, los escombros de una mina de carbón que se habían usado para la construcción de una presa provisional en un valle, rompieron generando una ola de agua y lodo de 5 metros de altura, que bajó por el valle de Buffalo Creek, produciendo más de 100 muertos y daños valorados en más de 50 millones de dólares.

Esquemas de Algunos tipos de Deslizamientos y Conceptos...



Deslizamiento rotacional en suelos



Deslizamiento plano en estratos rocosos

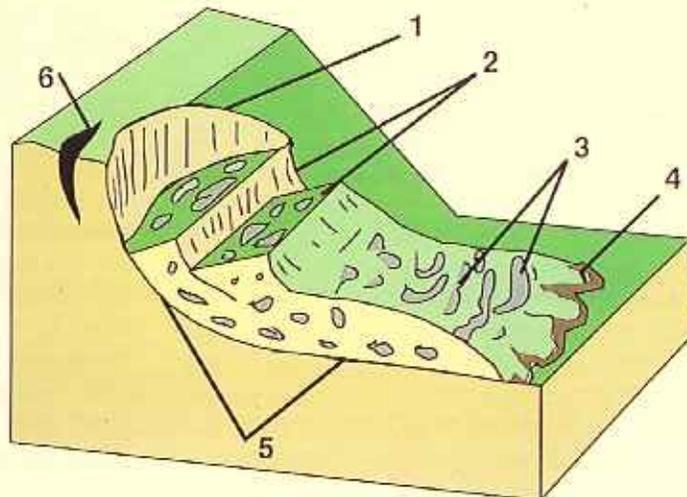
Los dos tipos básicos de deslizamiento son la rotura rotacional y la planar. Las roturas rotacionales son típicas de suelos; los deslizamientos más catastróficos suelen ser roturas planas debido al enorme volumen de roca y de suelo que se puede mover mediante este mecanismo. Otros tipos de rotura son los vuelcos, caídas de bloques y cuñas, pandeos y movimientos complejos de combinación de varios tipos.



Los distintos tipos de movimientos de ladera presentan diferentes velocidades (desde los procesos de reptación hasta movimientos de más de 200 km/h) y mecanismos de movimiento (de deslizamiento a flujo). El tipo de movimiento depende en parte del contenido en agua de los materiales. Con el aumento del contenido en agua el movimiento cambia de deslizamiento a flujo. Los daños y destrozos causados por los movimientos de ladera dependen de su velocidad y, especialmente, de su tamaño.

(Diagrama modificado a partir de Clarkson and Kirby, 1972. Hillslope Form and Process, Cambridge University Press).

Los deslizamientos rotacionales en suelos a menudo muestran formas típicas en su zona de cabecera y movimientos tipo flujo en el pie. El escarpe del deslizamiento (1) normalmente muestra una forma cóncava. Los bloques hundidos (2) muestran movimiento rotacional. Los "hummocks" (3) son lóbulos y crestas ondulados generados durante el flujo del suelo. El pie del deslizamiento (4) presenta movimiento tipo flujo. El plano de rotura (5) limita la base de la masa movida. Las grietas de tracción (6) indican que el deslizamiento es todavía activo y que se pueden producir más movimientos. Si se retira material de la zona del pie se corre el riesgo de reactivar la rotura.



...e imágenes de Cómo se Ven en el Campo

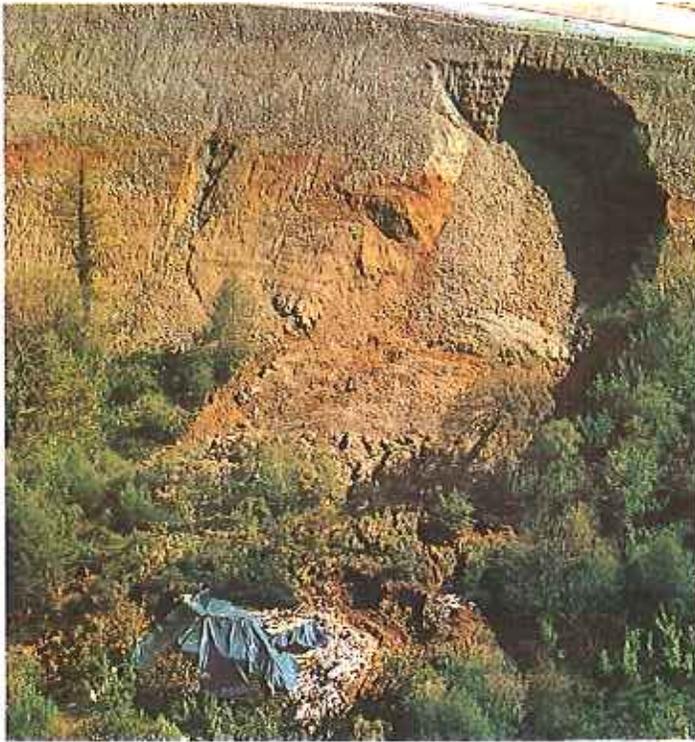


Este bloque rocoso deslizado revela un movimiento a favor de un plano de estratificación, que ha actuado de superficie de rotura. Aunque éste es un deslizamiento de pequeñas dimensiones en Tivissa, Tarragona, su estudio puede servir para modelizar grandes deslizamientos que mueven millones de toneladas de roca. Los planos de debilidad de los macizos rocosos que buzan a favor de la pendiente de la ladera generan situaciones de peligro para las carreteras y edificios situados por debajo o sobre ellos. Las relaciones entre la orientación de los planos de discontinuidad y la pendiente son fáciles de ver en mapas geológicos, lo que implica que los planes preventivos son posibles si se consultan y se entienden los mapas. (Foto por M. Ferrer).

En contraste con el deslizamiento del bloque rocoso de arriba, los flujos o coladas de barro y tierra se mueven pendiente abajo como un material viscoso o plástico. El movimiento puede ser lento o rápido. Esta colada de tierra en Olivares tuvo lugar en materiales arcillosos, avanzando lentamente hacia el pueblo situado en la ladera de enfrente. El material deslizado obstruyó el río Velillos, causó daños en algunas edificaciones y cortó una carretera. (Foto por M. Ferrer).



La ladera arcillosa sobre esta autovía en Granada está afectada por un deslizamiento, que causó la rotura de varios carriles. El escarpe de cabecera se sitúa por debajo de los afloramientos rocosos calcáreos que forman la sierra. La ladera aparece en parte desprovista de olivos por la retirada de un volumen considerable de material en un intento de estabilización, y en el frente se pueden observar otras medidas estabilizadoras. Muchos de los deslizamientos se puede prevenir con diseños adecuados de drenaje, con el uso de estructuras de contención o con el saneo de las zonas débiles o inestables en las laderas. (Foto por M. Ferrer).



Un fallo en el diseño o construcción de un terraplén de autovía sobre una ladera en Guipúzcoa pudo ser la causa de la rotura del mismo. La resistencia del relleno no fue suficiente para soportar las presiones de agua originadas por las frecuentes lluvias en la zona, produciéndose una rotura circular que a su vez empujó al terreno de la base del terraplén, sepultando una vivienda y matando a dos personas en su interior. (Fotos por I. González de Vallejo y Paisajes Españoles).



Alrededor de las grandes ciudades la basura se acumula generalmente en extensos vertederos. Algunos basureros antiguos de gran altura presentan un ángulo muy próximo al de reposo. Al igual que las escombreras mineras, éstos representan un posible peligro por roturas, especialmente en lugares afectados por terremotos. En 1997 se produjo un deslizamiento en el basurero de La Coruña, involucrando a cientos de miles de metros cúbicos de residuos que, tras sufrir una rotura circular, fluyeron ladera abajo rápidamente hasta alcanzar el mar, des-

truyendo algunas casas, matando a una persona y contaminando la costa.

Una ladera en equilibrio estricto, o afectada por un antiguo deslizamiento, puede ponerse en movimiento cuando se excava el material de su pie, situación que sucede a menudo durante cualquier construcción en la base de la ladera. El movimiento puede generarse también cuando se sobrecarga la ladera en la parte superior o en su coronación. Esta situación se produce cuando se construyen edificios, depósitos de

agua, tanques o autopistas sobre laderas de materiales que no pueden mantenerse estables bajo las nuevas condiciones de carga adicional.

El desarrollo humano de determinadas zonas altera el drenaje natural e incrementa la escorrentía superficial. El agua que puede infiltrarse al terreno proveniente del alcantarillado, de los tanques de aguas residuales o la de las pérdidas en tuberías es suficiente para activar el movimiento de una ladera en situación crítica, particularmente en zonas de urbanización intensiva. El control de los sistemas de drenaje es muy importante en zonas de estas características.

A diferencia de los lagos naturales, los embalses destinados al control de inundaciones en valles escarpados a menudo están sujetos a cambios estacionales del nivel de agua de hasta 30 m. Cuando los embalses se vacían rápidamente tras un período de nivel de agua alto (normalmente en primavera), el nivel libre del embalse desciende más rápido que el agua que ocupa los poros de los suelos y rocas saturados de las laderas, por lo que las zonas que antes se encontraban bajo el nivel de las aguas pueden fácilmente deslizarse dentro del embalse. Al desaparecer así el material que forma la base de las laderas, los suelos que hay por encima se quedan sin apoyo, desarrollándose deslizamientos en cadena ladera arriba, que contribuyen a un relleno abundante de sedimentos del embalse.

Deslizamientos y el concepto de Tiempo Geológico

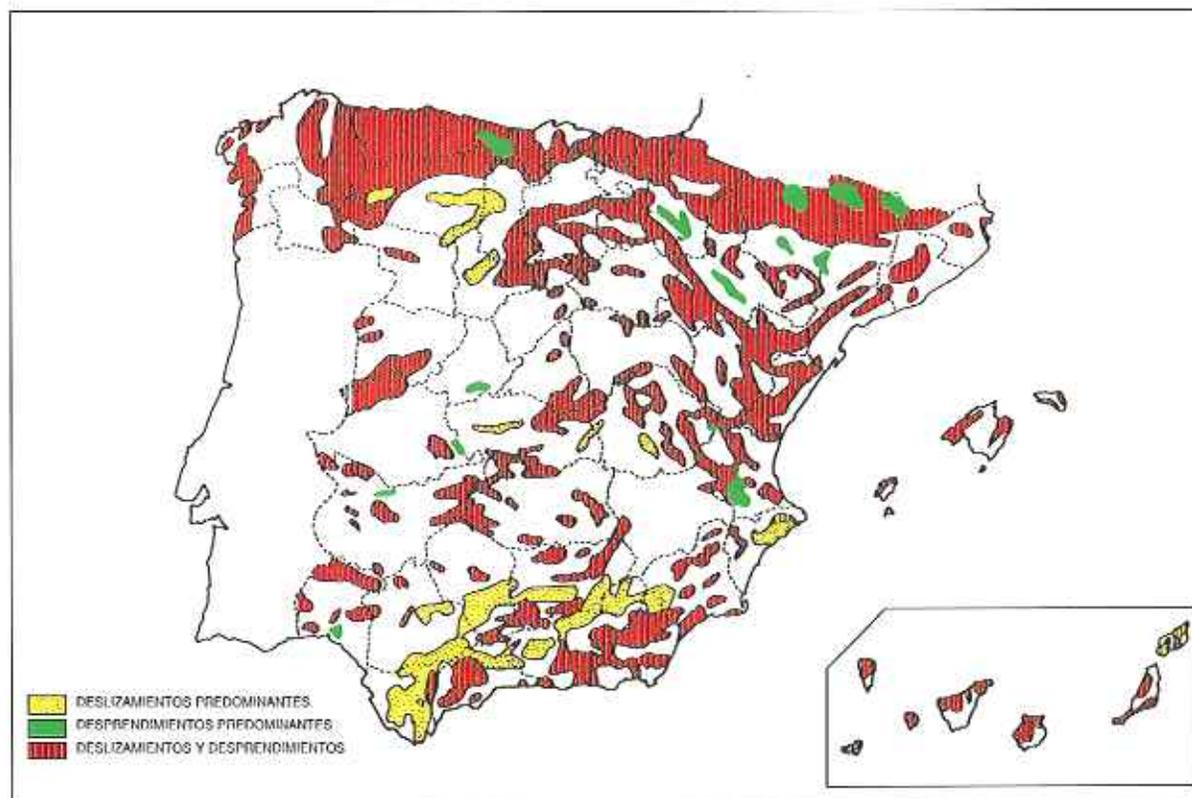
Los **movimientos de ladera**, es decir, los procesos que implican movimiento de materiales ladera abajo, son los procesos geológicos más extendidos y frecuentes. Por

medio de este mecanismo los materiales, suelos y rocas, llegan a los cursos de agua y a los glaciares, siendo transportados después por el agua, hielo o viento. Muchos de los procesos de movimientos de ladera tienen lugar en forma de reptación (creep), mecanismo tan lento que no es apreciable a simple vista. Su evidencia se puede manifestar en las laderas después de algunos años por la falta de alineamiento en vallas o postes de electricidad, la pérdida de la verticalidad en paredes de casas viejas y los pandeos en muros de contención. En lo que a peligrosidad se refiere, la lentitud de este movimiento lo hace inofensivo y seguramente sea el proceso geológico más gradual. Sin embargo no todos los movimientos de ladera son graduales. En ocasiones volúmenes de roca o de suelo se mueven rápidamente. Como analogía explicativa se podría citar al muñeco de nieve que desaparece imperceptiblemente por deshielo gradual, pero ocasionalmente rompe un fragmento y cae. La caída de este fragmento raramente se puede observar, debido a que ocurre en una pequeña fracción de tiempo. Este último fenómeno es análogo al tipo de movimiento de ladera denominado en general desprendimiento, caracterizado por caídas de rocas o vuelcos de bloques rocosos. Se pueden observar las numerosas marcas que los desprendimientos dejan en los taludes de carreteras, e incluso los bloques ya caídos sobre el firme, pero rara vez se ve el momento de la caída de las rocas, procesos que constituyen el eterno problema de los desprendimientos en taludes de carretera en zonas de relieve.

Algunos procesos de rotura de ladera ocurren estacionalmente. En muchas zonas durante las estaciones lluviosas, o en épocas de deshielo, se pueden observar pequeños deslizamientos en las orillas de cursos fluviales, en las praderas o en los taludes de carreteras. A pesar de que no se puede predecir exactamente cuando se producirá un deslizamiento, se puede anticipar que se gene-

Los deslizamientos en zonas de montaña, como éste ocurrido en Julio de 1988 de forma repentina en Villahermosa del Río, Castellón, pueden tener importantes repercusiones económicas, como son las derivadas de los cortes de vías de comunicación, con el consiguiente aislamiento de las poblaciones. (Foto por M. Ferrer).





El mapa muestra las zonas de mayor frecuencia de deslizamientos y desprendimientos en España, que corresponden en general a las zonas montañosas y a las grandes depresiones terciarias. 1: Deslizamientos predominantes. 2: Desprendimientos predominantes. 3: Deslizamientos y desprendimientos. (Mapa por M. Ferrer)

rarán más procesos en las estaciones del año en que los suelos estén saturados con agua de lluvia o procedente del deshielo.

Algunos deslizamientos se producen como consecuencia de terremotos o tormentas que actúan con intervalos de tiempo muy irregulares. Estos fenómenos desencadenantes no se pueden predecir, pero sí pueden ser conocidos y cartografiados los factores y condiciones geológicas que hacen que una zona sea susceptible, mostrando de una manera clara donde se localizan las áreas con alto riesgo de deslizamientos durante una posible tormenta o terremoto. Este tipo de mapas pueden ayudar a planificadores, propietarios y aseguradores.

Los deslizamientos masivos o los grandes flujos que mueven miles de toneladas de material, y que pueden alcanzar velocidades superiores a los 100 Km/h, son los mecanismos menos frecuentes dentro de los movimientos de laderas. Este tipo de fenómenos normalmente deja cicatrices y otros signos reveladores en el paisaje, que permiten reconocer a estas zonas como propensas a los deslizamientos durante muchos años, incluso siglos, después de que estos se hayan producido. Si bien estos gran-

des movimientos naturales no se pueden predecir, sí se pueden prevenir a partir de evidencias de antiguos deslizamientos prehistóricos, y las zonas afectadas se puede descartar para una urbanización intensa o para la construcción de determinadas obras, como presas o centrales eléctricas. El deslizamiento que destruyó el Embalse de Vaiont en Italia se tuvo que haber previsto dado el abundante número de cicatrices de deslizamiento que había en el valle y de las condiciones geológicas, claramente propicias para que se generasen roturas masivas.

A lo largo de los tiempos geológicos ha habido pocos deslizamientos gigantes implicando miles de millones de metros cúbicos de material. El hombre no ha sido testigo de ninguno de ellos, pero existen evidencias en el paisaje en lugares como las tierras de Shasta en California. También parecen claras las evidencias de estos fenómenos en el planeta Marte a partir de fotografías de satélite.

En resumen, los movimientos de ladera a lo largo del tiempo geológico se caracterizan por: (1) movimientos graduales de reptación (creep), (2) períodos regulares de incremento de la actividad de fenómenos de ladera en

función de las estaciones, (3) acontecimientos puntuales de deslizamientos provocados por grandes tormentas regionales o por terremotos. La ocurrencia en el tiempo de los grandes deslizamientos no se puede predecir. Por lo general, cuanto mayores son los deslizamientos con menos frecuencia se producen.

Importancia y Extensión de los Movimientos de Ladera en España

Los movimientos de ladera suponen en España las mayores pérdidas económicas provocadas por procesos geodinámicos externos (sin consideración de la erosión y las inundaciones), siendo los movimientos del terreno más extendidos y frecuentes. La geología, el relieve y las condiciones climáticas propician la ocurrencia de estos fenómenos. En el momento en que éstos afectan a las actividades y construcciones humanas constituyen riesgos geológicos, sobre todo en zonas de alta demografía y ocupación y en vías de comunicación y transporte. La mayoría de las veces los procesos de mayor riesgo son de pequeña escala y sin mucha importancia a nivel de movimiento de masas, cambio del relieve, etc., como es el caso de los desprendimientos de bloques y movimientos superficiales.

La lluvia es el principal factor desencadenante de los movimientos de ladera. Los periodos lluviosos en España vienen acompañados de un incremento importante en los fenómenos de inestabilidad de laderas,

sobre todo flujos y deslizamientos de tipo superficial. Las fuertes lluvias que afectaron a Cataluña en noviembre de 1982 produjeron gran número de inestabilidades superficiales en la zona pirenaica.

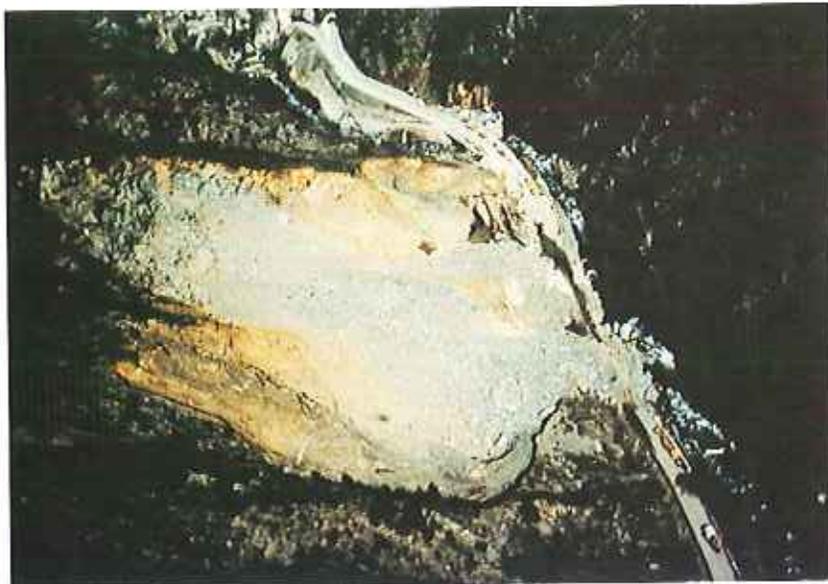
Los movimientos de laderas afectan fundamentalmente a las zonas montañosas del norte y sur de la península, donde los procesos aparecen asociados al fuerte relieve imperante, y a las grandes cuencas terciarias de los ríos, donde el factor más influyente es el carácter arcilloso y arenoso de los materiales. Cabe destacar por su importancia la región pirenaica, las cordilleras Cantábrica y Bética y ciertas áreas del Macizo Ibérico. Merecen también ser citados los procesos de erosión costera, por la abundancia de costas rocosas y escarpadas en el litoral español, que dan lugar a desprendimientos con el consiguiente retroceso de los acantilados, sobre todo en las costas del mar Cantábrico, en Canarias y en Baleares.

Las carreteras de montaña o que atraviesan zonas abruptas se ven frecuentemente afectadas por la caída de rocas o masas de tierra. En Villahermosa del Río (Castellón) el deslizamiento de una ladera en Julio de 1988, con más de un millón de m³, en una zona con movimientos previos conocidos, destruyó completamente la carretera de acceso y embalsó el río al pie del talud.

Con respecto a los cascos urbanos, las principales implicaciones se refieren a la destrucción de viviendas, calles y conducciones diversas que, en ocasiones, afectan a edificios históricos. Es frecuente el deterioro de

ALGUNOS GRANDES DESLIZAMIENTOS EN ESPAÑA

AÑO	LOCALIZACIÓN	DAÑOS
1714	Inza (Navarra)	Destrucción del pueblo
1721,1783	Biniarroi (Mallorca)	
1739, 1963, 1989	Benamajá (Córdoba)	Destrucción de casas
1870	Villar de Silva (Orense)	
1874, 1903	Azagra (Navarra)	91 muertos
1874	Güevejar (Granada)	Destrucción del pueblo
1879,1921	Rosiana (Gran Canaria)	
1881	Puigcerdós (Lérida)	Destrucción de parte del pueblo
1881	Pobla d'Arenós (Castellón)	
1907	La Coma (Lérida)	
1924	Fornalutx (Mallorca)	
1924, 1962	Monachil (Granada)	Destrucción de casas y cultivos
1946	Alcalá de Júcar (Albacete)	
1986	Olivares (Granada)	Obstrucción del río. Pérdidas de 1.000 millones
1988	Villahermosa del Río (Castellón)	Destrucción de carreteras y obstrucción del río



En las zonas abruptas de los Pirineos tienen lugar grandes avalanchas rocosas afectando a macizos rocosos fracturados, como la que sucedió en esta ladera de Andorra en 1988, cortando una carretera, obstruyendo en parte el río y causando cinco muertos.

murallas, castillos, etc. debido a deslizamientos y desprendimientos, como son los casos del castillo de Castalla y de Santa Bárbara en Alicante y el de Almansa en Albacete. En España abundan las ciudades y pueblos construidos junto a farallones y paredes rocosas que sufren desprendimientos que afectan a las edificaciones. Baste citar los casos de Arcos de la Frontera, construido sobre un gran resalte rocoso, Castellfollit de la Roca, asentado al borde de un acantilado volcánico que periódicamente ha sufrido desprendimientos de importancia, y Azagra, en Navarra, que se ubica bajo una gran pared rocosa que ha sufrido también grandes desprendimientos. Deslizamientos de gran magnitud en Puigcercós (Lérida) en 1881 y en Inza (Navarra) en 1714 destruyeron en gran parte las poblaciones.

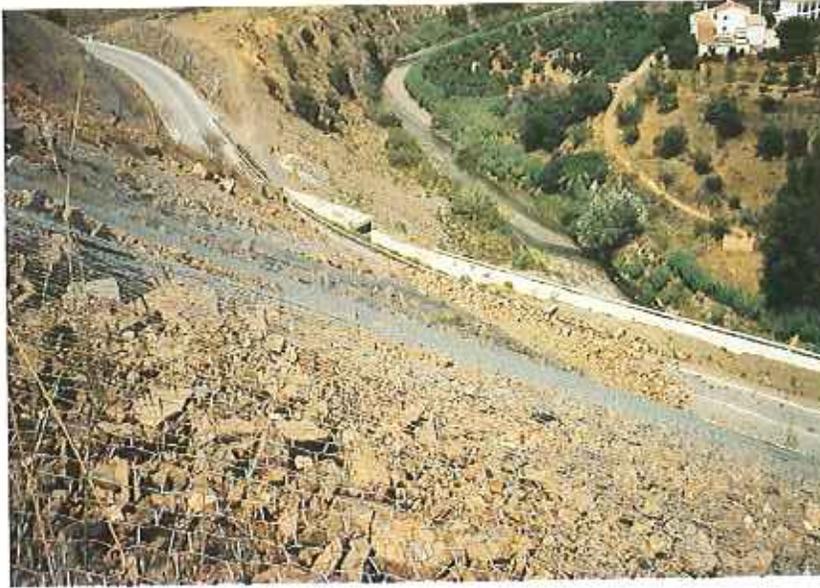
Los movimientos de mayor magnitud, movilizan a veces millones de metros cúbicos de material,

afectan a las áreas más montañosas y abruptas; las zonas correspondientes a los Pirineos, Cordilleras Cantábrica, Béticas e Ibérica presentan grandes deslizamientos actuales e históricos que, en muchas ocasiones, se reactivan. Estas zonas de alta montaña permanecen deshabitadas, por lo que las pérdidas y daños asociados a los movimientos de ladera están restringidos a vías de comunicación principalmente. En los Pirineos catalanes son frecuentes los deslizamientos afectando a las laderas de los valles fluviales. Flujos de lodo y de tierra, coladas de barro, deslizamientos y grandes desprendimientos han sido reconocidos y estudiados en el Pirineo Catalán; los flujos de derrubios suelen afectar a depósitos morrénicos.

En Asturias son relativamente frecuentes los deslizamientos (conocidos como «argayos») de laderas rocosas en materiales fuertemente fracturados y alte-

Los cascos urbanos frecuentemente resultan afectados por deslizamientos en épocas lluviosas. En Diciembre de 1996 un deslizamiento de ladera destruyó una docena de viviendas en el municipio de Santo Tomé, en Jaén. (Foto por M. Ferrer).





Los taludes de las vías de comunicación que atraviesan zonas de relieve importante deben ser diseñados para evitar su rotura, por los importantes daños que ocasionan. Esta carretera en La Viñuela, Málaga, quedó completamente cortada por un gran deslizamiento en el talud excavado para su construcción, a pesar de que se habían aplicado medidas de estabilización. (Foto por L. González de Vallejo).

rados. En la Ibérica, claros ejemplos de grandes deslizamientos de varias decenas de metros cúbicos aparecen en el valle del río Mijares (Castellón). En la rama septentrional de la cordillera, los materiales arcillosos y yesíferos que afloran en los alrededores de Medinaceli aparecen frecuentemente afectados por deslizamientos.

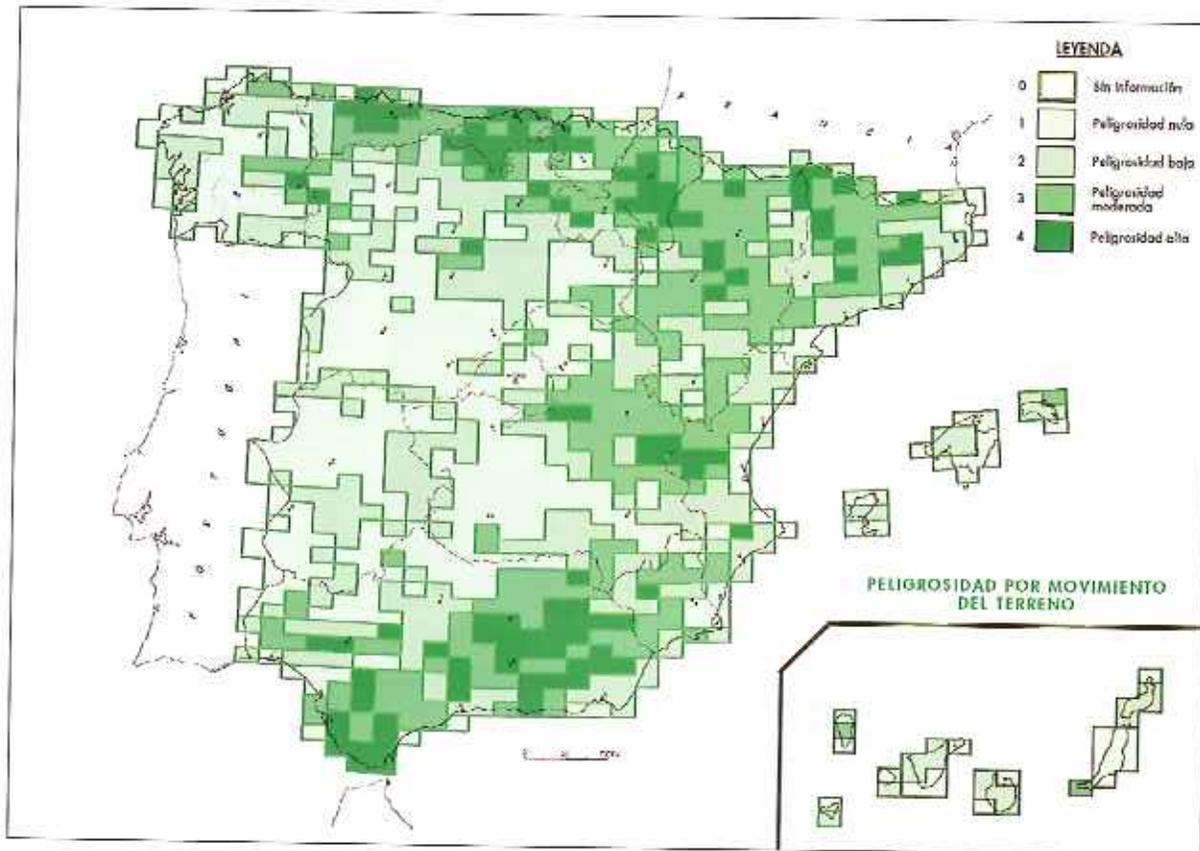
En las zonas húmedas del norte de España con presencia de laderas suaves con materiales arcillosos recubriendo el sustrato se producen grandes movimientos tipo flujo que, al presentar por lo general una velocidad considerable (hasta varios metros al día) constituyen una amenaza para las poblaciones a las que pueden afectar. Este es el caso de Inza y del Puerto de Azpiroz, en Navarra.

En las Béticas, la complejidad de la geología y la diversidad litológica, unidas al carácter abrupto del relieve, inciden de una forma determinante en la aparición de inestabilidades de laderas. En la depresión de Granada se encuentran numerosos ejemplos de grandes deslizamientos en materiales poco competentes. El valle en que se encuentra asentada la población de Monachil y los alrededores de Güevejar son claros ejemplos. En la localidad de Olvera (Cádiz) un gran deslizamiento histórico de más de dos millones de metros cúbicos en arcillas y areniscas sufre actualmente movimientos parciales que han afectado a trazados de carreteras y ferrocarril.

Como lugares propensos a los deslizamientos de cierta magnitud aparecen también las grandes cuen-



No son necesarias pendientes fuertes para que se generen deslizamientos de laderas. Este flujo arcilloso tuvo lugar en unas pocas horas, después de unas intensas lluvias, amenazando al pueblo de Reinoso de Bureba, Burgos. (Foto por M. Ferrer).



La evaluación de la peligrosidad por movimientos del terreno para España se ha realizado en base a criterios que consideran la presencia actual de deslizamientos importantes en cada celda considerada. (IGME, 1987).

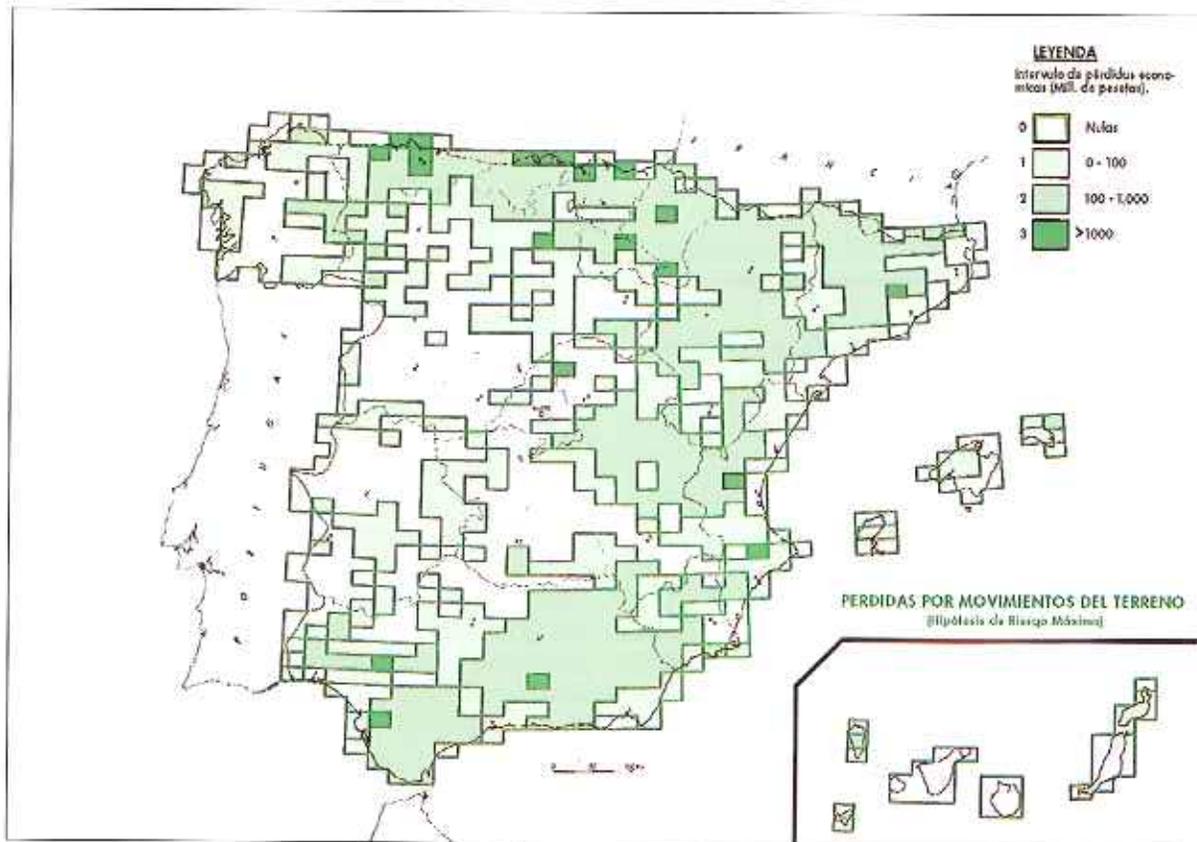
cas terciarias del Guadalquivir, Tajo, Duero y Ebro, caracterizadas por la presencia de materiales arenarcillosos, en ocasiones yesíferos, y calizos que debido al encajamiento de los ríos y a la erosión de las laderas sufren movimientos frecuentes. En estas zonas la litología aparece como un factor condicionante definitivo, junto con las pendientes de las laderas. El valle del río Matayeguas, en la cuenca del Tajo, presenta numerosos fenómenos de inestabilidad. En esta misma zona, en Brihuega, Guadalajara, un gran deslizamiento histórico represó el cauce del río Tajuña. En el valle del Ebro, en Navarra, la presencia de importantes espesores de yesos origina deslizamientos y desprendimientos frecuentes de grandes bloques rocosos en las laderas y paredes de hasta 90 m de altura de los ríos Arga y Aragón. Su generación aparece asociada a fenómenos de erosión fluvial.

Las laderas de los valles fluviales de las zonas montañosas del norte de León y Lugo, han sufrido grandes deslizamientos naturales. En la zona del Bierzo, la línea de ferrocarril Palencia-La Coruña (construida hace 100 años) se ha visto afectada en varias ocasiones por la reactivación de grandes movi-

mientos que eran atravesados por túneles y por la aparición de otros nuevos. Grandes deslizamientos antiguos han sido también reconocidos en las calizas y pizarras de la margen derecha del río Sil, en las zonas de Valle de Cobas y Villar de Silva.

Por último entre los ejemplos de grandes movimientos de ladera históricos ocurridos en España cabe citar los deslizamientos y flujos de derrubios de la depresión de Tirajana en la Isla de Gran Canaria, algunos de ellos afectando a varios millones de metros cúbicos.

Las pérdidas por movimientos de laderas en España han sido estimadas, por un estudio realizado por el IGME sobre el «Impacto económico y social de los riesgos geológicos» para el periodo 1986-2016, en unos 30.000 millones de pesetas anuales. El cálculo ha sido realizado en base a la estimación de la peligrosidad (probabilidad de ocurrencia de un fenómeno en una zona determinada) para todo el territorio nacional en cuadrículas 1/50.000, y las pérdidas han sido calculadas en base a la densidad de urbanización e infraestructuras. La posible reducción de pérdidas por aplicación de medidas de previsión y mitigación ha sido estimada en el 90%,



Pérdidas por movimientos del terreno estimadas para España en el periodo 1986-2016 en hipótesis de riesgos máximo. Este mapa de movimientos de terrenos, incluye las pérdidas debidas a deslizamientos, así como las correspondientes a hundimientos, que son tratadas en capítulo de subsidencias (IGME, 1987).

siendo el coste estimativo de estas medidas aproximadamente el 10% de las pérdidas totales.

Las cifras calculadas incluyen pérdidas en núcleos urbanos y en obras de infraestructura, por lo que el mayor riesgo corresponde a las regiones más extensas, más pobladas y urbanizadas, no necesariamente a las zonas que sufren mayor número de deslizamientos. Con respecto a la distribución de las pérdidas totales por Comunidades Autónomas, las más afectadas son Andalucía, Aragón, Cataluña y Castilla-La Mancha, y las menos Madrid, Baleares, Canarias y Extremadura. Con respecto a las víctimas, se han estimado entre 70 y varios centenares para el citado periodo 1986-2016, en base a registros históricos, estimaciones de crecimiento de población, de ocupación de zonas inestables, etc. Las cifras más altas corresponden a Andalucía, Cataluña, Navarra, País Vasco, Aragón, Cantabria y Asturias.

Para la estimación del riesgo por movimientos de ladera debe ser evaluada la peligrosidad potencial, lo que

conlleva la predicción espacial y temporal de ocurrencia de los procesos. La complejidad asociada a estos estudios, además de la unida al análisis de cada uno de los factores que intervienen, hace muy compleja la labor. En España se han realizado diversas cartografías de peligrosidad (a diferentes escalas y para regiones o zonas determinadas) atendiendo a la frecuencia y extensión de los movimientos ocurridos o actuales, no con carácter predictivo sino informativo, aunque de por sí estas cartografías tienen cierto carácter predictivo, ya que el conocimiento de que en una zona ocurren movimientos implica que pueden seguir ocurriendo.

El papel del geólogo en la disminución de la peligrosidad por movimientos de ladera

En el reconocimiento de campo. Cuanto más susceptible es una zona de tener deslizamientos y más la invade el hombre, mayor es la necesidad de una investigación geológica completa.

Por ello, la participación de geólogos debería ser obligatoria en la caracterización de campo e investigaciones in situ de emplazamientos de cualquier obra o estructura cuyo fallo pueda amenazar vidas humanas o bienes materiales importantes. Ninguna estructura es más segura que su propio emplazamiento geológico.

El examen geológico de las laderas requiere al menos la evaluación de los siguientes puntos:

1. Evaluación de la topografía, relieve y de la forma e inclinación de las laderas.
2. El tipo y propiedades de los estratos rocosos que forman las laderas.
3. El tipo y espesor de suelo que aparece.
4. La orientación de los planos de estratificación o de la fábrica de la roca.
5. La frecuencia y la orientación de los planos de discontinuidad (como diaclasas, fallas), su continuidad, propiedades y relleno.
6. La cantidad y el tipo de vegetación que presenta la ladera.
7. Las fuentes de aporte de agua y las propiedades hidrogeológicas de los materiales.
8. La naturaleza del drenaje superficial y subterráneo, así como cualquier drenaje artificial.
9. La determinación de la historia sísmica de la zona.
10. Las evidencias de antiguos movimientos de ladera: deslizamientos, flujos, desprendimientos.
11. Una evaluación del posible volumen de materiales susceptible de romper y deslizar, los posibles mecanismos de rotura y el área que podría ser afectada.

En los servicios públicos. A nivel regional, los geólogos tienen las funciones de la toma de datos, recopilación y organización de la información básica necesaria para su uso posterior en la planificación del desarrollo de una zona. Los geólogos contratados por los servicios geológicos autonómicos y el servicio geológico estatal (ITGE) aportan un gran servicio público con la realización de mapas geológicos y de estabilidad de laderas. La cartografía está basada en estudios de campo de los suelos y formaciones rocosas apoyados con técnicas de sensores remotos, entre los que se incluyen fotografía aérea y de satélite, y técnicas infor-

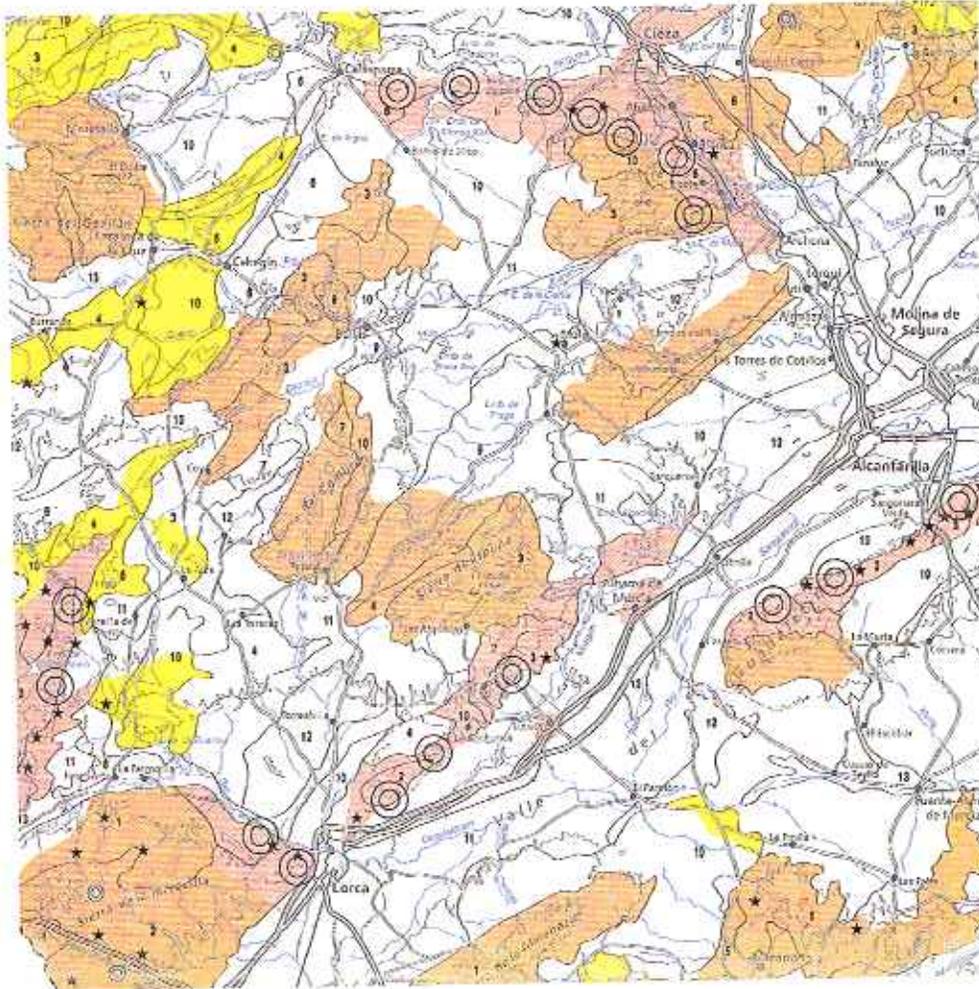
máticas. Los mapas publicados son utilizados por ingenieros, contratistas, constructores y propietarios. En España, el Instituto Tecnológico Geominero desarrolla trabajos de cartografía de deslizamientos y de zonas susceptibles a diversas escalas, desde regionales a locales. Otra de sus funciones es prestar asistencia técnica en casos de poblaciones afectadas por deslizamientos en todo el ámbito nacional.

En la investigación. La determinación cuantitativa de la estabilidad de las laderas la realizan ingenieros geólogos e ingenieros geotécnicos. El cálculo del "factor de seguridad", estimado a partir de la relación entre las fuerzas que tienden a retener el material en su sitio y aquellas que tienden a que deslice o caiga, es un requisito fundamental para la mayoría de los proyectos de ingeniería que incluyen actuaciones sobre laderas o terrenos con pendiente. Cuanto mejor se conozcan los materiales y los procesos geológicos presentes en un determinado sitio, más fiable y seguro será su desarrollo. La investigación proporciona mejores formas de búsqueda de emplazamientos y evaluación de datos. La ingeniería civil y la minería se benefician particularmente de las investigaciones sobre estabilidad de laderas.

En Rusia se está llevando a cabo un importante programa de investigación desde hace años sobre movimientos masivos del terreno. El estudio de los mecanismos y tipos de roturas en el terreno ayuda al diseño más eficiente de los métodos de voladura que se aplican en excavaciones mineras y en grandes proyectos constructivos. Los beneficios por la aplicación de estas investigaciones por parte de los ingenieros los reciben, en última instancia, los ciudadanos.

Los ordenadores permiten la investigación y la modelización detallada de la rotura de laderas y taludes en suelos y rocas, y los potentes programas sustituyen los tediosos cálculos que se tenían que realizar antes para determinar el factor de seguridad, además de permitir otros tipos de análisis y cálculos más sofisticados.

En esta era de tecnología electrónica y biológica, para un lector profano podría parecer que la mayoría de las respuestas a los problemas relacionados con algo aparentemente primitivo, como es la caída de rocas, ya deberían estar resueltas, pero no es así. En particular, el mecanismo por el cual sorprendentemente las rocas se desplazan lateralmente grandes distancias cuando se produce una avalancha rocosa todavía no está claro. La estabilidad de las laderas y taludes y los movimientos de las rocas son temas muy apropiados para la investigación en esta era de alta tecnología.



Parte del mapa de peligrosidad por movimientos de ladera realizado en la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia por el ITGE. El grado de peligrosidad es alto para las zonas rosas, medio para las naranjas y bajo para las amarillas. Las zonas en blanco presentan peligrosidad nula. Además se han marcado los deslizamientos actuales con asteriscos y las áreas con inestabilidad generalizada con círculos, negros para deslizamientos de magnitud importante y azules para deslizamientos de poca magnitud. Los números indican las litologías y tipos de materiales predominantes. Este tipo de mapas suponen una primera aproximación para la evaluación de zonas peligrosas y la ordenación del territorio. (ITGE, 1996).

En la educación. La geología es una ciencia esencial para entender lo que es un buen uso del terreno. Es importante que los ciudadanos entiendan los peligros que pueden entrañar las laderas porque muchas de sus casas y urbanizaciones están situadas sobre ellas. La peligrosidad por movimientos de ladera debería ser abordada en cursos introductorios de geología y ciencias de la tierra, que tendrían que ser impartidos únicamente por profesores con una amplia formación en geología.

En algunas universidades los geólogos se encuentran entre los profesores de ingeniería geológica y geología ambiental. La geología debe formar parte de la

educación de los ingenieros civiles o de medio ambiente, así como de los arquitectos. Está demostrado que los proyectos de urbanización y construcción diseñados con la contribución de geólogos tienen mayor éxito en la reducción de daños producidos por deslizamientos que aquellos en los que la geología ha sido omitida o en que los estudios geológicos han sido realizados por personas sin formación en esta ciencia. Sólo algunos ingenieros civiles realizan cursos de ingeniería geológica y sólo la mitad reciben algún curso de geología.

Los geólogos también están implicados en la educación pública, por ejemplo estableciendo itinerarios guía-

dos en zonas de interés científico donde la gente pueda adquirir conocimientos sobre los movimientos de laderas. Uno de los deslizamientos más costosos de la historia tuvo lugar cerca de Thistle, Utah, en 1983, donde fueron necesarios más de 200 millones de dólares para la reconstrucción de una autopista nacional y una vía de ferrocarril. Este lugar se utiliza en la actualidad como recurso educativo y zona tipo para estudios científicos. Con este mismo fin existen otros casos como el deslizamiento de Madison Canyon, en Montana, y el de Gros Ventre, en Wyoming. En España el ITGE, en colaboración con la Dirección General de Protección Civil, publi-

ca folletos explicativos sobre la importancia y los daños provocados por los riesgos geológicos en España, incluyendo los deslizamientos.

Adaptación realizada por Luis I. González de Vallejo, Catedrático de Ingeniería Geológica, U.C.M., Dr. en Geología Económica, M.Sc. Ingeniería Geológica, Imperial College. Universidad de Londres y por Mercedes Ferrer, Dra. en C.C. Geológicas, Investigadora del Instituto Tecnológico Geominero de España, Profesora Asociada de Ingeniería Geológica, U.C.M.

Bibliografía sobre Deslizamientos y Aludes de la edición americana

(*) Indica referencias bibliográficas especialmente adecuadas para educadores

- Abrahams, A. D., (ed.), 1986, *Hillslope Processes*: London, Allen & Unwin.
- Anderson, M. G., and Richards, K. S., (eds.), 1987, *Slope Stability*: New York, John Wiley.
- Armstrong, B., and Williams, K., 1992, *The Avalanche Book* (2nd ed.) F: Golden, CO, Fulcrum.
- Brabb, E. H., 1985, *On the line, losing by a landslide*: *Natural Hazards Observer* (November, 1985), Institute of Behavioral Science, University of Colorado, Boulder, CO.
- Bromhead, E. N., 1985, *The Stability of Slopes*: New York, Methuen.
- Brundsen, D., and Prior, D. B., 1984, *Slope Instability*: New York, John Wiley.
- Chowdhury, R. N., 1978, *Slope Analysis*: Amsterdam, Elsevier.
- (*) Close, U., and McCormick, 1922, *Where the mountains walked*: *National Geographic*, v. 41, pp. 445-520. (Kansu, China, - 1920 earthquakes and landslides).
- Coates, D. R., (ed.), 1977, *Landslides*: *Geol. Soc. Amer. Reviews in Engineering Geology*, v. 3, 278 p.
- Committee on Ground Failure Hazards, Commission on Engineering and Technical Systems, National Research Council, 1985, *Reducing losses from landsliding within the United States*: Washington, DC, National Academy Press.
- Committee on Ground Failure Hazards, Mitigation Research, National Research Council, 1990, *Snow Avalanche Hazards and Mitigation in the United States*: Washington, DC, National Academy Press.
- Costa, J. E., and Wieczorek, G. F., (eds.), 1987, *Debris flows, avalanches: process, recognition and mitigation*: *Geol. Soc. Amer. Reviews in Engineering Geology*, v. 7, 248 p.
- Crozier, M. J., 1986, *Landslides: Causes, Consequences and Environment*: New York, Chapman & Hall.
- (*) Cummins, J., 1981, *Mudflows resulting from the May 18, 1980, eruption of Mount St. Helens*: U.S. Geol. Survey, Circular 850 B.
- (*) Cupp, D., 1982, *Avalanche!*: *National Geographic*, v. 162, pp. 280-305.
- (*) Fleming, R. W., and Taylor, F. A., 1980, *Estimating the cost of landslide damage in the United States*: U.S. Geol. Survey Circular 832.
- Fleming, R. W., and Varnes, D. J., 1991, *Slope movements*: in *The Heritage of Engineering Geology: The First Hundred Years*, G. A., Kiersch (ed.), *Geol. Soc. Amer. Centennial Special Volume 3*, pp. 201-218.
- Hock, E., and Bray, J., 1981, *Rock Slope Engineering* (2nd. ed.): London, Inst. Mining & Metallurgy.
- Hollingsworth, R. A., and Kovacs, G. S., 1981, *Soil slumps and debris flows: prediction and protection*: *Bull. Assoc. of Engrg. Geologists*, v. 18, pp. 17-28.
- International Snow Science Workshop Committee, 1990 *Proceedings of the International Snow Science Workshop: October 9-13, 1990, Bigfork, Montana*: International Snow Science Workshop Committee, P. O. Box 372, Big Fork, MT 59911, 337 p. Focus on avalanche control.
- Keefe, D. K., 1984, *Landslides caused by earthquakes*: *Geol. Soc. Amer. Bull.* 95, pp. 406-421.
- Keefe, D. K., and others, 1987, *Real-time landslide warning during heavy rainfall*: *Science*, v. 238, pp. 921-925.
- (*) Kenney, N. T., 1969, *Southern California's trial by mud and water*: *National Geographic*, v. 136, pp. 552-573.
- (*) Kiersch, G. A., 1964, *Vaiont Reservoir disaster*: *Civil. Engrg.*, v. 34, pp. 32-39.
- Kockelman, W. J., 1986, *Some techniques for reducing landslide hazards*: *Bull. Assoc. Engrg. Geologists*, v. 23, pp. 29-49.
- (*) Krohn, J. P., and Slosson, J. E., 1976, *Landslide potential in the United States*: *California Geology*, Vol. 29, No. 10, pp. 224-231.
- (*) Leighton, F. B., 1976, *Urban landslides: targets for land use planning in California*: *Geol. Soc. Amer. Spec. Paper* n. 174, pp. 37-60.
- (*) McDowell, B., 1962, *Avalanche!*: *National Geographic*, v. 121, pp. 855-880. (Avalanche in Peru).
- Mears, A. I., 1992, *Colorado snow-avalanche area studies and guidelines for avalanche-hazard planning*: *Colorado Geol. Survey* (an update of 1979 Special Publication 7).
- Melosh, H. J., 1990, *Giant rock avalanches*: *Nature*, v. 348, pp. 482-483.
- (*) Nilsen, T., Wright, R., Vlassic, T., and Spangle, W., 1979, *Relative slope stability and land use planning in the San Francisco Bay region*: *California U.S. Geol. Survey Prof. Paper* 944.
- Peck, R. B., 1967, *Stability of natural slopes*: *Amer. Soc. Civil. Engrs. Jour. Soil Mech. and Foundations*, v. 93, pp. 403-417.
- Perla, R. I., and Martinelli, M., 1975, *Avalanche Handbook*: U. S. Forest Service Agriculture Handbook.
- Plant, N., and Griggs, G. B., 1990, *Coastal landslides and the Loma Prieta earthquake*: *Earth Science*, v. 43, pp. 12-18.
- (*) Radbruch-Hall, D., and others, 1982, *Landslide overview map of the conterminous United States*: U.S. Geol. Survey Prof. Paper 1183, 25 p.

- Schurman, G., and Slosson, J. B., 1992, **Forensic Geology**: New York, Academic Press. (Contains three excellent case studies on landslides with an emphasis on litigation caused by these.)
- (*) Schultz, A. P., and Southworth, C. S., (eds.), 1987, **Landslides of eastern North America** U. S. Geol. Survey Circular 1008, 43 p.
- Schuster, R. L., 1989, **Long-term landslide hazard mitigation programs: structure and experience from other countries**: Bull. Assoc. Engrg. Geologists, v. 26, pp. 109-133.
- Schuster, R. L., (ed.), 1986, **Landslide dams: processes, risk, and mitigation**: Amer. Soc. Civil Engrs. Geotech. Spec. Pub. n. 3, ASCE, 345 East 47th St., N.Y., N.Y., 10017-2398, 162 p.
- (*) Schuster, R. L., and Fleming, R. W., 1986, **Economic losses and fatalities due to landslides** Bull. Assoc. Engrg. Geologists, v. 23, pp. 11-28.
- Schuster, R. L., and Krizek, R. L., (eds.), 1978, **Landslides, analysis, and control**: Natl. Research Council, Transportation Research Board, Special Report 176, 234 p.
- Selby, M. J., 1982, **Hillslope Materials and Processes**: New York, Oxford Univ. Press.
- (*) Selby, M. J., 1987, **Slopes and Weathering in Human Activity and Environmental Processes**, K. J. Gregory and D. E. Walling, (eds.), New York, Wiley, pp. 87-116.
- Sidle, R. C., Pierce, A. J., and O'Loughlin, C. L., 1985, **Hillslope stability and land use**: Am Geophys. Union Water Res. Monograph, n. 11, 140 p.
- Siebert, L., 1984, **Large volcanic debris avalanches**: Jour. Volcanology & Geothermal Res., v. 22, pp. 163-197.
- Terzaghi, K., 1950, **Mechanism of landslides**: Geol. Soc. Amer. Berkey Volume, pp. 83-123.
- Transportation Research Board, Natl. Research Council, 1992, **Rockfall prediction and control and landslide case histories**: Transportation Research Record n. 1343., Washington, DC, Natl. Research Council, Transportation Research Board.
- Vanes, D. J., and others, 1984, **Landslide hazard zonation: a review of principles and practices**: UNESCO, 7 Place de Fontenay, 75700 Paris, 63 p.
- Voight, B., (ed.), 1978, **Rockslides and Avalanches**: Amsterdam, Elsevier.
- Wieczorek, G. F., 1984, **Preparing a detailed landslide-inventory map for hazard evaluation and reduction**: Bull. Assoc. Engrg. Geologists, v. 24, pp. 337-342.
- Wold, R. L., Jr., and Jochim, C., 1989, **Landslide loss reduction: A guide for state and local government planning** E: Federal Emergency Management Agency, P. O. Box 70274, Washington, DC 20024.
- Zaruba, Q., and Mencl, V., 1982, **Landslides and Their Control**: Amsterdam, Elsevier.

Bibliografía sobre Deslizamientos y Aludes de la edición española

- Ayala, F. y Ferrer, M. (1989): **Extent and Economic Significance of Landslides in Spain**, in: *Landslides, Extent and Economic Significance*. Eds. Brabb & Harrod. Balkema.
- Corominas, J. y Alonso, E. (eds.) (1988): **II Simposio sobre Taludes y Laderas Inestables**. Ponencias y Comunicaciones. Andorra.
- Corominas, J. y Alonso, E. (eds.) (1992): **III Simposio sobre Taludes y Laderas Inestables**. Ponencias y Comunicaciones. La Coruña.
- Chucón, J.; Irigaray, C.; y Fernandez, T. (eds.) (1996): **Landslides**. Proceedings of the 8th Int. Conf. and Field Trip on Landslides. Granada, España. Balkema.
- ETS I.C.C.P., U.P. de Barcelona (ed.) (1984): **Inestabilidad de Laderas en el Pirineo**. Ponencias y Comunicaciones.

- Ferrer, M. (1987): **Deslizamientos, Desprendimientos, Flujos y Avalanchas**, in: *Riesgos Geológicos*. IGME.
- Ferrer, M. (1995): **Los Movimientos de Ladera en España**, in: *Reducción de Riesgos Geológicos*. ITGE- Real Academia de CC. Exactas, Físicas y Naturales.
- IGME (1987): **Impacto Económico y Social de los Riesgos Geológicos en España**.
- ITGE (1988): **Catálogo Nacional de Riesgos Geológicos**.
- ITGE (1989 a 1992): **Los Peligros Naturales en España**.

Videos sobre Deslizamientos y Aludes de la edición americana

- Buffalo Creek Flood: An Act of Man**: 1975, 40 min. Appalshop Films, 306 Madison St., Box 743 A. Whitesburg, KY 41858, (213) 666-6500. Referente al desastre de Buffalo Creek producido por el estallido de la cola del embalse.
- Debris Flow Dynamics**: 1987, 23 min. U.S. Geol. Survey. Compilado por John Costa y G. P. Williams. Consiste en un pasco por los flujos de derrubios de Japón y China. Disponible para préstamo por el U.S. Geol. Survey Library Special Collections, MS 955, 345 Middlefield Road, Menlo Park, CA 94025, (415) 329-4009.
- Debris Flows of the Tibetan Plateau**: 1978, 35 min. People's Republic of China. Disponible para préstamo por el U.S. Geol. Survey Library Special Collections, MS 955, 345 Middlefield Road, Menlo Park, CA 94025, (415) 329-4009.
- Landslide, the 1979 Abbotsford Disaster**: 1984, 40 min. University of Otago, New Zealand. Disponible para préstamo por el U.S. Geol. Survey Library Special Collections, MS 955, 345 Middlefield Road, Menlo Park, CA 94025, (415) 329-4009.
- The Rissa Landslide**: 1985, 25 min. Norwegian Geotechnical Institute, Solicitan a Leif Carserud, Sveriges Geologiska Undersökning: Killiangatan 10, 223 50 Lund Sweden, Telephone 009 46 46 13 14 56. Uno de los más espectaculares videos sobre deslizamientos jamás hechos. Muestra bloques masivos de arcillas rígidas marinas en movimiento actual.
- Soil Mechanics in Permafrost Regions**: 1975, 30 min. Genosys Systems Inc., 1057 E. Meadow Circle, Palo Alto, CA 94303, (415) 494-3701.
- Slope Stability of Waste Dams and Embankments**: 1979, 28 min. U. S. Dept. of Labor, National Mine Health and Safety Academy, P. O. Box 1166, Beckley, WV 25802-1166, (304) 256-3257.
- USGS Landslide Prediction Efforts**: 1987, 120 min. Un video formativo para geólogos del Servicio Geológico. Estados Unidos sobre métodos de predicción de deslizamientos. Disponible para préstamo Disponible para préstamo por el U.S. Geol. Survey Library Special Collections, MS 955, 345 Middlefield Road, Menlo Park, CA 94025, (415) 329-4009.
- Zunil, Guatemala, Landslide**: 1991, 22 min. Harry Reid Center for Environmental Studies, Suite 201, 100 Washington St., Division of Earth Sciences, Reno, NV 85903, (702) 784-6151.

Diapositivas sobre Deslizamientos y Aludes de la edición americana

- Philippines II: Faulting, Structural Damage, Liquefaction and Landslides from the Luzon, Philippines, Earthquake of July 16, 1990**: 1992, 64 slides, Earthquake Engineering Research Institute (EERI), 499 14th St., Suite 320, Oakland, CA 94612-1902, (510) 451-0905.
- Laguna Landslide and Thistle Landslide**: Sin fecha, 36 y 37 diapositivas respectivamente, Geophoto Publishing Company, P.O. Box 1960, Orem, UT 85049, (801) 226-4009.

SUBSIDENCIA

La subsidencia rara vez causa víctimas, pero ocasiona cuantiosas pérdidas económicas a los propietarios. Los lectores que vivan en áreas donde ha existido minería subterránea o donde las calizas u otras rocas con grandes oquedades naturales ocupen parte de su propiedad deberían ser conscientes del potencial peligro de subsidencia.

Dónde se produce la subsidencia

Subsidencia es el hundimiento local de la superficie del terreno con escaso o ningún movimiento horizontal, debido a fallos del terreno y que puede ocasionar colapsos con apertura de una oquedad hacia el exterior. La evolución de esta oquedad es rápida, pasando sus paredes de ser verticales a adoptar formas de embudo que suelen terminar por rellenarse. También se produce subsidencia cuando se dan en el terreno especiales condiciones geológicas naturales o inducidas por la actividad humana.

Los **procesos tectónicos** (procesos geológicos a gran escala), son un mecanismo de producción de subsidencia. La subsidencia natural ocasionada por un proceso tectónico se presenta cuando, áreas regionales de roca

competente, se deprimen por asiento a lo largo de fallas importantes. Cuando el asiento es súbito, la subsidencia está asociada con terremotos mayores. Durante el terremoto de Alaska de 1964, un área de 100.000 Km² que se extendía desde el distrito este de Isla Kodiak hasta más allá de Anchorage, Alaska, se hundió como un único bloque. La subsidencia tectónica que es más gradual, y no asociada con terremotos mayores, también tiene importantes implicaciones para los residentes. Por ejemplo, los geólogos conocen ahora que el delta del Nilo está subsidiendo a una velocidad que tiene importantes implicaciones para el bienestar de la ciudad de El Cairo y la nación de Egipto. La subsidencia a lo largo de áreas costeras implica la pérdida de importantes tierras y una mayor susceptibilidad a los efectos de inundaciones, erosión por oleaje y de olas de tormenta. La subsidencia gradual del delta del Mississippi también tiene, de forma



La ciudad de Portage, en la costa de Alaska, fue construida sobre un bloque de tierra que subsidió unos 1,8 metros durante el terremoto de 1964 en Alaska. Desde entonces, la ciudad se inunda en cada marea alta. (Foto de la fotobiblioteca del USGS, Denver, CO).

similar, importantes (aunque menos inmediatas) implicaciones para los residentes del área de la Costa del Golfo.

El colapso de rocas solubles o la compresión de rocas débiles y suelos son causas principales de subsidencia natural. Además de la subsidencia tectónica, la causa última de subsidencia es normalmente la insuficiente capacidad portante del sustrato de los suelos y rocas sobreyacentes. Las áreas propensas a la subsidencia natural se encuentran sobre rocas solubles donde los huecos generados por disolución producen una falta de soporte del recubrimiento. Entre las rocas solubles están la sal y el yeso, pero la roca soluble más corriente es la caliza, una roca compuesta por carbonato cálcico. Con el tiempo, el agua se filtra a través de las grietas existentes en la roca y percola hacia abajo, mientras disuelve la roca y crea huecos cada vez mayores.

Cuando se observan desde el aire, muchos terrenos calizos se presentan como salpicados de picaduras de hundimientos (depresiones causadas por colapso de grandes huecos), reflejando las cavernas y galerías desarrolladas bajo la superficie del terreno. Tal terreno se denomina paisaje kárstico. En muchas áreas del mundo, los hundimientos se han utilizado como vertederos y basureros, ignorando los usuarios que los hundimientos son conductos conectados con los abastecimientos de aguas subterráneas. El resultado ha sido la contaminación del agua infiltrada por la completa ignorancia de la geología. La mayor parte del drenaje en un terreno kárstico es subterráneo, a través de fracturas abiertas y cavernas, más que por corrientes superficiales. En un terreno kárstico, el peso adicional de nuevas construcciones sobre una caverna oculta puede causar el colapso de la superficie inmediatamente. Si no hay rotura inmediata, entonces



Señales de aviso a conductores en el área de Dry Creek de Selby County, Alabama, sobre hundimientos que pueden aparecer repentinamente en la carretera construida sobre calizas cavernosas. (Foto de Paul Moser, Servicio Geológico de Alabama).



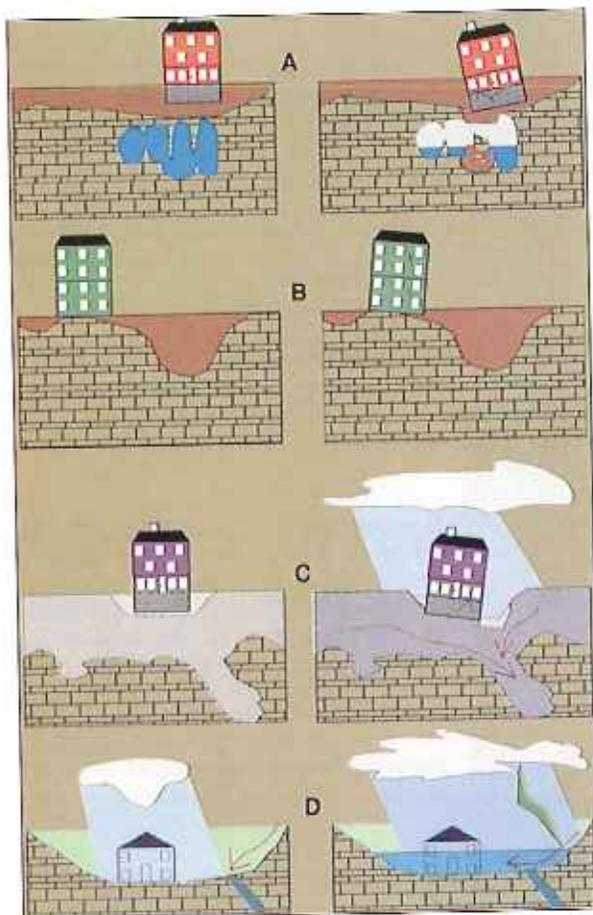
Sima generada por karstificación yesífera del sustrato de las terrazas del Ebro en las proximidades de la estación de Renfe de Luceni (Zaragoza). Subsistencia análogas han producido hundimientos en las vías y andenes de la referida estación (Foto de Luis E. Suárez, Renfe).



Hundimiento en Winter Park, Florida, afectando a casas, coches, caravanas y parte de una piscina municipal en un área urbanizada en Mayo de 1981. Los daños se desarrollaron en un período de pocas horas, y meses después el agujero se rellenó con agua para formar un nuevo lago. Una bajada del nivel freático causada por una estación seca fue posiblemente la razón del colapso durante 1981. (Foto del Servicio Geológico de Florida).

la leve subsidencia asociada con la estructura puede permitir la captación de las precipitaciones y su percolación dentro del terreno hacia la estructura. El proceso ha sido llamado "recarga inducida", la cual, una vez comenzada, tiende a incrementar el flujo de agua, que finalmente debilita el techo de la cavidad, causando la rotura. Incluso la eliminación de árboles de un área de bosque puede inducir la recarga y el inicio de subsidencia. Algunas veces, los hundimientos en rocas solubles llegan a ser rellenados con limo y arcilla, y las cavidades rellenas de arcilla no soportan bien las estructuras pesadas, por lo que las mismas pueden asentar desigualmente dentro de la cavidad rellena de arcilla blanda, incluso aunque sea soportada parcialmente por roca resistente. El campus de la Universidad de Wisconsin en Platteville, Wisconsin, presenta varios edificios que han sufrido daños por asentamiento en cavidades rellenas de arcilla. En España son muy frecuentes los procesos de hundimiento del terreno por karstificación de calizas o yesos, siendo muy conocidos los casos de las localidades de Casetas y Lucini (Zaragoza). En estas áreas los colapsos afectan habitualmente, además de a edificios, a carreteras, canales y vías férreas.

Cavidades rellenas de arcilla en calizas y dolomías, como la de abajo en el sudoeste de Wisconsin, ocasionarán daños si se construye sobre ellas alguna estructura pesada. Las estructuras pueden descansar parcialmente sobre roca y parcialmente sobre arcilla blanda. El último tipo de terreno se deforma y permite que la estructura asiente desigualmente y se agriete. (Foto de Edward Nuhfer).



Los terrenos calizos presentan una peligrosidad de subsidencia que normalmente puede superarse por planificación previa y evaluación del emplazamiento. "A" muestra una construcción sobre una caverna que más tarde colapsa. Esta es una de las situaciones más difíciles de detectar, y la posibilidad de que ocurra bajo una estructura obliga a disponer de un seguro de protección para las casas construidas en terreno kárstico. "B" es una situación donde se supone que una pesada estructura descansa sobre roca sólida pero es parcialmente soportada por suelo arcilloso residual blando, que produce una subsidencia muy gradual y daños a la estructura. Esto se produce cuando la evaluación del emplazamiento es inadecuada por falta de estudios geofísicos y un adecuado muestreo de los testigos. "C" y "D" muestran la estrecha relación existente entre hidrología y peligro de subsidencia en terrenos calizos. En "C" la casa está situada sobre un relleno poroso (sombra suave) en un lugar donde el drenaje superficial y subterráneo desplaza el suelo de apoyo (sombra más oscura) hacia los huecos de la caliza infrayacente (bloques). El proceso natural se acelera por infiltración a través del relleno que rodea la casa. "D" muestra un área de karst donde la precipitación normal es absorbida por conductos del subsuelo, pero el agua de una fuerte y poco frecuente tormenta no llega a ser drenada lo suficientemente rápido como para evitar la inundación de las zonas bajas. (Modelos de peligrosidad de L.D. Harris, 1973, Hundimientos en Knox County, Tennessee, Mapa I-767-F del USGS).

La **subsistencia minera** ocurre cuando grandes huecos subterráneos han sido creados por el hombre. Incluso las minas más profundas pueden ocasionar eventualmente un efecto de depresión local de la superficie del terreno. La mayoría de las minas metálicas ocasionarán subsistencia dentro de un pequeño entorno porque el depósito mineral está generalmente vertical o al menos restringido bajo una reducida área superficial. Por otro lado, los yacimientos explotables que se disponen en estratos extensos y continuos, presentan un tipo de explotación que se extiende bajo una gran área. La explotación subterránea de carbón, caliza, sal y algunos depósitos de hierro y cromo son ejemplos de éste último. Tales minas extraen normalmente del 50 al 90 % de la roca dentro del estrato que se está explotando. Esta pérdida de soporte causa el hundimiento de la roca de cobertura dentro del hueco y, eventualmente, el colapso se manifiesta en la superficie del terreno. Alrededor de un cuarto de todas las tierras de Estados Unidos situadas sobre áreas con minería de carbón presentan subsistencia. La subsistencia bajo las explotaciones de carbón de Pennsylvania, Virginia Oeste, Ohio y Kentucky, o los campos de carbón del oeste cerca de Sheridan y Rock Springs, Wyoming, son dos ejemplos de muchas áreas propensas a subsistencia minera.

La **extracción de fluidos** causa subsistencia. No sólo la roca es el medio de soporte de la superficie del terreno. Los fluidos atrapados en los pequeños poros de la roca también proporcionan soporte. Si se suprime este soporte por bombeo de pozos, entonces la subsistencia puede reflejarse en la superficie del terreno. La mayoría de los daños por subsistencia de este tipo, ocurren en áreas donde los sedimentos infrayacentes no han sido aún compactados y cemen-

tados, convirtiéndose en roca competente, y se realiza en ellos intensas extracciones de agua o petróleo cerca de urbanizaciones. El agua extraída entre 1960 y 1967 por pozos cerca del extremo sur de San Francisco Bay produjo una subsistencia del terreno superior a 4 m en el área de San José, California. Sólo la construcción de diques de protección para prevenir inundaciones y la reparación de pozos costó más de 13 millones de dólares. También pueden retirarse del subsuelo fluidos debido a la construcción de plantas de energía geotérmica (plantas eléctricas que utilizan para mover turbinas el vapor a alta presión encontrado en áreas calientes de la tierra). Se han medido subsistencias con desplazamientos superiores a 4,5 m debido a la retirada de fluidos en plantas geotérmicas de Nueva Zelanda. Subsistencias notables debidas a extracción de fluidos han sido descritas en el Valle de San Joaquín de California; Houston y alrededores, Texas; Nueva Orleans, Louisiana; Arizona sur-central; y en el área de Wilmington-Long Beach del Sur de California. ¡La extracción de petróleo en la ciudad de Long Beach (California) causó que parte de la ciudad subsidiera más de 9 metros! En regiones áridas tales como cerca de Deming (Nuevo México); Riverside, (California) y en Arizona sur-central, aparecen **grandes fisuras** en la superficie del terreno, sobre grandes áreas, como resultado de la subsistencia debida a la extracción de agua.

El agua también proporciona soporte incluso en las grandes cavidades como las minas abandonadas y en terrenos kársticos. Cuando se rebaja el nivel freático por debajo de estos huecos, se produce frecuentemente el colapso, ocasionando la subsistencia de la superficie.



Tienda de comestibles en un área residencial del sur de Pittsburgh, Pennsylvania, que se colapsa por subsistencia en una mina abandonada de carbón. (Foto de Edward Nuhfer).

GUIA CIUDADANA DE LOS RIESGOS GEOLOGICOS

El drenaje de aguas superficiales puede causar un pronunciado efecto de subsidencia sobre los suelos, particularmente cuando se drena agua de suelos altamente orgánicos y turbas que se encuentran en áreas húmedas y costeras. Los rangos de subsidencia pueden variar desde

menos de 1 a más de 10 cm/año, habiéndose registrado cantidades de subsidencia superiores a 3,5 m. California, Florida, Louisiana, Michigan y New York, son Estados con una notable subsidencia debida al drenaje de suelos ricos en materia orgánica.

Fotografía aérea de una zona próxima a Sheridan (Wyoming) mostrando el característico patrón rectangular de los hundimientos sobre minas de carbón abandonadas. La mina estuvo funcionando desde comienzos de siglo hasta los años cuarenta. (Foto de C.R. Dunrud, USGS).



Los incendios subterráneos en capas de carbón han sido una de las causas principales de subsidencia. Los trabajadores de la mina Percy, en el sur de Pennsylvania, encuentran gases sofocantes cuando intentan aislar el fuego, que podría extenderse rápidamente por el subsuelo bajo las casas. (Fotos de Edward Nuhfer).

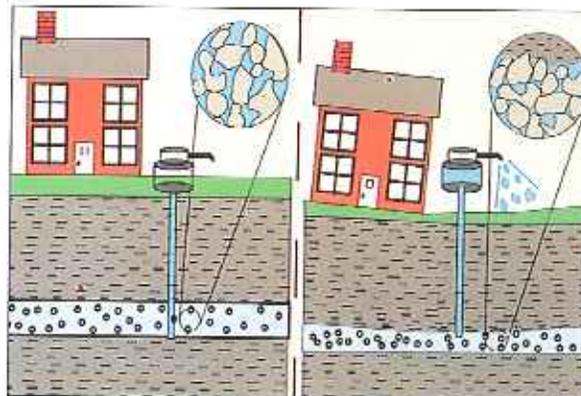




El material rojo brillante con aspecto de lava revela las altas temperaturas desarrolladas en incendios subterráneos de carbón. Este incendio produjo el abandono de los trabajos mineros alrededor de Sheridan (Wyoming), y dejó cavidades que pueden causar subsidencia. Los vapores liberados por tales fuegos son un peligro para la salud. Los incendios comienzan frecuentemente por descuidos en el quemado de los cubos de basura cerca de una capa de carbón; otros comienzan por procesos naturales. La extinción de tales fuegos nunca es fácil. (Foto de C.R. Dunrud, USGS).

La hidrocompactación es un tipo de subsidencia producida por la adición de agua. Cuando el agua entra en algunos suelos, varios procesos pueden ocasionar la compactación. Uno es que la tensión superficial de las láminas finas de agua tiende a juntar más los granos. Cualquier jardinero doméstico que haya creado recientemente la tierra puede confirmar esta clase de hidrocompactación después de una fuerte tormenta. Otros procesos incluyen el ablandamiento o eliminación de materiales tales como arcilla y calcita, que actúan como cementos fortaleciendo y mejorando el soporte del suelo cuando está seco. Los suelos susceptibles a la hidrocompactación son generalmente de grano fino y porosos. El loess (limos depositados por el viento) y los suelos derivados de sedimentos de antiguos lagos presentan susceptibilidad a la hidrocompactación. El Servicio Geológico de Colorado observó que unos suelos sujetos a hidrocompactación a lo largo de la ruta Interestatal 70 en Colorado Oeste, entre Rifle y Debeque, subsidieron casi 1 m en un mes. Los canales del Acueducto de California cruzaron un área con

El esquema inferior muestra que la extracción de fluidos causa subsidencia por eliminación de los fluidos soporte, permitiendo que los granos minerales se junten. Este proceso puede ocurrir tanto a la escala de pequeños pozos domésticos de agua como a la de pozos comerciales de petróleo.





Las grietas de este edificio se produjeron por subsidencia cuando los sedimentos no consolidados situados bajo el centro comercial Pacific Garden en Santa Cruz, California, asentaron durante el terremoto de Loma Prieta en 1989. (Foto de C. Stover, USGS).

graves problemas de hidrocompactación; el área fue presaturada por encharcamiento, y el terreno se hundió más de 25 cm previamente a la construcción del canal. En un caso doméstico extremo, una casa subsidó cuando una manga de riego de jardín se dejó abierta accidentalmente durante un largo período cerca de la cimentación de la casa.

Los temblores sísmicos pueden desencadenar subsidencias. Los fluidos de sedimentos naturales no compactados pueden escapar a través de las nuevas fracturas creadas por un terremoto, y los granos minerales se reacomodan entre sí, colapsando de forma más apretada cuando los fluidos escapan. Tal compactación en la Formación Bootlegger Cove causó grandes daños a zonas de Anchorage (Alaska) durante el terremoto de 1964. El centro comercial Pacific Garden en Santa Cruz, California, fue gravemente dañado cuando los depósitos fluviales infrayacentes al centro se compactaron durante el terremoto de Loma Prieta en 1989.

Los rellenos antrópicos compuesto por suelo, roca y escombros son también propensos a subsidencia durante los temblores y terremotos. En países con terremotos los rellenos son casi imposible de com-

pactar hasta tal punto que no se puede realizar una urbanización sobre ellos con seguridad. El distrito Marina de San Francisco fue construido sobre el emplazamiento de una antigua laguna que fue rellenada en 1915 con arena, tierra y escombros del famoso terremoto de San Francisco en 1906. Partes de esta zona densamente urbanizada fueron totalmente destruidas por subsidencia del relleno durante el terremoto de Loma Prieta en 1989. Los rellenos artificiales son susceptibles de subsidencia local incluso en áreas no afectadas por terremotos. Algunas veces, la subsidencia ocurre cuando los rellenos están mal compactados. Otras veces, los rellenos puede incluir materiales degradables tales como basura, la cual eventualmente se destruye y crea huecos que ocasionalmente invitan a la subsidencia.

En España son muy frecuentes este tipo de subsidencias, fundamentalmente en áreas urbanas. Como ejemplo, pueden citarse los hundimientos producidos en la Avenida de la Ilustración (Madrid), en la zona que discurre sobre los rellenos antrópicos de una antigua vaguada.

Los suelos permafrost son aquellos suelos cerca de las regiones polares que, excepto en las capas

superficiales, permanecen constantemente helados. Estos suelos son algunas veces analizados en el apartado de estabilidad de taludes por su propensión a fluir lateralmente. Los hay también particularmente propensos a subsistencia local. El deshielo que tiene lugar durante el breve verano polar permite que las capas superficiales licúen, fluyan, y susbsidan bajo el peso de estructuras. En las casas que no se han construido adecuadamente, sin prever el deshielo por calentamiento de los suelos del cimiento, se puede producir subsistencia local. Los suelos permafrost también expanden y levantan cuando se vuelven a helar durante las estaciones frías. Alrededor del 20 % de la superficie de la tierra está ocupada por permafrost. Más de 75.000 kilómetros cuadrados de áreas de alta montaña en el oeste de Estados Unidos tienen permafrost alpino. Alaska está recubierta por más de un millón de kilómetros cuadradas de permafrost, y aparte de su costa norte, el permafrost crea problemas especiales para la construcción de muelles y plataformas de perforación en el mar.

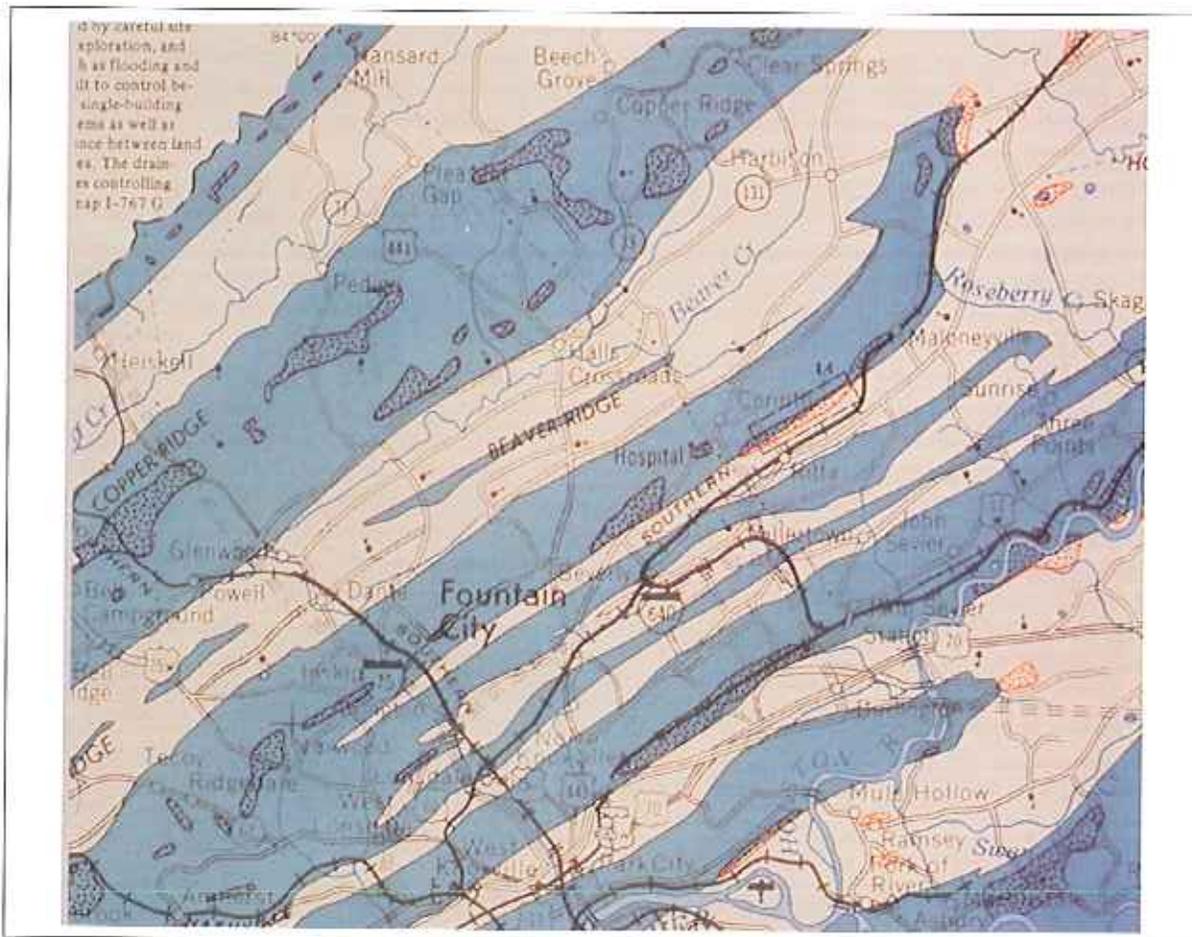
Debido a las condiciones climáticas de España, donde los suelos no permanecen constantemente helados, los riesgos geológicos asociados a suelos

permafrost son imperceptibles. Si acaso, pueden producirse suelos de condiciones geotécnicas próximas al permafrost, en restringidas áreas de alta montaña de la Península Ibérica.

El delicado equilibrio térmico del permafrost puede ser trastornado por alteración de la nieve o cubierta vegetal. La capa activa más superior de terreno helado deshelará en verano, liberando agua, si se ha formado el hielo en el suelo, y será susceptible de erosión. Construcciones de todo tipo, -carreteras, puentes, factorías, casas, ferrocarriles, tanques de almacenamiento, conducciones y líneas de servicio- deben ser previamente planificadas para reducir o eliminar unos daños que, de otra manera, ocurrirán como resultado del levantamiento, subsistencia y deslizamiento del suelo. La geología dentro del permafrost es única porque el movimiento del agua del terreno es controlado por varias zonas de deshielo y no por **acuíferos** (rocas permeables al agua) y **acuíclusos** (rocas impermeables al agua), complicando el abastecimiento de agua y generando problemas de vertederos. El agua puede estar en el terreno y en el invierno formar láminas de hielo que pueden complicar cualquier proyecto de construcción.



Inclinación de los postes de estas líneas eléctricas resultado de las variaciones de los suelos permafrost en los que se sitúan. (Foto de T.L. Pewe, USGS).



Los mapas geológicos son la mejor herramienta a utilizar para prever la subsidencia. Este mapa (parte del Mapa I-767-F del USGS, Hundimientos en Knox County (Tennessee)) está enfocado a la peligrosidad del Karst y colorea las áreas de calizas en azul y las correspondientes a alto riesgo con punteado rojo.

Subsidencia y el concepto de Tiempo Geológico

La subsidencia es fácil de prever basándose en el conocimiento de la geología e historia minera de un área. Sin embargo, un suceso de subsidencia natural es el más difícil de predecir de todos los riesgos geológicos. Las cavidades existentes en rocas solubles, que algún día llegarán a ocasionar hundimientos por colapso, están usualmente techadas con roca sólida y, por lo tanto, no son fácilmente detectadas. El colapso es esporádico e impredecible. El terreno kárstico salpicado de depresiones por hundimiento proporciona amplia evidencia de que los colapsos son frecuentes a través del tiempo geológico, pero estos colapsos no son percibidos tan fácilmente durante la vida de un solo ser humano.

La subsidencia tectónica generada por terremotos sucede solamente en algunos de los principales

terremotos que afectan a una extensa área. La subsidencia inducida por el temblor de materiales no compactados es incluso más difícil de predecir que el propio terremoto, ya que no todas las áreas con subsidencia potencial se colapsarán durante un único terremoto. Sin embargo, la situación de los materiales propensos a fuertes subsidencias durante un terremoto puede ser cartografiada, y se pueden evitar construir urbanizaciones en las áreas de más alto riesgo.

La lenta subsidencia regional que está presente en algunas áreas puede ser monitorizada por instrumentos sensibles, permitiendo a los científicos estimar velocidades, dentro de ciertos límites, y predecir consecuencias para el futuro a largo plazo.

La subsidencia ocasionada por las actividades humanas es mucho más frecuente en el tiempo, y numerosos sucesos locales son fácilmente percibidos dentro de la escala de la vida humana. Las excavaciones subterráneas

artificiales como las minas y los túneles son, con mucho, más inestables que las cavernas naturales. Por lo tanto, la construcción sobre un área con explotación minera subterránea representa un riesgo muy superior al de la construcción en un área afectada por el karst.

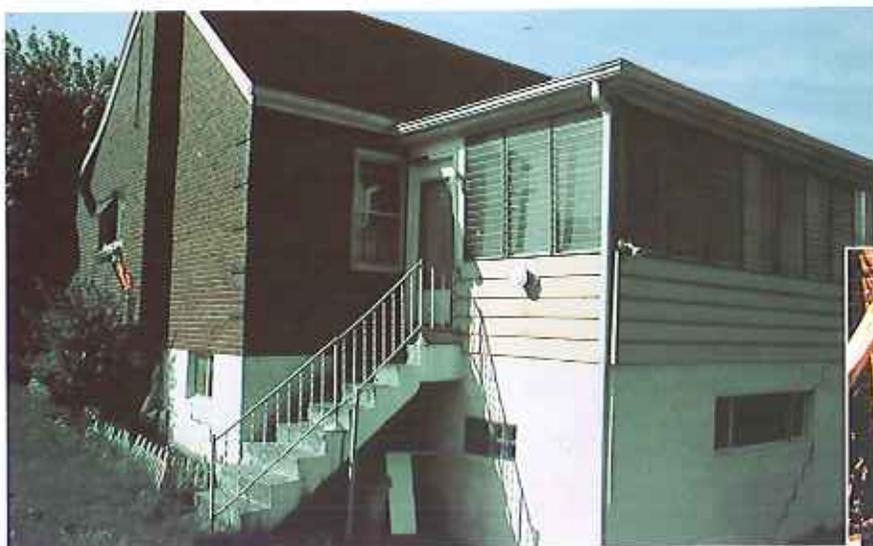
La subsistencia debida a la extracción de fluidos es medible, previsible y controlable. Esto es así porque los cambios que se producen son graduales y estrechamente relacionados con los volúmenes de fluidos extraídos, generalmente conocidos. Esta clase de subsistencia a través del tiempo puede ser descrita con ecuaciones matemáticas y modelos informáticos. Por lo tanto, las consecuencias futuras pueden ser previstas mucho más claramente.

Los peligros de la subsistencia

Aparte de los casos de subsistencia tectónica repentina, las pérdidas debidas a subsistencia están muy localizadas y son más peligrosas para la propiedad y la economía que para la vida. Los peligros potenciales para la vida se generan cuando una rotura por subsistencia sucede bajo una ruta principal de transporte, como una carretera o ferrocarril, o más raramente, cuando la subsistencia ocurre encima de una mina subterránea de carbón. Aunque el peligro potencial para la vida es evidente en estos casos, en los sucesos habituales ha sido prácticamente inexistente. A continuación se citan algunos ejemplos de daños frecuentes:

1. Destrucción física y daños (a casas, edificios, carreteras, puentes, presas, etc...) por asiento diferencial y fisuras en el terreno, que se desarrollan frecuentemente en un área subsistente.
2. Invasión del agua sobre las tierras bajas adyacentes al mar, lagos o ríos.
3. Cambios en el gradiente que afecta al flujo de agua en canales, drenajes construidos por el hombre, tuberías y líneas de alcantarillado.
4. Colapso de tuberías de pozos de petróleo y agua.
5. Pérdidas y filtraciones de rellenos, canales y embalses.
6. Contaminación de abastecimientos de agua subterránea por contaminantes de superficie que viajan a través de conductos y fisuras producidas por subsistencia.

No existe un medio práctico para invertir, parar o retardar el hundimiento tectónico natural. Una vez la subsistencia de la tierra inducida por el hombre ha sido detectada, las medidas correctivas sólo pueden retardar o parar el hundimiento; solamente una parte de la elevación de superficie perdida puede ser recuperada. Se pueden producir enormes pérdidas económicas. En 1984, la Sociedad Geológica de América estimó unos costes anuales debidos a subsistencia inducida por el hombre de 100 millones de dólares.



Esta casa de ladrillo fue declarada en ruina por daños de subsistencia minera. Nótese que el agrietamiento sucede por toda la casa, a lo largo del ladrillo rojo desde el sótano al tejado (agrietamiento del fondo izquierdo con aislamiento de fibra de vidrio rosa) y al hormigón de la cimentación. Tales casas están condenadas y deben ser desocupadas. (Foto de Edward Nuhfer).



En 1985, el Comité de Riesgos de Rotura del Terreno del Consejo Norteamericano de Investigación Nacional estimó 500 millones de dólares como pérdidas totales anuales por subsidencia en los Estados Unidos.

El riesgo de subsidencia en España

En España, desde el punto de vista de los hundimientos, el proceso más importante y significativo (sin excluir la posible existencia local de algún otro de los anteriormente descritos), es la karstificación, entendiéndola como un proceso de disolución de una roca fisurada debida a la circulación de agua, así como los fenómenos de subsidencia en la minería, principalmente del carbón.

Aunque ya se ha mencionado en páginas anteriores, los fenómenos kársticos se localizan en zonas constituidas por rocas solubles, carbonatadas y evaporíticas fundamentalmente, cuya importancia es muy considerable, ya que sólo las rocas carbonatadas representan más del 10 % de la superficie terrestre.

Un proceso no contemplado específicamente en el capítulo del libro es la tubificación (Piping), que se

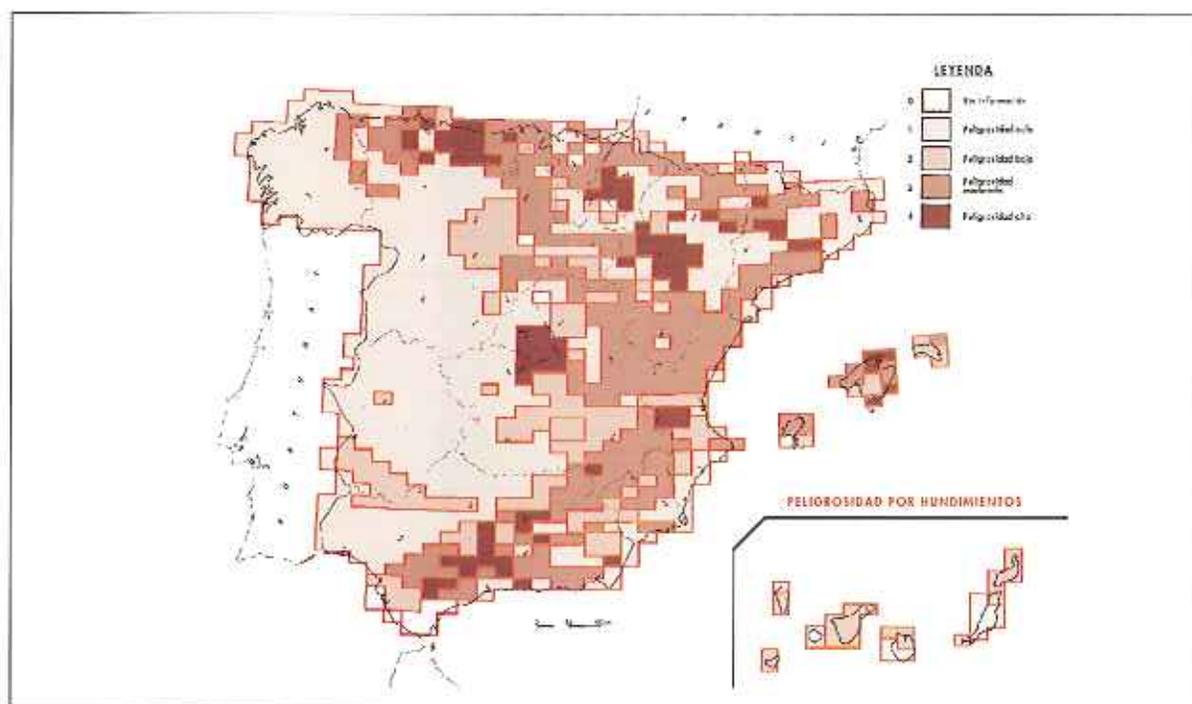
conoce como el proceso de formación de conductos de forma tubular en terrenos detríticos. Se debe al lavado de partículas finas, y del cemento que las une, en depósitos sedimentarios de baja cohesión, provocado por una circulación concentrada de agua con alto gradiente hidráulico. Aunque la importancia de este proceso es, en general, reducida, existen zonas, como en las cercanías de Zaragoza, donde este proceso es bastante habitual.

Los daños producidos por hundimientos suelen afectar fundamentalmente al ámbito geotécnico: edificaciones, trazado de obras lineales, presas, minería, etc... La carga adicional de las estructuras construidas sobre una cavidad puede transmitir elevadas tensiones al terreno, pudiendo llegar al colapso. Aunque no es frecuente que se produzcan pérdidas de vidas humanas, la incidencia económica de los hundimientos es importante.

La distribución de hundimientos en España va unida a la de áreas kársticas, ya que los hundimientos son consecuencia de la karstificación, aunque no sean conceptos equivalentes. Estas áreas kársticas son muy abundantes, representando los materiales carbonatados una superficie aproximada de 100.000 km², lo que



Colapso instantáneo de lomos loésicos yesíferos producido en el P.K. 360/700 de la línea férrea Madrid-Barcelona, en Burgo de Ebro, que afectó a un tren de mercancías. (Foto de Luis E. Suárez, Renfe).



Mapa de peligrosidad por hundimientos en España (IGME, 1987).

supone una quinta parte del territorio nacional. Su distribución es la siguiente (Impacto Económico y Social de los Riesgos Geológicos en España. IGME, 1987):

- Calizas paleozoicas del zócalo hercínico: complejo kárstico de Picos de Europa (Asturias).
- Calizas y dolomías mesozoicas y paleógenas tectonizadas:
 - En la Cordillera Cantábrica: complejo kárstico de la región de Asón (Cantabria).
 - Cordillera Pirenaica: complejo kárstico de Larra (Navarra).
 - Cadena Ibérica: complejo kárstico de la Serranía de Cuenca (Cuenca).
- Calizas terciarias tabulares.
- Dolomías y mármoles triásicos de la Zona Bética.
- Zonas externas de las Béticas: complejo kárstico de Antequera-Archidona (Málaga).
- Orla mesozoica y paleógena del Macizo Ibérico: complejo kárstico de Vallada (Valencia).
- Mesozoico de los Pirineos: complejo kárstico de Beuda (Gerona).
- Cuencas o depresiones terciarias:
 - Complejo kárstico de Sorbas (Almería).
 - Complejo kárstico de Estremera (Madrid).

También los fenómenos de hundimiento están relacionados con los materiales yesíferos, que ocupan una superficie aproximada de 35.000 Km², lo que representa la decimoctava parte de la superficie de España. Las zonas con potencial kárstico en yesos (según la misma fuente bibliográfica referenciada anteriormente) se reparten en las siguientes unidades estructurales:

Para la elaboración del Mapa de Peligrosidad por Hundimientos que se adjunta, incluido en la citada publicación, se dispuso del mapa del karst de España, a escala 1:1.000.000, elaborado por el Instituto Geológico y Minero de España (1985).

En la ya mencionada publicación "Impacto Económico y Social de los Riesgos Geológicos en España" (IGME, 1987), las pérdidas debidas a hundimientos se incluían dentro de los deslizamientos, recibiendo la denominación conjunta de movimientos del terreno. El Mapa de Pérdidas por Movimientos del Terreno, en la hipótesis de riesgo máximo (el máximo suceso histórico) para el período comprendido entre 1986 y 2016, ha sido incluido en el capítulo de este libro dedicado a deslizamientos y aludes.



Dolina con agua en Cañada del Hoyo (Cuenca). (Foto del Instituto Geológico y Minero, IGME).

Las pérdidas totales obtenidas para la hipótesis de riesgo considerada, sumando las asociadas a núcleos urbanos y las de obras de infraestructura, eran las siguientes en pesetas de 1987:

- Riesgo máximo: 898.612.202.270 pesetas.
- Riesgo medio: 768.381.485.812 pesetas.

En el análisis beneficio/coste se observa lo siguiente: para una reducción de pérdidas del 90 %, la aplicación de medidas de mitigación supondría una inversión del 10,3 % de las pérdidas, lo que representa una relación beneficio/coste del 8,74. Esta relación es una de las más altas de todos los riesgos geológicos, concretamente la segunda, después de la de los suelos expansivos.

El fenómeno de la subsidencia se ha desarrollado fundamentalmente en las explotaciones mineras de carbón de las cuencas carboníferas de Asturias, León y Teruel. Aunque siempre ha estado asociado a la explotación, la subsidencia ha ido cobrando auge durante los últimos decenios por dos razones fundamentales. Por un lado, la mayor extensión de las poblaciones, urbanizaciones y usos intensivos del territorio para la construcción de obras lineales, industrias, etc., cada vez más complejas y, sobre todo, de un valor económico cada vez más elevado. Por otro, la utilización, por parte de las empresas minerales del carbón, de métodos de arranque más avanzados que implican el hundimiento del hueco creado por la explotación lo que incrementa el efecto en superficie. Antiguamente, se procedía al relleno del hueco con estériles, labor que se ha ido eliminando por su alto coste.

Al desarrollarse la subsidencia se crea un cuenco o cubeta cuyas características geométricas dependen de la forma del área explotada. En los bordes de esta cubeta se producen tensiones importantes que generan una fractu-

ración importante del terreno. Estos efectos se producen en el caso de que los terrenos carboníferos afloren directamente en superficie. Si el macizo explotado está recubierto por otros terrenos discordantes más o menos potentes o por aluviales de ríos, etc., los efectos de la subsidencia se amortiguan extraordinariamente al actuar estos terrenos superiores como un «colchón» que se acomoda a la nueva situación del carbonífero, diluyendo la deformación. Los efectos sobre edificios y otras infraestructuras pueden ser desde insignificantes cuando éstos se sitúan en el centro de la cubeta creada (los edificios descenden sin rotura), o muy importantes cuando quedan situados sobre los bordes de la misma. En este caso se produce una fisuración característica que puede ir desde apertura de grietas milimétricas hasta la destrucción total de la construcción.

Contra estos efectos puede lucharse utilizando formas especiales de cimentación de las construcciones, reguladas por leyes en diversos países para las zonas mineras. Sin embargo estos sistemas de cimentación se emplean desde hace escasos años por lo que todas las construcciones antiguas son susceptibles de sufrir deformaciones por esta causa.

Otro efecto importante de la subsidencia minera es que produce una fracturación muy importante del macizo rocoso suprayacente, originando un sistema de huecos, por los cuales se produce la infiltración del agua de los diferentes niveles acuíferos existentes en la zona e incluso de los ríos y arroyos superficiales hacia las labores mineras. Ello supone una modificación drástica del régimen de circulación de aguas, que puede tener incidencia importante en la agricultura y otros usos de este recurso. Contra este efecto es imposible luchar y sólo el abandono de la producción provocará una recomposición de la hidrogeología del macizo rocoso afectado.

El papel del geólogo en la mitigación de los daños por subsidencia

En el servicio público. A pesar del hecho de que los eventos de subsidencia son frecuentemente difíciles de predecir, las áreas en las cuales la subsidencia puede ser prevista presentan características geológicas cartografiables. Los geólogos de las Administraciones y Empresas Públicas (como los empleados por los Servicios Geológicos, Jefaturas de Minas, Departamentos de Transporte y Municipios) y los consultores privados que trabajan con consultoras ingenieriles y medioambientales están activamente comprometidos en la mitigación de los daños por subsidencia. Estos geólogos impiden los costosos daños que de otra forma podrían ocurrir en las estructuras de edificios importantes en áreas que pueden ser particularmente propensas a subsidencia. Los geólogos son especialistas en los estudios de los recursos del subsuelo, que incluyen minerales, petróleo y aguas subterráneas, y son capaces de usar su conocimiento en estos campos como una ayuda para prever la subsidencia.

Sin embargo en la actualidad, la cartografía de áreas peligrosas está lejos de completarse. En Estados Unidos

se han venido realizando perforaciones y explotaciones mineras durante casi dos siglos antes de que se requirieran permisos y se conservara registros de los mismos. De esta forma, muchas localizaciones de viejas minas pueden que no se conozcan nunca. La protección más barata es una investigación geológica general de los registros públicos, mapas publicados y literatura (disponible de los Servicios Geológicos Estatal y Autonómico) para ver si puede existir riesgo localmente. Una vez la subsidencia comienza, no hay marcha atrás, y el daño a las estructuras de casas suele ser total. Mientras las pérdidas por riesgos de subsidencia son numéricamente pequeñas, la pérdida real puede ser la inversión de toda una vida.

En la investigación. Los geólogos implicados en la investigación de la subsidencia estudian aspectos que van desde la tectónica regional a emplazamientos individuales de casas. La modelización de la subsidencia en computadoras ayuda a comprender los mecanismos, velocidades y riesgos de subsidencia.

Adaptado para la edición española por Félix Quirarte López, Geólogo Master en Ingeniería Geológica (U.C.M.) y responsable de estudios geotécnicos de la consultora Iberinsa.

Bibliografía sobre Subsistencia de la edición americana

(*) Indica que las referencias bibliográficas son especialmente adecuadas para educadores

- (*) Allen, A. S., 1969, *Geologic settings of subsidence*: in D. J. Varnes and G. E. Kiersch, (eds.), *Geol. Soc. Amer., Reviews in Engineering Geology II*, pp. 305-342.
- American Society of Civil Engineers, 1988, *Geotechnical aspects of karst terrains*: Amer. Soc. Civil Engrs. Conf. Proceedings, Nashville, TN., New York, A.S.C.E.
- (*) Beck, B. F. (ed.), 1984, *Sinkholes: Their Geology, Engineering and Environmental Impact*. Boston, A. A. Balkema. (A book produced based on the first multidisciplinary conference on sinkholes held in Orlando, Florida, in October, 1984).
- Beck, B. F., and Wilson, W. L. (eds.), 1987, *Karst Hydrogeology: Engineering and Environmental Applications*: Boston, A. A. Balkema.
- (*) Bradley, M. D., and Carpenter, M. C., 1986, *Subsiding land and falling ground water tables: public policy, private liability and legal remedy*: *Economic Geography*, v. 62, pp. 241-253.
- (*) Bushnell, K. O., 1977, *Mine subsidence*: in *«Lots» of Danger - Property Buyers Guide to Land Hazards of Southwestern Pennsylvania*, J. L. Freedman (ed.), Pittsburgh Geol. Soc., pp. 9-16.
- Coates, D. R., 1987, *Subsurface Impacts*: in *Human Activity and Environmental Processes*, K. J. Gregory and D. E. Walling (eds.), New York, John Wiley, pp. 271-304.
- Cory, F. E., 1973, *Settlement associated with subsidence in the thawing of permafrost*: 2nd. Intl. Conf. on Permafrost, Natl. Acad. Sci., pp. 599-607.
- (*) Davies, W. F., and others., 1984, *Engineering Aspects of Karst*: 1:7,500,000 scale map from U.S. Geol. Survey National Atlas.
- Ege, J. K., 1984, *Formation of solution-subsidence sinkholes above salt beds*: U.S. Geol. Survey Circular 897.
- Foose, R. M., (ed.), 1979, *Selected papers, engineering geology of karst terrain*: Bull. Assoc. Engrg. Geologists, v. 16, n. 3.
- (*) French, H. M. (ed.), 1986, *Focus: permafrost geomorphology*: *The Canadian Geographer*, v. 30, n. 4. (Issue contains many articles on permafrost).
- (*) French, H. M., 1987, *Permafrost and ground ice*: in *Human Activity and Environmental Processes*, K. J. Gregory and D. E. Walling (eds.), John New York, John Wiley & Sons, pp. 237-269.
- Gass, T., *Sinkholes*: *Water Well Jour.*, v. 35, pp. 36-37.
- Higgins, C. G., and Coates, D. R., 1990, *Groundwater geomorphology; the role of subsurface water in earth-surface processes and landforms*: Boulder, CO, Geol. Soc. Amer. Spec. Paper 252.
- Holzer, T. L., (ed.), 1984, *Man-induced land subsidence*: *Geol. Soc. Amer., Reviews in Engineering Geology VI*, 232 p.
- International Association of Engineering Geologists, 1981-82, *Bull. Issues n. 24 and n. 25 (37 papers) devoted to Construction problems on soluble rocks (including karst)*: IAEG, Krefeld, Germany (distributed by U.S. Natl. Comm. on Geology, 2101 Constitution Ave., Washington, DC 20418).
- International Association of Hydrologic Science, 1991, *Land subsidence IAHS Pub. 200, 2000 Florida NW, Washington, DC 20009*.
- Isphording, W. C., and Flowers, G. C., 1988, *Karst development in coastal plain sands*: *Bull. Assoc. Engrg. Geologists*, v. 25, pp. 95-100.

Ivey, J. B., 1978, *Guidelines for engineering geologic investigations in areas of coal mine subsidence—a response to land use planning needs*: Bull. Assoc. Engrg. Geologists, v. 15, pp. 163-174.

Jennings, A. N., 1985, *Karst Geomorphology*: Blackwell, available from NWWA, P. O. Box 182039, Dept. 017, Columbus, OH 43218.

Johnson, A. I., (ed.), 1991, *Proc. fourth international symposium on land subsidence*: International Association of Hydrologic Science, IAHS Pub. 200, 2000 Florida NW, Washington, DC 20009.

(*) Kenny, R., 1992, *Fissures—legacy of a drought*: Earth, May, pp. 34-41.

Legrand, H. E., and Stringfield, V. T., 1973, *Karst hydrology, a review*: Jour. of Hydrology, v. 20, pp. 97-120.

(*) Marsden, S. S., and Davis, S. N., 1967, *Geological subsidence*: Sci. Amer., v. 216, n. 6, pp. 93-100.

(*) National Academy of Sciences and others, 1991, *Mitigating losses from land subsidence in the United States*: National Research Council, Washington, DC 20418.

(*) Newton, J. G., 1987, *Development of sinkholes from man's activities in eastern United States*: U.S. Geol. Survey Circular 968.

Poland, J. F., 1969, *Subsidence in United States due to groundwater withdrawal*: Am. Soc. Civil Engrs. Jour. Irrigation and Drainage Div., v. 107.

Poland, J. F., and Davis, G. II., 1984, *Guidebook to studies of land subsidence due to groundwater withdrawal*: UNESCO, 7 Place de Fontenay, 75700 Paris, France.

(*) Prokopovich, N. P., 1976, *Some geological factors determining land subsidence*: International Assoc. of Engrg. Geologists Bull., n. 14, pp. 75-81, Krefeld, Germany.

Saxena, S. K., (ed.), 1979, *Evaluation and prediction of subsidence*: Amer. Soc. Civil Engrs. Conf. Proc., NY, 600 p.

Schurman, G., and Slasson, J. E., 1992, *Forensic Engineering*: New York, Academic Press. Chapter 9, «Land Subsidence on a Large Scale: Dire Consequences», pp. 210-241 details case study of a Hispanic residential section of San Diego.

Singh, M. M., (ed.), 1986, *Mine Subsidence*: Society of Mining Engineers, Littleton, CO, 143 p.

White, W. B., 1988, *Geomorphology and Hydrology of Karst Terrain*: New York, Oxford Univ. Press.

Windham, S. R., and Campbell, K. M., 1981, *Sinkholes follow the pattern* E: Geotimes, v. 26, n. 8, pp. 20-21.

Dearman, W.R. and Coffey, J. R. (1981): *Effects of evaporite removal on the mass properties of limestone*, Bull of the Int. Assoc. of Engineering Geology. n° 24, pp. 91-96.

Duran, J. J. (1984): *Evolución geomorfológica del cañón del río Guadalhorce en el Triás de Antequera (Archidona, Málaga)*. Cuadernos de Investigación Geográfica, T.X., 1 y 2, pp. 43-54. Logroño.

Duran, J. J. Molina, J. A. (1986): *Karst en los yesos del Triás de Antequera (Cordilleras Béticas)*. Karstologia-Mémoires, n° 1. pp. 37-46.

Duran, J. J. y del Val, J. (1984 a): *El karst yesífero en España: Condicionantes geológicos y problemática territorial, ambiental y genética*. I Congreso Español de Geología, T.I. pp. 623-634. Segovia.

Eraso, A. (1981): *New contributions to the problem of dam building in karstic regions*. Proceedings of the 8ª International Congress of Speleology, vol. 1, pp. 348-350.

Eraso, A. (1982): *Consideraciones sobre el problema de la génesis y evolución del karst*. Reunión Monográfica sobre el karst de Larra. pp. 367-382. Navarra.

Fischer, J. A. Greene, R. W. Ottoson, R. S. and Graham, T. C. (1987): *Planning and design consideration in karst terrain*. En Karst Hydrogeology; Engineering and environmental applications. pp. 323-330.

Garay, P. (1986): *Informe geológico sobre la sima de hundimiento de Pedreguer (provincia de Alicante)*. Jornadas sobre el karst en Euskadi, T. 1, pp. 323-334. San Sebastián.

Granda, A. (1982): *Aspectos y métodos geofísicos en el estudio del karst. Aplicaciones hidrogeológicas*. Reunión Monográfica sobre el karst de Larra, pp. 331-352. Navarra.

Granda, A. (1986): *Algunas consideraciones sobre la aplicación de técnicas geofísicas en medios kársticos*. Jornadas sobre el karst en Euskadi (ponencia mecanografiada, 12 pp.) San Sebastián.

Gotz, H.-J. (1986): *Sinkhole development near an iron mine*. Comunicaciones del 9º Congreso Internacional de Espeleología, pp. 98-99. Barcelona.

Halleux, L; Nap, P. et Thimus, J. F. (1985): *Anomalies sismiques au-dessus des cavités*. Annales de la Société Géologique de Belgique. T. 108, pp. 153-160.

Lakshmanan, J.; Bichara, M. et Erling, J. C. (1977): *Etudes de fondation en terrain caverneux*. Place de la gravimétrie. Bull. Liaison Labo. P. et Ch. 92, pp. 74-79.

Legrand, H. E. et al. (1984): *Environmental problems in karst terranes*. In Hydrogeology of karstic Terranes: Case Histories. (A. Birger and L. Dubertret, Ed.) I.A.H. vol. I pp. 189-264.

Nicod, J. (1985): *Les phenomenes karstiques, risques «naturels»*. Annales de la Société Géologique de Belgique. T. 108, pp.301-302.

Pechorkin, A. I. (1985): *Engineering geological investigations of gypsum karst*. Le Grotte d'Italia, (4), XII PP, 383-388. Bologne.

Pulido, A. (1986): *Le karst dans le gypses de Sorbas (Almería). Aspects morphologiques et hydrogeologiques*. Karstologia Mémoires n° 1, pp. 27-35. Nimes.

Soriano, M.A. (1986): *Dolinas de disolución normal y dolinas aluviales en el sector centro-meridional de la Depresión del Ebro*. Boletín Geológico y Minero. T. XCVII-III, pp. 328-337.

Bibliografía sobre Subsistencia de la edición española

Ayala, F. J. y del Val, J. et al. (1986): *Mapa Nacional del Karst*, E. 1:1.000.000. IGME, Madrid.

Ayala, F. J., Rodríguez, G. M. del Val, J. Durán, J. J. et al. (1986): *Memoria del Mapa del Karst de España*. IGME, 68 pp.

Benito, G. (1987): *Karstificación y colapsos kársticos en los yesos del sector central de la Depresión del Ebro*. Actas de la VII Reunión sobre el Cuaternario, P.P. 99-102. Santander.

Coyette, J. P.; Funcken, L. Monjoie, A. et Thimus, J.F. (1985): *La prospection microgravimétrique dans la detection des cavités souterraines*. Annales de la Société Géologique de Belgique, T. 198, pp. 147-152.

Crawford, N. C. (1981): *Karst flooding in Urban Areas: Bowling Green, Kentucky*. Proceedings of the 8th International Congress of Speleology, vol. II, pp. 763-765. Bowling-Green, USA.

Cruz San Juan, J. (1977): *Formas kársticas en materiales de piedemonte*. Tecniterrae, 16, pp. 50-57.

Cucchi, F.; Forti, F. e Forti, P. (1983): *Movimenti recenti nel corso triestino da analisis di concrezioni stalagmitiche*. Geogr. Fis. Dinam. Quasst. 6, pp. 43-47.

Videos sobre Subsistencia de la edición española

RENFE (1992): *Los colapsos del terreno de la infraestructura ferroviaria*: 39 min. U. N. Mantenimiento de Infraestructura. Dirección de Producción y Calidad. Avda. Ciudad de Barcelona, 2, 3, 28007 Madrid. Teléfono (91) 5066402.

INUNDACIONES

Las inundaciones son el riesgo geológico con mayor capacidad destructiva. Pueden acarrear numerosas pérdidas de vidas humanas e ingentes daños económicos. Pese a ello, las inundaciones realizan una importante función, cada vez más patente, en los equilibrios ambientales regionales y locales. El desarrollo de las actividades humanas en las cuencas hidrográficas ocasiona efectos importantes en el drenaje, en la generación de inundaciones y en la erosión, así como en la calidad de las aguas y en la vida acuática. El control de las crecidas está íntimamente relacionado en la actualidad con los derechos de uso del recurso hídrico, lo que hace del control de las inundaciones la cuestión más importante y politizada de la ordenación del territorio y de la gestión del Medio Ambiente.

Génesis de las inundaciones

Una **inundación** es cualquier flujo de las aguas superficiales mayor del habitual, de tal manera que estas superan su confinamiento normal, cubriendo una porción de tierra que por lo general permanece seca. Las inundaciones naturales se producen cada cierto tiempo en la mayoría de los sistemas fluviales más importantes del planeta.

Las **inundaciones fluviales** se producen fundamentalmente cuando las aguas procedentes de las pre-

cipitaciones o del deshielo de las nieves se dirigen hacia un cauce de orden mayor desde su cuenca de recepción. Las mayores inundaciones implican una de las dos situaciones siguientes: o bien inusuales deshielos súbitos de la nieve en una primavera precoz, o bien eventos meteorológicos tales como huracanes o gotas frías, que causan lluvias intensas sobre una región muy amplia. En latitudes muy septentrionales o muy meridionales, algunas aglomeraciones de hielo, originadas por fragmentos y láminas de hielo librados durante el deshielo primaveral pueden, con cierta frecuencia, causar inundaciones. Inicialmente, el hielo roto se

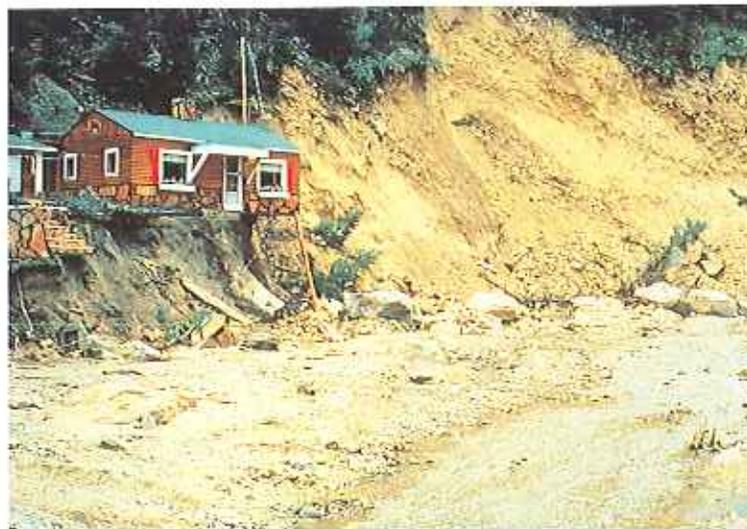


La calle principal de la parte baja de la ciudad de Northport en Alabama (EE.UU.), durante una inundación. (Foto del Servicio Geológico de Alabama).



La capacidad para mover materiales de las inundaciones relámpago puede observarse en los resultados de la inundación del Cañón Big Thompson, en el año 1976, en el estado americano de Colorado. Un pequeño camión se encuentra enterrado hasta las ventanillas por el lodo y las rocas transportadas por la riada. (Foto de la Fotobiblioteca del USGS, Denver, Colorado).

La inundación que atravesó el Cañón Big Thompson erosionó el suelo y arrastró los árboles de las laderas del valle. También descalzó los cimientos de la cabaña roja de la fotografía. Esta inundación destruyó varias viviendas y causó un centenar de víctimas que no pudieron ponerse a salvo rápidamente escalando las paredes del cañón. (Foto de la Fotobiblioteca del USGS, Denver, Colorado).



agolpa en el canal, produciendo una oclusión del mismo, causando la elevación del agua, e inundando el área aguas arriba del tapón de hielo. Cuando éste se rompe, el resultado es parecido al de la rotura de una presa, y una muralla de agua se precipita aguas abajo, inundando las áreas más deprimidas.

Las denominadas **inundaciones relámpago** (o tipo *flash*) se producen de manera natural cuando algunas tormentas, más o menos ocasionales, vierten grandes cantidades de lluvia sobre pequeñas cuencas vertientes. Aunque las inundaciones relámpago son de una duración muy corta, sus efectos son devastadores para los residentes del entorno.

La inundación rápida de 1976 en el río Big Thompson en Colorado (EEUU), produjo 140 muertos y provocó unos 30 millones de dólares de pérdidas eco-

nómicas. En el año 1942, cayeron en Bayfield, Wisconsin (EEUU), 216 mm de lluvia en 12 horas. Grandes bloques de piedra fueron arrastrados a través de los edificios de la ciudad, y la bahía terminó rellena de arena y lodo. Incluso los ataúdes fueron expulsados de sus sepulturas. A veces, las inundaciones relámpago obstruyen presas realizadas por el hombre y lanzan catastróficamente grandes volúmenes de agua río abajo.

En ocasiones, la fusión rápida de neveros locales o de hielo glacial debido a acciones volcánicas puede ser la causa de algunas inundaciones relámpago. Durante las erupciones del día 18 de Mayo de 1980 del Monte St. Helens (EEUU), se generaron aguas de fusión de neveros que, activadas pendiente abajo, provocaron inundaciones relámpago y coladas de barro. Una descomunal inundación prehistórica (la

inundación del valle de Wright) tuvo lugar en la Antártida, cerca del Mar de Ross, debida a una erupción volcánica acaecida por debajo del potente hielo glaciar. Otras inundaciones históricas de menor envergadura, producidas por la fusión provocada por los flujos caloríficos volcánicos, han tenido lugar en Islandia y Ecuador.

Las inundaciones debidas a tormentas costeras tienen lugar cerca de las áreas litorales deprimidas, cuando los vientos procedentes de tierra y las presiones barométricas bajas en situaciones tormentosas o huracanadas provocan que el nivel del mar se eleve localmente por encima de las llanuras litorales. Entonces, el agua del mar se precipita por las desembocaduras de los ríos y cubre las llanuras de inundación más cercanas al litoral, así como los deltas. Si, además, el momento de la tormenta coincide con la marea alta, la destrucción será catastrófica. A veces, los procesos fluviales y de tormentas costeras coinciden simultáneamente en una misma cuenca fluvial.

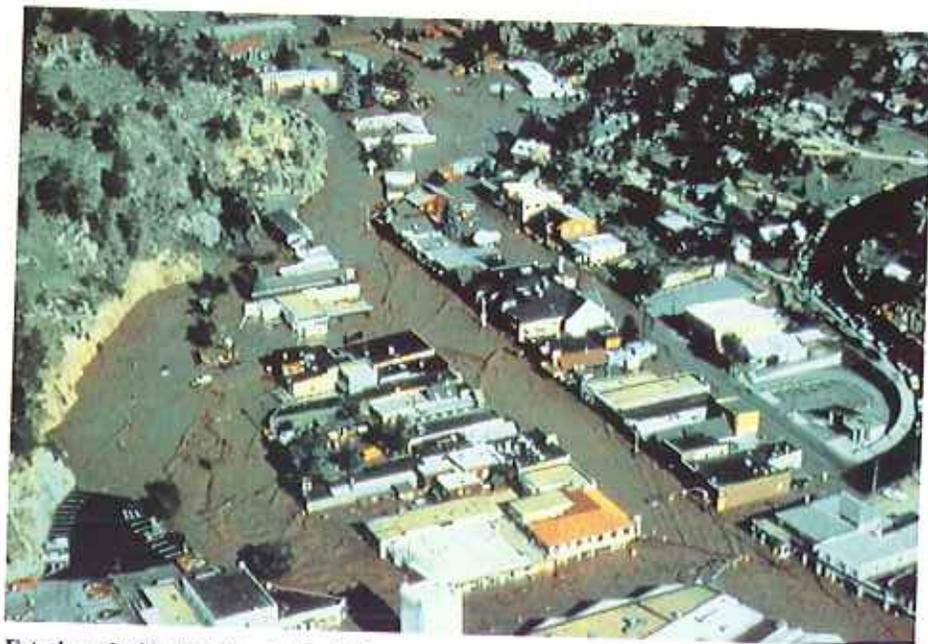
Las aguas de avenida fluyen valle abajo y se encuentran con una invasión de aguas marinas que migran valle arriba. Dado que las tormentas costeras afectan a las áreas litorales, detallaremos este tipo de procesos en el capítulo correspondiente sobre riesgos ligados a la dinámica litoral.

La influencia humana en el medio fluvial, sobre todo en los cauces, es el factor principal de entre los cau-

santes de las inundaciones, y, en cualquier caso, incrementa sus consecuencias. La inundación de este tipo más fácilmente imaginable es la producida por la rotura de una presa, afortunadamente un suceso poco frecuente. El derrumbe de una presa en el Río Little Conemaugh causó la inundación de 1889 en Johnstown, Pensilvania (EEUU), que originó 3.000 víctimas mortales. En julio de 1977 una nueva rotura de presa se produjo en el mismo lugar, causando 77 víctimas.

A veces, pueden formarse presas involuntarias con la acumulación de basura suelta, troncos de árboles y otros restos, almacenando fugazmente agua y causando inundaciones en un entorno local. El desastre de Buffalo-Creek del año 1972, en West Virginia (EEUU), causó 125 víctimas, y de alguna manera puede considerarse como la rotura de una presa construida. La "presa" era un apilamiento o escombrera de antiguos residuos mineros vertidos en una depresión del terreno. Este suceso catastrófico dió lugar a acciones inmediatas para eliminar presas de residuos similares a las de Buffalo-Creek. También dió lugar a una serie de normativas, limitadoras del tamaño de las balsas de retención de agua que pueden ser construidas en las minas activas. Además, estas presas destinadas a depósitos temporales deben ser eliminadas, una vez acometida la restauración de los terrenos afectados por actividades mineras.

La construcción de malecones o diques de tierra y madera a lo largo de los ríos ha sido una medida de



Esta inundación en Estes Park, Colorado (EEUU), se produjo cuando una tormenta destruyó dos presas situadas en los lagos Lawn y Cascade. (Foto de R.D. Jarret).

LAS INUNDACIONES MÁS CATASTRÓFICAS DEL MUNDO

(excluidas las producidas por tormentas costeras)

AÑO	Localización de la inundación	Vidas humanas perdidas
1887	Río Amarillo, China	De 900.000 a 6.000.000
1911	Río Yangtze, China	100.000
1931	Río Yangtze, China	3.700.000
1939	Río Amarillo, China	200.000

Las estimaciones de las vidas humanas perdidas en las mayores inundaciones son muy variables. Dependen de la fuente y de los métodos de estimación. Las cifras más elevadas, correspondientes a los años 1887 y 1931 incluyen las muertes por hambre inducidas por las inundaciones. Las fuentes utilizadas para la confección de esta tabla han sido: Clark y otros (1982), Tufty (1969) y la de la Oficina de Asistencia a Catástrofes en el Extranjero (1992), *Disaster History*.

control de las inundaciones utilizadas muchos siglos antes de nuestra Era. Los reventones de estos diques artificiales (ver discusión sobre el Río Amarillo más adelante) son frecuentes y pueden ser la causa de algunas de las avenidas más mortíferas posibles. La antigua gestión de las inundaciones de algunos ríos norteamericanos, como el Mississippi, también estuvo ligada a la construcción de grandes malecones, coincidiendo con un periodo de grandes inundaciones, entre finales del siglo XIX y principios del siglo XX. Hasta 1927, el Cuerpo de Ingenieros de los EE.UU. permaneció constantemente aferrado a la teoría según la cual únicamente los diques o malecones podían servir para controlar las inundaciones, pese a que todas las evidencias apuntaban en sentido contrario. Precisamente en el año 1927, la rotura de un dique a 29 km de Greenville, Mississippi (EE.UU.), arrojó una auténtica muralla de agua a lo largo de 930.000 hectáreas de terreno, precisamente cuando 5.000 agricultores intentaban salvar el malecón. El número de muertos producidos por dicha rotura jamás se supo con seguridad. Cuando finalizó la inundación, medio millón de personas quedaron sin hogar, como resultado de unas 100 roturas en los diques. El desastre de 1927 trajo consigo el fin de la casi fanática confianza en los malecones y dió lugar a un enfoque de la gestión de inundaciones mucho más amplio.

Las inundaciones están muy condicionadas por las actividades humanas en la cuenca de recepción: las actividades agrícolas, el sobrepastoreo, la deforestación o la construcción, pueden incrementar la magnitud y la frecuencia de las inundaciones, a través de la modificación de la capacidad de la tierra para absorber el agua.

Algunas otras actividades humanas pueden provocar inundaciones. Por ejemplo, el cegado de canales

naturales con sedimentos procedentes de proyectos constructivos o de actividades mineras. Esto último ocurrió en la explotación de un depósito fluvial en California a finales del siglo XIX. También la escasa planificación en el desarrollo y la pavimentación de amplias áreas, ejemplo de lo cual es la inundación de 1972 en Rapid City, Dakota del Sur, EE.UU. La construcción de presas, que más tarde pueden romper catastróficamente, como le ocurrió a la presa Teton en Idaho, en 1976, es otra actividad humana que puede generar inundaciones.

La escorrentía comprende los procesos mediante los cuales determinadas cantidades de agua procedentes de las precipitaciones se trasladan sobre la superficie de la tierra. **La infiltración** se produce cuando el agua se introduce en el suelo y es liberada lentamente, por último, hacia los ríos.

La escorrentía se incrementa cuando los bosques se talan y la vegetación herbácea es eliminada (como ocurre durante las labores de minería o las excavaciones); también cuando áreas importantes se pavimentan o se construyen edificios. Las precipitaciones que tienen lugar en una cuenca urbanizada corren por pendientes desnudas, pavimentos y terrazas, alcanzando drenajes artificiales y alcantarillas, pasando rápidamente a los ríos. En una cuenca bien vegetada, la vegetación y los potentes suelos orgánicos, porosos y esponjosos, hacen disminuir la escorrentía superficial. Se infiltra en el suelo una cantidad mucho mayor de agua en relación a la que corre por la superficie. Debido a que el agua infiltrada llega a los ríos más lentamente, incluso tras varios meses, un río alimentado por una cuenca de drenaje con alta infiltración y baja escorrentía superficial será mucho más resistente a las inundaciones.

Las inundaciones son el más devastador de todos los agentes geológicos. Únicamente las grandes plagas, las guerras mundiales o el holocausto nazi han superado a las inundaciones en cuanto a pérdidas catastróficas de vidas humanas. Los lugares en los que se han producido los mayores desastres naturales de la historia son, sin duda alguna, los ríos chinos. Los textos difieren únicamente en identificar la mayor de las inundaciones en cuanto a pérdidas humanas: si fue la del año 1887 del Río Amarillo, o la del año 1931 del Río Yangtze.

Al Río Amarillo se le llama con frecuencia "El dolor de China" y se ha llevado más vidas que ningún otro evento natural. El río Amarillo transporta 1.600 millones de toneladas de limo cada año, lo suficiente para construir un muro de 6 metros de altura y 5 metros de ancho alrededor de toda la Tierra. Como el limo se deposita en el canal del río a lo largo de los últimos 800 km de su curso, que recorre la lisa llanura del norte de China, el cauce se va rellenando de sedimentos, elevándose el fondo del río. En la medida que sube el fondo del río, así sube el nivel de las aguas. Para prevenir las frecuentes inundaciones, los habitantes de las riberas tienden a recrecer continuamente los malecones en una proporción equivalente a la elevación del lecho del río provocada por la sedimentación de los limos. El río queda de esta manera totalmente colgado de manera gradual por encima de la llanura aluvial, encerrado entre dos diques paralelos que se extienden durante centenares de kilómetros.

Las muertes a lo largo del río se producen, en primera instancia, cuando los malecones y diques se destruyen por causas naturales durante las épocas de precipitaciones intensas, o bien a causa de roturas intencionadas en tiempo de guerra.

En las mayores inundaciones, las roturas iniciales se ampliaron en pocos minutos, produciendo enormes aperturas de casi un kilómetro de anchura. Los enormes volúmenes de agua derramados fueron a parar a las bajas llanuras aluviales, cubriendo una superficie de cerca de 25.000 km², es decir un área tres veces mayor que la Comunidad Autónoma de Madrid. Fueron necesarios años para reponer los diques y secar las áreas inundadas. Además, la pérdida de vidas humanas debida a esta inundación se extendió durante varios años, incluyendo no sólo a los ahogados, sino a todos aquellos que murieron de frío, hambre, y otras enfermedades derivadas de la inundación, como el cólera.

Muchos de los muertos de la inundación del Río Yangtze fueron atribuidos al hambre. El río Yangtze era el hogar de casi 250 millones de personas, genera-

doras de prácticamente la mitad de los cereales de China. Al producirse la inundación, el agua subió 30 metros por encima de su nivel normal, y la enorme productividad de este área tan importante fue totalmente destruida. Una inundación posterior, en el año 1954, causó 30.000 muertos, después de heroicos esfuerzos por contener la crecida de las aguas.

En los Estados Unidos, la media anual de vidas humanas perdidas es de 100, y los daños económicos suponen entre 1.000 y 3.000 millones de dólares. Con 408 millones de kilómetros de ríos a lo largo y ancho de los Estados Unidos, y con un 6% de las tierras conteniendo un elevado porcentaje de la población y de las propiedades, es lógico que se esperen frecuentes amenazas de inundación. Unas 20.000 comunidades están afectadas por las inundaciones, y cada año deben ser evacuadas más de 300.000 personas. Las mayores ciudades de EE.UU. tienen importantes extensiones de sus desarrollos urbanísticos localizados en las llanuras de inundación.

La Génesis de las inundaciones y el concepto de Tiempo Geológico

Las inundaciones son tan frecuentes que muchas personas pueden observar varias en el transcurso de sus vidas. Aunque mucha gente debería prever inundaciones al menos cada cierto número de años y tomar las precauciones normales para tratar con ellas, la mayor parte de las acciones encaminadas a mitigar el riesgo de inundaciones se llevan a cabo realmente tras las consecuencias de una inundación. La frecuencia con que se generan las inundaciones no ofrece la historia completa de estos fenómenos en el contexto del tiempo geológico. El mayor registro histórico de inundaciones procede del Río Nilo. Los **nilómetros** fueron probablemente los primeros dispositivos de aforos de corrientes de agua y fueron usados desde aproximadamente el 3.500 a.n.E. El dilatado registro de las inundaciones del Nilo tipifica los cambios a lo largo del tiempo que se producen en la mayoría de los ríos: pronunciadas irregularidades caracterizadas por frecuentes inundaciones pequeñas, ocasionales avenidas importantes y escasas inundaciones extraordinarias. Las mayores inundaciones no se producen a intervalos regulares. La distribución matemática de estos eventos representada a lo largo del tiempo se denomina un **fractal**. Es similar a la distribución de la lluvia en un lugar a lo largo del tiempo. Las inundaciones extraordinarias no son predecibles, al menos no más que las grandes tormentas o los huracanes. Sin embargo, los efectos de las inundaciones pueden ser anticipados mediante los registros cli-

GUIA CIUDADANA DE LOS RIESGOS GEOLOGICOS

máticos e históricos y los estudios geológicos. El registro geológico, marcado en los sedimentos a lo largo de un cauce puede, en ocasiones, contar con qué frecuencia han ocurrido inundaciones prehistóricas en un área y de qué magnitud han sido éstas.

Para deducir los posibles efectos de las inundaciones se pueden utilizar algunos programas informáticos que para su *modelización* tienen en cuenta la superficie de la topografía local, la geología y el uso del suelo. Estos programas permiten introducir una lluvia hipotética (con una cantidad, intensidad y área afectada determinada) y ofrecer como resultado los niveles de agua esperados en las cuencas durante y después de los eventos de precipitación.

Las inundaciones pueden ocurrir durante cualquier mes del año, pero lo normal es que las inundaciones se produzcan ligadas a sucesos estacionales que se originan con cierta regularidad temporal. Las inundaciones que se producen de acuerdo con ritmos anuales, como las lluvias primaverales, el deshielo de nieves o los monzones (vientos estacionales que soplan tierra adentro desde mares y océanos, y acarrear fuertes lluvias) pueden ser predichas por ocurrir frecuentemente y durante determinadas estaciones. Se pueden esperar inundaciones significativas cada dos o tres años en muchos ríos, en relación con procesos estacionales.

La mayoría de los lectores sabrán que los huracanes provocan tormentas costeras, pero los huracanes tam-



Las llanuras de inundación de los grandes ríos sufren inundaciones con cierta frecuencia. Esta vista aérea muestra una inundación primaveral en el Río Missouri, aguas abajo de la desembocadura del Río Osage, en abril de 1973. En las llanuras de avenida que se inundan frecuentemente, es preciso diseñar estructuras de control de las crecidas o, en caso contrario, limitar su desarrollo. (Foto de Richard Waugh).

Las lluvias torrenciales desplazadas tierra adentro por el Huracán Camille en el verano de 1969 provocaron inundaciones en muchas áreas rurales que normalmente podrían ser consideradas como libres de riesgo; un ejemplo de esto es la cabaña de la fotografía, situada en West Virginia (EEUU), utilizada para campamentos de geología por la Universidad de West Virginia. Esta es una buena muestra de las inundaciones excepcionales que sorprenden a muchos ciudadanos que creen vivir en lugares donde las inundaciones no pueden suceder. (Foto de Edward Nuhfer).



bién pueden causar importantes inundaciones fluviales tierra adentro, debido a que transportan la humedad muy lejos hacia el interior de la costa. Las inundaciones inducidas por los huracanes son también estacionales, pero no son tan predecibles como los eventos de tipo estacional más pequeños y más frecuentes. El número de huracanes varía de año en año, y los movimientos son generalmente impredecibles. Un huracán produce inundaciones significativas en algunas partes de Este de los Estados Unidos al menos una o dos veces en una década, y con una mayor frecuencia en la Costa del Golfo.

Ciñéndonos a áreas específicas del este de Estados Unidos, una gran tormenta o un huracán producirán una inundación extraordinaria cada siglo o dos. Este es normalmente el tipo de inundación que los ingenieros y planificadores intentan anticipar en la "inundación de los 100 años", usada en la zonificación y en los proyectos de control de inundaciones.

Es importante recalcar que la inundación de los cien años no es la máxima que puede ocurrir en un río. Inundaciones catastróficas se dan cada varios centenares de años. Su infrecuencia dificulta su prevención y hace poco razonable usarlas como la base para proyectos de estructuras de control. De hecho, una inundación con un período de retorno de 1000 años, representa un intervalo de tiempo que es aproximadamente 10 veces la vida media de una persona. Pese a todo, algunas inundaciones históricas importantes cacen en esta categoría. La inundación del

Cañón Big Thompson de 1976 fue un evento cuya probabilidad esperada de ocurrencia es aproximadamente de una vez cada 5.000 años; las inundaciones de 1936 en el Valle Connecticut de Massachusetts, también representaron un evento que ocurre quizás sólo cada varios miles de años. Estas descomunales inundaciones son normalmente locales y resultan de procesos tormentosos que son, precisamente, tan infrecuentes como las inundaciones que producen. Un registro sorprendente de la lluvia caída en seis horas de 800 mm, se produjo cuando el huracán Camille produjo devastadoras inundaciones relámpago en el condado de Nelson, Virginia (EEUU), en 1969.

Enormes inundaciones, muy poco frecuentes, de tamaños superiores a las registradas históricamente se pueden observar en el registro geológico. Los depósitos de canal del Este de Washington (EEUU) resultaron de la rotura de una inmensa presa de hielo, hace 15.000 años, que retenía el lago glacial Missoula. El lago estuvo en lo que es hoy la parte oeste de Montana. Varios cientos de miles de metros cúbicos de agua fluyeron a través de 5.000 kilómetros cuadrados y excavaron canales de decenas de metros de profundidad en las sólidas rocas del sustrato. La presa se rompió repetidamente durante la finalización del Pleistoceno, enviando aguas una y otra vez a través de Idaho y el este de Washington. Estudios detallados de los depósitos sedimentarios en otras áreas, revelan igualmente periodos de inundaciones de extraordinaria convergadura. Tales



Un nilómetro en la Isla Roda, cerca de El Cairo, en Egipto. Existen varios tipos de nilómetros, el más sencillo de los cuales es el más antiguo; registra los niveles de los momentos de aguas altas. Estas primitivas estaciones de aforos proporcionan el registro hidrológico más dilatado de la Historia. (Foto de P.E. La Moreaux).

Un dique a lo largo del Río Mississippi comienza a experimentar filtraciones que pueden ocasionar drenes de agua a través del dique y una eventual rotura catastrófica. Numerosos sacos de arena han sido depositados sobre vallas de madera, en un esfuerzo por mantener el dique. (Foto del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EEUU).



áreas incluyen las regiones glaciares del norte y centro de los Estados Unidos, el actual Mar Mediterráneo (que no siempre ha sido un mar durante los tiempos geológicos) y la inundación del Valle Wright en la Antártida.

Los peligros de las inundaciones

Las pérdidas primarias causadas por las desenfrenadas aguas de las inundaciones son las muertes o graves daños en personas y animales, daños estructurales en edificios, carreteras y servicios públicos, así como la destrucción de equipamientos

y propiedades. En los países desarrollados, las buenas comunicaciones existentes y los sistemas de vigilancia permiten avisar con rapidez a los ciudadanos, y los adecuados sistemas de transporte posibilitan la rápida evacuación y prevenir así la pérdida masiva de vidas sobre amplias áreas. Lo ideal es que no se produjera ninguna pérdida de vidas, una vez se hayan dado las adecuadas alarmas, pero la respuesta ideal no siempre se produce. La falta de educación específica hace que muchos ciudadanos carezcan de la habilidad crítica para distinguir entre una alerta de inundación-relámpago, que significa que se han desarrollado las condiciones meteorológicas



Si las aguas de una inundación fuerzan una vía a través de una zona débil en un dique, se puede producir una «burbuja» de agua emergente en la base del dique, en su seno, o en la misma llanura aluvial. Apilando sacos de arena en torno al punto donde el agua surge, ésta se eleva, proporcionando una cierta presión que ayuda a ralentizar las filtraciones y a prevenir la erosión que podría provocar una rotura mayor. Los diques deben ser monitorizados para vigilar los posibles daños que puedan sufrir y mantenidos siempre con suficiente capacidad de carga. Incluso la perforación de un animal puede causar la debilidad original necesaria para ocasionar una «burbuja» durante una inundación. (Foto del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EEUU).

lógicas oportunas para que se pueda generar una inundación, y una **alarma de inundación-relámpago**, que significa que la inundación ha comenzado en algunos puntos, y que son necesarias respuestas reales, tales como investigar la situación local inmediatamente y posiblemente desplazarse a zonas más altas. A causa de la urgencia del término "Alarma de inundación-relámpago" a veces no se comprende y los oyentes pueden no tomar la advertencia en serio hasta que ya es demasiado tarde. Incluso en los países más desarrollados las mayores pérdidas de vidas pueden producirse a partir de eventos instantáneos, como la rotura de una presa o una inundación relámpago.

Las pérdidas secundarias a más largo plazo relacionadas con las avenidas incluyen reflujos en alcantarillas, inundaciones de tanques sépticos, vertederos, áreas de acumulación de residuos, y granjas, que dejan las aguas resultantes de las inundaciones contaminadas con residuos animales, humanos e industriales. Estos residuos pueden contaminar pozos y otras fuentes de suministros de agua, e incluso pesquerías marinas localizadas cerca del área de desembocadura de los ríos. Puede producirse la interrupción de los servicios públicos habituales y del suministro de agua potable. El tener que enfrentarse con una incidencia masiva de enfermedades, es una posibilidad a tener en cuenta. Otros daños a largo plazo pueden ser el funcionamiento inadecuado de los equipos, problemas de hambre por falta de alimentos, personas sin hogar, así como pérdidas en los comercios, en la educación y en el empleo.

Cómo mitigar los efectos de las inundaciones

La reducción efectiva de las pérdidas por las inundaciones se consigue con tres acciones básicas por parte de los ciudadanos y de las administraciones y poderes públicos que los representan:

1. Inversiones en estructuras de control de las inundaciones, tales como presas y canalizaciones. El sector público ha dedicado importantes cantidades para mitigar los daños causados por las inundaciones. Estas estructuras han protegido eficazmente muchas áreas. Con todo, estas inversiones no han producido lo que podría considerarse una solución completa o definitiva. Las pérdidas por daños en inundaciones no han disminuido significativamente en Estados Unidos desde 1937, pese a las importantes inversiones en estructuras de control de las inundaciones. Esto es debido a que las llanuras de inundación se urbanizan más rápidamente a medida que están mejor protegidas. Las pérdidas urbanas por las continuas inundaciones siguen representando el mayor porcentaje del incremento de las pérdidas.

2. Zonificación de las llanuras de inundación para prevenir urbanizaciones que probablemente producirían pérdidas. Las acciones incluyen evitar que se asienten poblaciones elevadas en áreas propensas a las inundaciones, mediante restricciones del uso de las zonas más proclives a las inundaciones, dedicándolas a usos recreativos, zonas de aparcamiento y

Este tramo encauzado de Mill Creek, Wisconsin (EEUU), se muestra como un canal lineal y libre de irregularidades. La construcción de canales rectos en los cauces incrementa el flujo de las aguas y ayuda a prevenir las inundaciones locales, pero conlleva un importante impacto sobre la vida acuática en los ríos. La devastación que la canalización provoca en los ríos reduce de manera importante su atractivo como medida de control de las inundaciones. (Foto de Richard Waugh).



agricultura. Otras restricciones de planificación se refieren a la ubicación de edificios para que sean construidos a cotas más altas que la de la máxima inundación previsible y la limitación del desarrollo urbanístico de las llanuras de inundación mediante otras medidas legales.

3. Adquisición de seguros adecuados para el riesgo de inundación. En muchos países, buena parte de los propietarios de viviendas que habitan en áreas susceptibles de inundación carecen de un seguro adecuado a tal riesgo, bien por ausencia de coberturas específicas (privadas o con participación pública) o, porque, existiendo éstas, su extensión entre los potenciales asegurados es escasa: porque son caras, por desconocimiento de los propietarios, o por pura negligencia de los mismos, confiados muchas veces en las ayudas públicas.

Hoy, en muchas comunidades de los Estados Unidos, una persona no puede obtener financiación con la garantía oficial para comprar, construir o reformar edificios en áreas con riesgos de inundación. Las nuevas estructuras construidas en sintonía con las normas del Programa Nacional de Seguros de Inundación (National Flood Insurance Program, NFIP), al que hacemos breve referencia en la Parte IV, tienen probablemente menos posibilidades de experimentar pérdidas que otras estructuras más antiguas, que no cumplen dichas normas. Actualmente, aproximadamente la mitad de las estructuras existentes en las llanuras de inundación son nuevas y en sintonía con las normas, y la zonificación y los códigos de regulaciones de construcción están reduciendo las pérdidas de manera muy significativa. Las estructuras más antiguas, fuera de las normas, disfrutaban de unas tarifas de seguros subvencionadas, dado que están exentas del NFIP por una cláusula paternalista. Las estructuras bajo este sistema son una fuente importante de reclamaciones de los seguros de inundaciones, por lo que una porción mínima de todas las propiedades aseguradas frente a daños por inundaciones representa una importante parte de los pagos del NFIP. Desde el 1 de Octubre de 1991, los residentes en aquellas comunidades que han demostrado éxito en los intentos de reducción de pérdidas por inundaciones, disponen de unas primas menores del seguro de inundaciones.

Por lo que a España se refiere, el riesgo de inundación está integrado en el sistema de cobertura de catástrofes naturales, que se describe asimismo en la Parte IV.

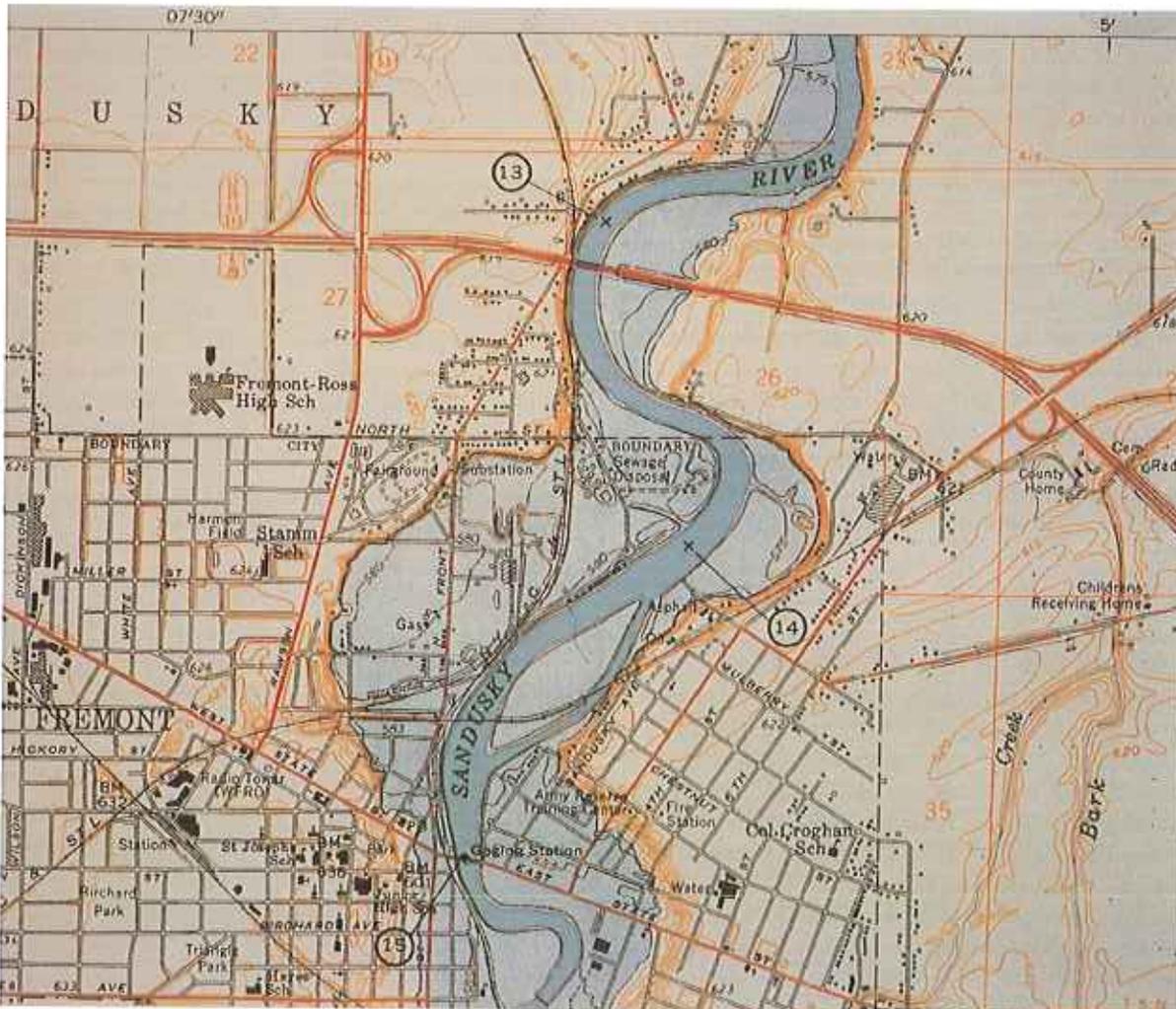
Controversias sobre el control de las inundaciones

Pocas interacciones entre el hombre y la naturaleza han despertado más controversias que el control de las inundaciones. Los intentos más tempranos del hombre por controlar las inundaciones fueron los diques y malecones usados por los egipcios para mejorar la agricultura. Aproximadamente alrededor del 3.000 a.n.E. los egipcios gobernados por el Rey Menes, represaron el Nilo y desviaron su curso. Desde antes del 2.000 a.n.E., los chinos utilizaron diques y malecones intentando impedir inundaciones. Los emperadores chinos fueron o no recordados cariñosamente de acuerdo con su éxito en gestionar los recursos hídricos y los riesgos de inundaciones. Los diques y malecones fueron también los medios primarios de control utilizados por el gobierno de los Estados Unidos hasta después de 1927.

Las canalizaciones, o encauzamientos rectilíneos de los cauces para incrementar su capacidad de enviar flujos hídricos importantes aguas abajo de manera rápida, han sido también utilizados como medidas de control de las inundaciones. Las canalizaciones son una medida controvertida, dado que aunque temporalmente mejora el flujo, devastan permanentemente el segmento de río encauzado y lo convierte en un tramo que es absolutamente incapaz de soportar una vida acuática diversificada.

Las presas modernas no fueron construidas en Europa hasta hace unos 200 años. No obstante, los romanos ya disponían de numerosas presas en la región circunmediterránea en torno al cambio de Era. En España aún existen presas en funcionamiento cuyo origen es romano. Las primeras grandes presas de control de inundaciones fueron construidas en Estados Unidos en 1913. Desde 1927, se han construido presas y esclusas en todos los grandes ríos de los Estados Unidos.

Hoy existen unas 50.000 presas en Estados Unidos, y los lugares donde las presas pueden o no pueden ser construidas han sido una fuente de grandes controversias políticas. Los intereses agrícolas y los recursos naturales han favorecido la construcción de muchas pequeñas presas en los afluentes tributarios para control de las inundaciones. Grandes grupos industriales y de desarrollo, favorecen la construcción de grandes presas aguas abajo. Cada grupo de interés ha apoyado su propia agencia gubernamental cuya filosofía está en sintonía con su interés; esto ha acarreado amargos debates políticos en los cuales el interés en



Este mapa ha sido realizado por geólogos de los Servicios Geológicos de Ohio y de los EEUU. El área expuesta a las inundaciones, bordeando el Río Sandusky aparece en azul claro. Una planta depuradora está situada dentro de esta área de inundación potencial. Los residuos que penetran en un río durante una inundación pueden producir contaminación e incluso enfermedades en el caso de algunos países subdesarrollados, donde existen habitualmente pocas estaciones de depuración. (Foto del Atlas Hidrológico 47 del USGS).

vencer anulaba a veces el interés en proporcionar una gestión adecuada.

En España existen más de 1.000 presas, siendo uno de los países occidentales con mayor densidad de embalses por superficie.

En el este de los Estados Unidos, las presas, junto con los muros de contención, han proporcionado un incremento de la estabilidad y el control. Los controles han conseguido que los ríos de dicha región se conviertan en importantes rutas de barcos comerciales y gabarras. De igual manera, las presas han permitido la puesta en regadío de regiones áridas que son, en la actualidad, las mayores fuentes de productos agrícolas

de todos los Estados Unidos. La generación de energía hidroeléctrica en muchas presas proporciona energía limpia aunque cuestionada por algunos ecologistas y los embalses situados detrás de las presas se emplean para todos los usos, desde el suministro de agua potable para ciudades y granjas, hasta la pesca y los deportes acuáticos, el ocio y el esparcimiento. La mayor relación de botes por propietario se da hoy en los estados que anteriormente no poseían importantes embalses, lagos naturales o ríos navegables.

Las presas también traen consigo costes y consecuencias desagradables. Las tierras ganadas para agricultura mediante regadío se ven compensadas por otras tierras perdidas en los deltas o en las llanuras

aluviales aguas abajo de las presas, erosionadas a causa de que no están alimentadas por los limos. Los embalses detrás de las presas extienden superficies de agua sobre áreas muy extensas y pueden cubrir bosques utilizables, áreas de recreo, valles de alto valor paisajístico, áreas históricas y tierras fértiles para la agricultura. El agua embalsada en una superficie importante es susceptible de evaporación, y en regiones áridas esta puede ser tan grande que resulte una pérdida muy significativa del agua utilizable, además de aumentar la salinidad del agua remanente. Los embalses pueden además perder agua a través del fondo, por vía subsuperficial, especialmente en aquellas formaciones geológicas que se disponen dentro del embalse por encima del nivel del río, en las que el agua puede perderse tanto para el uso humano como para el medio fluvial.

Cuanto más presas se construyen, la calidad y la cantidad del agua disponible aguas debajo de las presas se deteriora. El río Colorado (EEUU) ha sido prácticamente erradicado cuando alcanza su desembocadura en el Golfo de California, y la calidad del río Grande se ha visto igualmente reducida por las presas y los proyectos de riego, que han sido una continua fuente de conflictos políticos entre México y los Estados Unidos. Las grandes presas ocasionan cambios abruptos en los medios fluviales que han sido generados a través de procesos seculares; por esta razón, la construcción de grandes presas puede acarrear daños ecológicos irreparables. Las pesquerías marinas comerciales pueden deteriorarse, tras la construcción de una gran presa, al decrecer las poblaciones piscícolas a causa del embalsamiento aguas arriba de los nutrientes y la desorganización de los hábitats de desove en las zonas húmedas costeras. La industria de la sardina en el Mediterráneo se redujo notablemente después de la construcción de la presa de Asuán sobre el río Nilo. Aguas arriba, las áreas planas creadas por los lodos del embalse pueden incrementar las poblaciones de organismos indeseables, portadoras de enfermedades, como por ejemplo algunas especies de caracoles.

Las presas no mitigan todas las inundaciones. No es posible proyectar una presa capaz de soportar una inundación catastrófica, de las que puede ocurrir una cada varios miles de años. Cuando se produce una inundación de este tipo, algunas presas se pueden romper y causar gran cantidad de pérdidas de vidas humanas. En el año 1981, un estudio del Cuerpo de Ingenieros de los EE.UU. detectó 2884 presas inseguras, de un total de 8639 inspecciones. Muchas fueron

calificadas de inseguras debido al inadecuado diseño de los aliviaderos. En el mundo entero, se rompen de media más de tres presas cada año.

La construcción de una presa no proporciona una solución permanente y única frente a los daños de las inundaciones. La sedimentación en el vaso del embalse implica que las presas tienen una vida útil limitada en el tiempo. Cuando se llenan, retienen una cantidad muy grande de lodo dentro del valle fluvial, de tal manera que a veces se las denomina "presas de sedimentos". Muchas presas de EE.UU. se están aproximando al final de su vida útil, y se necesitará tomar decisiones financieras para realizar una comparación entre las medidas necesarias para su mantenimiento y reemplazamiento y las de adoptar otros métodos alternativos de control de las inundaciones.

Muchos científicos e ingenieros son defensores de la zonificación y ordenación de las llanuras de inundación como una alternativa a las grandes obras de ingeniería como presas, canalizaciones y proyectos de encauzamientos. Una buena zonificación y una política de ordenación del territorio y de gestión suele estar reñida con las presiones para el crecimiento urbano, el desarrollo urbanístico, y las de las agencias y organizaciones privadas que compiten para conseguir fondos e influencias. No hay respuestas simples que satisfagan todos los intereses y todas las situaciones posibles.

Las inundaciones en España

España es un país con un importante riesgo de inundaciones, como indica el registro histórico a lo largo y ancho del territorio peninsular e insular. En un informe elaborado en el año 1984 por la Comisión Técnica de Inundaciones de la Comisión Nacional de Protección Civil, se detectaron **1.400 puntos negros** en la red fluvial española, repartidos por todas las grandes cuencas hidrográficas peninsulares.

Algunos de estos eventos han sido realmente catastróficos, arrojando pérdidas económicas multimillonarias y decenas, centenares e incluso, en ocasiones, un millar de víctimas mortales. Una de las catástrofes más recientes en el tiempo (1996) fue la de Biescas, en el Pirineo aragonés, donde 87 personas perdieron la vida en un camping ubicado en el abanico aluvial situado en la desembocadura del río Arás, canalizado hacía pocos años. Muchos expertos han expresado su opinión en relación con la falta de criterio geológico con la que se realizó el encauzamiento del río y la ubicación del

camping. Un análisis geomorfológico y sedimentológico de los materiales constitutivos del abanico revelaba claramente que este proceso –avenidas torrenciales como la del año 1996 – había sido recurrente a lo largo del tiempo geológico.

No existe ninguna cuenca hidrográfica española

totalmente a salvo de las inundaciones, aunque sí pueden establecerse niveles de riesgo muy diferentes. La mayor parte de las inundaciones destructivas en España son del tipo de las **inundaciones relámpago**, transitorias, momentáneas o discontinuas. Responden a precipitaciones muy intensas, cortas en el tiempo (por lo general pocas horas), pero



La Rambla de Albuñol (Granada), escenario de la inundación extraordinaria del año 1973. Esta avenida es un ejemplo de las inundaciones relámpago que se producen en las pequeñas cuencas del litoral mediterráneo español. Una serie de tormentas, asociadas a una situación atmosférica de tipo *gota fría*, descargaron 600 mm. de lluvia en tan sólo unas horas. Las elevadas pendientes de las cabeceras y la forma redondeada de la cuenca contribuyeron a que un cauce habitualmente seco se transformara súbitamente en un extraordinario torrente de 2.580 m³/s de agua y arrastres sólidos. Los resultados fueron desastrosos: 46 muertos, 94 casas destruidas y 141 dañadas, las redes de comunicación (incluida la N-340), abastecimiento y saneamiento destrozadas. (Foto de J.J. Durán).

Depósitos de lodos originados por una inundación en Gandía (Valencia). Los efectos destructivos de las inundaciones pueden verse incrementados por la gran cantidad de materiales sólidos que se ven arrastrados por las aguas. Aunque es muy difícil estimar un porcentaje de sólidos arrastrados y en suspensión, se sabe que en ocasiones éstos superan el 40%. Esto provoca pérdidas adicionales debido a la erosión de suelos y contribuye al incremento del caudal punta de las avenidas, así como a su capacidad destructiva. En el lado opuesto de la balanza estos sedimentos renuevan la capacidad productiva de los terrenos agrícolas y son potenciales regeneradores de deltas y playas. (Foto de J. J. Durán).



INVENTARIO DE PUNTOS CONFLICTIVOS DE INUNDACIONES HISTÓRICAS EN ESPAÑA

(COMISIÓN NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL - COMISIÓN TÉCNICA DE INUNDACIONES, 1984)

INUNDACIONES, PUNTOS CONFLICTIVOS					
CUENCA	CLASE				TOTAL
	1ª	2ª	3ª	4ª	
HIDROGRÁFICA					
Norte	200	-	100	-	300
Duero	7	18	27	20	72
Tajo	5	-	20	-	25
Guadiana	30	12	17	7	66
Guadalquivir	61	32	62	22	177
Sur	23	26	37	35	121
Segura	8	-	1	-	9
Júcar	54	33	60	26	173
Ebro	73	33	47	68	121
Pirineo Oriental	109	20	43	-	172
Islas Canarias	17	2	4	6	29
Islas Baleares	2	-	16	15	33
TOTALES	589	176	434	199	1.398

Clase	Periodo de retorno de la avenida (años)		Daños graves Vidas	Haciendas
	100	500		
1ª	*		*	*
2ª		*		*
3ª	*			*
4ª		*		*



Efectos causados por la rotura de la presa de tierra del Embalse de Tous (Valencia) en el año 1982. (Foto de Guillermina Garzón).

INUNDACIONES MÁS IMPORTANTES EN ESPAÑA

AÑO	LOCALIDAD	DAÑOS	Nº DE VICTÍMAS MORTALES
1651	Murcia	Graves	1.000
1779	Ribera Baja del Júcar	Importantes	numerosas
1802	Lorca (Murcia)	Destrucción de la ciudad	700
1874	Cataluña	Grandes daños, más de setecientas viviendas destruidas	600
1879	Murcia	Grandes daños	800
1891	Consuegra (Toledo)	Destrucción parcial de la localidad	359
1957	Valencia	Grandes daños, más de trescientos edificios destruidos, 10.000 millones de 1957	86
1962	Cataluña	Grandes daños. Cinco mil viviendas destruidas. 2.700 millones en pérdidas	1.000
1963	Murcia, Almería	Grandes daños	300
1971	Cataluña	Grandes daños. 7.000 millones de pérdidas	400
1972	Valdepeñas	Daños importantes	22
1973	Sureste	Grandes daños en zonas extensas	300
1982	Levante	Grandes daños. 300.000 millones de pérdidas	38
1983	País Vasco y Cantabria	Más de 150.000 millones	40
1989	Málaga y Sureste	200.000 millones	42
1994	Cataluña	30.000 millones	9
1995	Yebra (Guadalajara)	Daños importantes	10
1996	Biescas (Huesca)	Varios miles de millones	87
1997	Alicante y Sureste	10.000 millones	5

Tabla elaborada por J.J. Durán a partir de datos de diversas publicaciones del Instituto Tecnológico Geominero de España y de Berga (1998), Potenciano *et al.* (1996), Martínez Goytre y Garzón (1996) y Martínez Goytre *et al.* (1996).

con volúmenes globales muy por encima de la capacidad de infiltración de la cuenca de recepción. Son típicas de las zonas mediterráneas, donde las ramblas –secas la mayor parte del año–, las rieras o las planas soportan una ocupación humana notable, aumentando el riesgo y la capacidad destructiva de estos fenómenos.

Las zonas del interior, no obstante, no están exentas de riesgo: así lo demuestra la inundación de 1891 en Consuegra (Toledo), donde el río Amarguillo, un afluente del Guadiana, causó 359 muertes y la destrucción parcial de la localidad.

En la región septentrional española (País Vasco, Cantabria) las altas pendientes y el encajamiento de los valles hace que los problemas se concentren en las cercanías de los cauces, multiplicando las pérdidas en

caso de inundación. En el año 1983 se produjeron daños económicos en estas regiones valorados en más de 150.000 millones de pesetas, además de 38 muertos. Las indemnizaciones pagadas por el Consorcio de Compensación de Seguros, por esta catástrofe, ascendieron a 91.261 millones de pesetas (actualizadas a 31-12-1996), correspondiendo en su mayor parte a daños producidos en el País Vasco. Se trata del importe más alto pagado por el Consorcio por un solo evento catastrófico.

También existen en España inundaciones lentas, como las de los grandes ríos americanos. El Ebro o el Guadalquivir son dos ejemplos, que han afectado en numerosas ocasiones a las ciudades de Zaragoza y Sevilla, sobre todo en épocas históricas, antes de ser sometidas al elevado grado de regulación mediante presas que presentan actualmente. En este tipo de cuen-



Vista frontal del abanico del barranco de Arás. Se aprecia la canalización del barranco, las casas del *camping*, y el lóbulo de sedimentos (zona de color blanca) depositado en la parte proximal del abanico. (Foto de J. Martínez Goytre, J. Martínez Gil y G. Garzón Heydt).

cas, con ríos permanentes, ha sido efectiva la implantación del Plan denominado SAIII o Sistema Automático de Información Hidrológica, que permite transmitir la información sobre las lluvias y los caudales, en tiempo real, a un centro de seguimiento, desde donde se pueden dar las correspondientes instrucciones de alerta y alarma, en función de la evolución del riesgo.

El día 7 de agosto de 1996 una crecida catastrófica del Barranco de Arás (Biescas, Huesca) barrió un *camping* situado en el abanico aluvial que conectaba la desembocadura del barranco con el Río Gállego. 87 personas fallecieron, arrastradas por una mezcla de agua, barro y bloques de piedra. El caudal punta que circuló fue de 500 m³/s. cuando la capacidad de desagüe de la canalización existente era de algunas decenas de m³/s. Lo más significativo de este fenómeno, es que según la mayoría de los especialistas, el *camping* estaba situado en una zona de alto riesgo, siendo sólo cuestión de tiempo la ocurrencia de una tragedia como esta del año 1996.

Las zonas urbanas no están exentas del riesgo de inundaciones. Grandes urbes interiores como Madrid han sufrido ocasionalmente daños causados por precipitaciones tormentosas y el desbordamiento de arroyos y

ríos. Muchas redes de alcantarillado no están diseñadas para drenar los enormes volúmenes puntuales que generan las precipitaciones intensas sobre zonas urbanas, cuyo grado de impermeabilización hace que prácticamente toda la lluvia se transforme en escorrentía superficial. En las ciudades litorales este problema es aún más frecuente. Las inundaciones de principios de otoño de 1997 en Alicante provocaron, además de pérdidas multimillonarias, cinco víctimas mortales. Dos de ellas, fueron literalmente engullidas por la red de alcantarillado.

Una de las labores más eficientes de la lucha contra las inundaciones en España es la realización de **mapas de riesgo**, a diversas escalas. El Instituto Tecnológico Geominero de España ha venido realizando y publicando desde los años 80 numerosos mapas de áreas más o menos extensas (Álava, Vizcaya, Planas de Levante) y de núcleos urbanos (de Andalucía, Extremadura, Comunidad Valenciana y Canarias). Estos mapas contienen una zonificación del territorio en función del riesgo potencial frente a las inundaciones, y permite una ordenación de las actividades y de los usos del territorio más congruente con la dinámica natural y menos lesiva para la economía local.



Inundaciones de septiembre de 1997. Centro de Alicante. (Foto Consorcio de Compensación de Seguros).

No hay que olvidar que en un estudio realizado por el IGME en el año 1987 sobre el impacto económico que los distintos riesgos geológicos podrían provocar en España entre los años 1986 y 2016, las inundaciones eran consideradas como el riesgo que mayores pérdidas económicas causarían, alcanzando un total de 5,6 billones, en pesetas de 1997.

El papel del geólogo en la predicción y el control de las inundaciones

La cualificación de los geólogos ofrece dos buenas razones para su implicación en la mitigación de las inundaciones. La primera es un currículum formativo especializado en la comprensión de los procesos naturales. Comienza en los cursos de Geología Física o Geomorfología para los estudiantes de primer ciclo, con el estudio de los efectos del agua de arroyada, y continúa en los cursos superiores, que se centran en los procesos fluviales y sus efectos. La segunda razón, es una concentración educativa en el significado del tiempo geológico ó tiempo profundo, que proporciona geólogos con el conocimiento de cómo se desarrollan los ríos y cómo se suceden las

inundaciones a lo largo del tiempo geológico. La hidrología, tanto superficial como subterránea, es uno de los sectores en el que más geólogos trabajan. Sus tareas son diversas, e incluyen el control de la calidad de las aguas, la realización de mapas, y las investigaciones relacionadas con procesos fluviales, entre los cuales se incluyen la erosión y la sedimentación. A continuación se ofrecen unos pocos ejemplos específicos, aunque esta relación no es en absoluto exhaustiva.

En la predicción de inundaciones. La geología aplicada al control de inundaciones comienza con la reconstrucción de la historia paleohidrológica de un área, es decir, de las antiguas inundaciones sucedidas, especialmente con anterioridad a la Historia registrada. Basándose en las morfologías, en los tipos de suelos y en los sedimentos presentes, es posible deducir la extensión y la magnitud de algunas inundaciones registradas que se produjeron en el pasado. No es una tarea sencilla reconstruir la historia detallada de un río o estimar cuál será realmente la inundación de los cien años, expresada en términos de niveles de agua y extensión. Los geólogos examinan los sedimentos de un valle fluvial y,

buscando sutiles marcas de erosión, pueden descubrir inmensas inundaciones pretéritas mayores que todas las registradas históricamente. Sin el estudio geológico estas inundaciones nunca podrán ser predichas. Los geólogos también pueden investigar cicatrices de inundaciones registradas en anillos de crecimiento de árboles o en otro tipo de vegetación que pueda revelar daños por inundaciones. Desde 1969 los geólogos (en gran parte con el Servicio Geológico de los EE.UU. como parte de la Agencia Federal de Gestión de Emergencia (FEMA) y el Programa Nacional de Seguros de Inundaciones) han estado involucrados a lo largo de todos los EE.UU. abarcando más de 13.000 mapas topográficos. Los esfuerzos actuales (año 1992) se dirigen bien a cartografiar áreas situadas aguas debajo de las presas mayores, con alto riesgo potencial de superar la descarga de sus aliviaderos, o bien a delimitar canales susceptibles de provocar inundaciones relámpago en áreas de potenciales futuros desarrollos urbanos.

Mediante la investigación del tamaño de los canales de drenaje y de la escorrentía potencial asociada con determinados usos de la tierra en la cuenca de drenaje, es posible también utilizar los ordenadores para realizar modelos cuantitativos de inundaciones hipotéticas para un área determinada, en base a escenarios variados de intensidad y cantidad total de lluvia. Ingenieros, geólogos y matemáticos aplicados están implicados en la realización de estos modelos. La predicción de la magnitud de precipitaciones futuras puede apoyarse en el uso de los datos históricos allí donde existan buenos registros disponibles. Cuando se produce una tormenta importante en cuencas fluviales que poseen dispositivos de monitorización, los datos resultantes permiten que la magnitud y el comportamiento temporal del flujo hídrico y de los estadios de las inundaciones asociadas a lo largo del canal fluvial puedan ser más precisamente predichos.

En geología para las estructuras ingenieriles de control. El éxito de cualquier estructura de control de inundaciones, sobre todo de las presas, depende de un adecuado asesoramiento geológico sobre la naturaleza de los materiales donde se cimenta, la estabilidad de los taludes en torno al vaso del embalse, y de la tasa de sedimentación que se producirá dentro del mismo. Algunos de los mayores desastres relacionados con inundaciones de toda la historia, tuvieron lugar precisamente cuando ciertas estructuras de control de inundaciones fueron realizadas sin una adecuada caracterización geológica. La presa Saint Francis en California

(FEUU) en el año 1928 (450 fallecidos), la presa Malpasset en Francia en el año 1962 (421 muertos), la presa de Vaiont en Italia en 1963 (3.000 fallecidos), y la presa Teton, en EEUU, en 1976 (11 víctimas mortales) son sólo unos pocos ejemplos de lo que puede ocurrir cuando se realiza una inadecuada evaluación del marco geológico, provocando desgracias personales importantes y enormes pérdidas económicas. Un estudio realizado en España en 1962, examinando las causas de las roturas de 300 presas, determinó que los fallos en la cimentación era el mayor factor individual de riesgo.

El papel del geólogo no está limitado a las estructuras de control de las inundaciones, sino que incluye todo tipo de construcciones que se realicen en las llanuras de inundación. Mediante la delimitación del área de inundación potencial, el geólogo define los límites de las zonas que deben excluirse de la localización de ciertos proyectos tales como depósitos de residuos, algunos tipos de industrias, y proyectos residenciales. La rotura de puentes, tales como la de 1987 en la Freeway New York State (EEUU) y la de 1972 del puente sobre la Interstate 90, cerca de Rapid City, en Dakota del Sur (EEUU), ocurrieron en ambos casos a causa de la erosión del aluvial, un proceso geológico normal durante las inundaciones, pero que no fue tenido en cuenta a la hora de realizar el proyecto del puente. Los soportes del puente fueron socavados y la rotura ocurrió porque el proyecto no tuvo en cuenta las condiciones geológicas. El diseño de estructuras tales como presas y encauzamientos corresponde competencialmente al ingeniero, pero la investigación de las condiciones geológicas del emplazamiento debe ser siempre llevado a cabo y supervisado por un geólogo cualificado.

La Geología es útil también como ayuda para investigar los costes efectivos de algunas estructuras. La presa Warm Springs, en California (EEUU), costó unos 440 millones de dólares, y fue construida para abastecimiento de agua. Las aguas subterráneas podrían haber abastecido a los mismos usuarios con un coste de sólo 10 millones de dólares, pero los geólogos nunca fueron consultados. La presa del embalse de Fishtrap sobre el Levisa Fork en Kentucky (EEUU) fue construida sin realizar un estudio adecuado para determinar la gran cantidad de sedimento que rellenaría el vaso del embalse. Cuando la presa fue construida se descubrió que la vida útil sería menos de la mitad de lo esperado. Sólo entonces llamaron a los geólogos para investigar más que para explicar los mecanismos de un anunciado desastre económico, en lugar de prevenirlo.

En educación. Hay un número de profesores de ciencias de la Tierra en nuestros sistemas educativos actuales que, o bien son geólogos, o tienen una significativa formación geológica (en el caso de Estados Unidos, 36 créditos o más en Geología). Desafortunadamente no son suficientes educadores. Pese a la frecuencia de inundaciones y a los inmensos gastos utilizados en rehabilitaciones y en control de inundaciones pocos ciudadanos (americanos o españoles) reciben educación relacionada con los procesos fluviales.

Es más probable que una población familiarizada con los ríos y con los procesos fluviales asuma una política firme de gestión que proteja las propiedades y minimice las pérdidas. Un público educado es menos probable que se deje influir por argumentos imprudentes que se formulan por intereses políticos o

económicos. Los ciudadanos deberían exigir que todos los estudiantes tuvieran una formación básica en Ciencias de la Tierra, impartida por un profesor con una sólida cualificación en Geología. Además, unas nociones básicas sobre el funcionamiento de los sistemas fluviales y sobre el comportamiento adecuado en caso de producirse inundaciones, ayudarían a disminuir las tragedias personales y las pérdidas económicas.

Adaptación realizada por Eur Geol. Juan José Durán Valsero, Doctor en Ciencias Geológicas y Licenciado en Geografía e Historia. Jefe de Proyectos de la Dirección de Aguas Subterráneas del Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE).

Bibliografía sobre Inundaciones de la edición americana

(*) Indica que las referencias bibliográficas son especialmente adecuadas para educadores

- Arnold, J. L., 1988, *The evolution of the 1936 Flood Control Act*: GPO n. 008-022-00245-6, Government Printing Office, Washington, DC 20402, 126 p.
- Association of State Floodplain Managers, 1987, *Reducing losses in high-risk flood hazard areas*: FEMA Pub. n. 116, 500 C St. SW, Rm. 324, Wash., DC 20492.
- Association of State Floodplain Managers, 1987, *Realistic approaches to better floodplain management*: Inst. of Behavioral Sci., Univ. Colorado at Boulder, CO 80309, 53 papers.
- Association of State Floodplain Managers, and Kusler, J. A., 1989, *Avoiding public liability in floodplain management: recent cases and trends in the courts*: Assoc. of State Floodplain Managers, P. O. Box 2051, Madison, WI 53701.
- Baker, V. R., (ed.), 1988, *Flood Geomorphology*: New York, John Wiley.
- (*) Belt, C. B., Jr., 1975, *The 1973 flood and man's constriction of the Mississippi River*: Science, v. 189, pp. 681-684.
- Biswas, A. K., 1972, *History of Hydrology*: Amsterdam, North Holland Pub. Co.
- (*) Brown, W. R., and Cutcheon, B. W., 1975, *Historical Catastrophes: Floods*: New York, Addison Wesley.
- (*) Bue, C. D., 1967, *Flood information for flood plain planning*: U.S. Geol. Survey, Circular 539.
- (*) Buffey, P. M., 1977, *Teton dam verdict: A foul-up by the engineers*: Science, v. 195, pp. 270-272.
- (*) Burby, R. J., and others, 1988, *Cities under water: ten cities' efforts to manage floodplain land use*: Monograph 47, Institute of Behavioral Sci., Univ. Colorado, Boulder, CO 80309.
- (*) Clark, C., and others, 1982, *Flood*: Alexandria, VA, Time-Life Books Planet Earth Series 176 p. An outstanding book for students and lay readers, it contains detailed, well-illustrated accounts of catastrophic floods and dam failures.
- Committee on Natural Disasters, National Research Council, 1991, *The New Year's Eve Flood on Oahu, Hawaii, December 31, 1987 - January 1, 1988*: Washington, DC, National Academy Press.
- Costa, J. E., 1978, *The dilemma of flood control in the United States*: Environmental Management, v. 2, pp. 313-322.
- Costa, J. E., 1978, *Holocene stratigraphy in flood-frequency analysis*: Water Resources Research, v. 14, pp. 626-632.
- Costa, J. E., 1985, *Floods from dam failures*: U.S. Geol. Survey Open-File Report OF 85-0560.
- Crippen, J. R., and Bue, C. D., *Maximum floodflows in the conterminous United States*: U.S. Geol. Survey Water Supply Paper 1887, 52 p.
- Drieger, C., and Kennard, P., 1984, *Ice volumes on Cascade volcanoes*: U.S. Geol. Survey Open File Report 84-581.
- Ellen, S. D., and others, 1988, *Landslides, floods and marine effects of the storm January 3-5, 1982, San Francisco Bay region, California*: U.S. Geol. Survey Prof. Paper 1434.
- Emerson, J. W., 1971, *Channelization: A case study*: Science, v. 173, pp. 325-326.
- (*) Federal Emergency Management Agency, 1992, *An assessment report on floodplain management in the United States*: FEMA, 500 C Street, Washington, D.C. 20472.
- (*) Howard, A. D., and Remson, I. (eds.), 1978, *Geology in Environmental Planning*: McGraw-Hill, chapters 3 and 4.
- Illinois Dept. of Transportation Division of Water Resources, 1991, *Floodplain compliance: Enforcing your community's floodplain management ordinance*: IL Dept. Trans. Div. Water Resources, 201 West Center Court, Schaumburg, IL 60196-1096.
- James, L. D., Laurent, E. A., and Hill, D. W., 1971, *The floodplain as a residential choice*: Atlanta, GA, Georgia Inst. Technol. Environmental Resources Ctr.

Jansen, R. B., 1980, **Dams and public safety: a water resources technical publication**; Water and Power Resources Service, Denver Federal Center, P. O. Box 25007, Denver, CO 80225.

(*) Judkins, G., (ed.), 1976, **The Big Thompson Disaster**; Denver, CO, Lithographic Press.

Lee, L. T., Chrostowski, J., and Eguchi, R. T., 1978, **Natural hazards: riverine floods, storm surge, tsunami loss models**; Natl. Tech. Inf. Serv. n. PBB-294682/AS-PCA-10.

(*) Leopold, L. B., 1968, **Hydrology for urban land planning: A guidebook on the hydrologic effects of urban land use**; U.S. Geol. Survey Circular 554.

(*) McCullough, D. G., 1968, **The Johnstown Flood**; New York, Simon and Shuster.

Mathewson, C. C., and Keaton, J. R., 1988, **Flood hazard recognition and mitigation on alluvial fans**; ASCE Proc. of Hydraulic Engineering Symp., Colorado Springs, CO.

(*) National Park Service, Association of State Wetland Managers, and Association of State Floodplain Managers, 1991, **A casebook in managing rivers for multiple uses**; Assoc. State Floodplain Managers, Madison, WI, 53701-2051, 86 p. The organization at this address also provides many other useful publications.

National Science Foundation, 1980, **A report on flood hazard investigation**; NSF, 2101 Constitution Ave., Washington, DC. 20418.

(*) National Weather Service, 1991, **Shadyside, Ohio, flash floods June 14, 1990**; Warning and Forecast Branch, Natl. Weather Service, 1325 East West Highway, Silver Spring, MD 20910.

(*) Natural Hazards Research and Applications Information Center (NHRAIC), 1991, **Floodproof retrofitting: homeowner self-protective behavior**; Publications Clerk, NHRAIC, P. O. Box 482, University of Colorado, Boulder, CO 80309-0482.

(*) Outland, C. F., 1977, **Man-made Disaster - the Story of St. Francis Dam** (revised ed.); Glendale, CA. Arthur. H. Clarke Co.

Parker, D. J., 1991, **Flood disasters in Britain: lessons from flood hazard research**; Flood Hazards Research Ctr., Middlesex Polytechnic, Queensway, Enfield, EN3 4SF, U.K.

(*) Rahn, P. H., 1975, **Lessons learned from the June 9, 1972, flood in Rapid City, South Dakota**; Bull. Assoc. Engineering Geologists v. 12, pp. 83-97.

(*) Rahn, P. H., 1986, **Fluvial Processes**; Chapter 8 in *Engineering Geology, An Environmental Approach*, P. H. Rahn, New York, Elsevier, pp. 241-302.

(*) Rantz, S. E., 1970, **Urban sprawl and flooding in southern California**; U.S. Geol. Survey Circular 601 B.

(*) Schneider, W. J., and Goddard, J. E., 1974, **Extent and development of urban flood plains**; U.S. Geol. Survey Circular 601 J.

Smith, N., 1972, **A History of Dams**; Secaucus, NJ, Citadel Press.

Starosolsky, O., and others, 1989, **Hydrology of disasters; proceedings of the technical conference**; London, James and James.

Tennessee Valley Authority, 1991, **Conserving your valuable floodplain resources**; TVA Flood Protection Section, Evans Bldg. Room 1A, Knoxville, TN 37902.

(*) U.S. Army Corps. Of Engineers, 1991, **Flood proofing techniques, programs and references**; U.S. Army Corps. of Engineers, Natl. Flood Proofing Committee, Attn. CECW-PF, 20 Massachusetts Ave., Washington, DC 20314-1000.

Vance, M., 1990, **Flood insurance: A bibliography**; P. O. Box 229 Monticello, IL 61856, Vance Bibliographies, 13 p.

Ward, R., 1978, **Floods**; New York, NY, John Wiley.

White, G. F., and others, 1975, **Flood hazards in the United States: a research assessment**; Monograph NSF-RA-E-75-006, Institute of Behavioral Sci., Univ. Colorado, Boulder, CO 80309.

(*) Wilson, W. A., 1990, **Issues to floodproof retrofitting**; Assoc. of State Floodplain Managers, P. O. Box 2051, Madison, WI 53701.

Bibliografía sobre Inundaciones de la edición española

Ayala, F. J.; Rodríguez, J.M.; Prieto, C.; Durán, J.J.; Lamas, J.L.; y Rubio, J. (1986); **Mapa predictor de riesgos por inundaciones en núcleos urbanos de Andalucía y Extremadura**. IGME, 205 pp. Madrid.

Camacasa, A.M. y García-Abad, J.J. (1996); **La inundación de Almoguera (Guadalajara) del 25 Julio de 1987**. Sexto Congreso Nacional y Conferencia Internacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio, vol II, pp. 9 - 27.

Capel, J. (1974); **Génesis de las inundaciones de Octubre de 1973 en el Sureste de la Península Ibérica**. Cuadernos de Geología, 4, pp. 149 - 166. Granada.

Comisión Nacional de Protección Civil, Comisión Técnica de Inundaciones (1984). **Las inundaciones en España**. Informe - resumen. Inédito.

Durán, J.J.; Soria, F. J. Y López Martínez, J. (1995); **Las inundaciones del Bajo Guadalquivir en el año 1989**. En: *Geología y Arqueología prehistórica de Ardales*, pp 37 - 45. Málaga.

Durán, J.J., Martínez Goytre, J. Y Peña, J.L. (1989); **Mapas predictores de riesgo de inundación en los núcleos urbanos de Güímar y Playa de las Américas (Tenerife)**. 42 pp. ITGE, Madrid.

Elizaga, E. (1988); **Prevención de inundaciones. Los mapas de riesgos**. En: *Riesgos Geológicos*, IGME, pp. 137 - 143. Madrid.

Elizaga, E, Garay, P. y Gutiérrez, P. (1983); **El mapa de riesgos geológicos como documentación preventiva ante la dinámica fluvial de la cuenca baja del río Júcar**. 2ª Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio, pp. 7 - 1/7- 23.

Elizaga, E. y Lendínez, A. (1985); **Dinámica fluvial de la Plana de Levante (provincia de Castellón y Valencia)**. En: *Geología y prevención de daños por inundaciones*, IGME, pp. 193 - 245. Madrid.

García Ruiz, J. M.; White, S. M.; Mart, C.; Valero, B. Errea, M.P. y Gómez Villar, A. (1996); **La catástrofe del Barranco de Arás (Biescas, Pirineo Aragonés) y su contexto espacio - temporal**. Instituto Pirenaico de Ecología. 54 pp. Zaragoza.

Garzón, G. (1988); **Geología y dinámica fluvial** En: *Riesgos geológicos*, IGME, pp 123 - 129. Madrid.

Garzón, G. (1985); **Las avenidas como fenómeno geológico**. En: *Geología y Prevención de daños por inundaciones*, IGME, pp 5 - 53. Madrid.

IGME (1984); **Establecimiento de criterios geológicos para la prevención de daños por avenidas. Aplicación a las inundaciones del valle del Nervión (País Vasco) en Agosto de 1983**. IGME, 83 pp. Madrid.

IGME (1986); **Estudio geológico para la previsión de Riesgos por Inundación en el País Vasco (Álava y Vizcaya) y Condado de Treviño**. IGME, 71 pp y 6 planos. Madrid.

Linares, R.; Zarroca, M. y Bach, J. (1989); **Análisis retrospectivo de las medidas estructurales de defensa ante inundaciones del Llano de Terrasa (provincia de Barcelona)**. XII Congreso Español de Sedimentología, Simposios, pp. 217 - 226.

López Bermúdez, F. y Romero, M. A. (1992 - 1993); **Génesis y consecuencias erosivas de las lluvias de alta intensidad en la región mediterránea**. Cuadernos de Investigación Geográfica, 18-19, pp. 7 - 28.

López Bermúdez, F. y Gutiérrez Escudero, D. (1983); **Descripción y experiencias en la avenida e inundaciones de Octubre de 1982 en la Cuenca del Río Segura**. Revista de Estudios Geológicos, XLIV, pp. 87 - 1251. Madrid.

Martínez Goytre, J.; Garzón, G. y Arche, A. (1986); **Dinámica y sedimentología de los depósitos de la avenida del río Júcar en Octubre de 1982 en su tramo bajo**. IX Congreso Nacional de sedimentología, Barcelona.

Parte 3 - Riesgos derivados de los Procesos Geológicos – Inundaciones

- Martínez Goytre, J.; Garzón, G. y Arche, A. (1987): **Avenidas e Inundaciones**. MOPU, Unidades Temáticas Ambientales, 67 pp. Madrid.
- Martínez Goytre, J.; Martínez Gil, J. y Garzón, G. (1996): **La prevención de riesgos naturales. El caso de Biescas**. Tierra y Tecnología, 14 - 15, pp. 26 - 30. Madrid.
- Martínez Goytre, J. y Garzón, G. (1996): **Análisis de las avenidas históricas en el Río Júcar**. Sexto Congreso Nacional y Conferencia Internacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio, Vol III, pp. 29.
- Miró - Granada, J. (1976): **Avenidas catastróficas en el Mediterráneo Occidental**. Hidrología, 24 - 25, pp. 117 - 133. Madrid.
- Potenciano, A.; Martínez Goytre, J.; Durán, J.J. y Garzón, G. (1996): **Inundaciones en la cuenca del río Amarguillo (Toledo)**. Geogaceta, 20(5), pp. 1135 - 1137. Madrid.
- Prieto, J.J. y Lamas, J.L. (1985): **Las inundaciones en Andalucía**. En: Geología y Prevención de daños por inundaciones, IGME, pp. 335 - 412.
- Romero, E.; Durán, J.J., Fernández, J. y Ruiz, J.L. (1989): **Reconstrucción e interpretación sedimentación de la avenida de Octubre de 1973 de la Rambla de Albañil (Granada)**. XII Congreso Español de Sedimentología, Simposios, pp. 227 - 237. Bilbao.
- Soria, F. J.; Durán, J.J.; Fernández, J. y Romero, E. (1990): **Las inundaciones del otoño de 1989 en la cuenca baja del Río Guadalhorce (Málaga)**. 1ª Reunión sobre el medio ambiente en Andalucía, Comunicaciones, pp. 423 - 431. Córdoba.
- Témez, J.R. (1988): **Las inundaciones; sistemas de alarma y previsión**. En: Riesgos Geológicos, IGME, pp. 145 - 152. Madrid.
- Buffalo Creek Flood: An Act of Man:** 1975, 40 min. Appalshop Films, 306 Madison St., Box 743 A, Whitesburg, KY 41858, (213) 666-6500.
- Buffalo Creek Revisited:** 1984, 31 min. Appalshop Films, 306 Madison St., Box 743 A, Whitesburg, KY 41858, (213) 666-6500.
- Community Rating System:** 1992, 13 min. National Flood Insurance Program Community Rating System (NFIP-CRS) Publications, P. O. Box 501016, Indianapolis, IN 42650-1016, (317) 845-1750.
- Flood Control:** 1992, 20 min. Films for the Humanities and Social Sciences, P.O. Box 2053, Princeton, NJ 08543-2053, (800) 257-5126.
- (*) **Floods in South:** 1990, 60 min., ABC Nightlines, MPI Home Video, 15825 Rob Roy Drive, Oak Forest, IL 60452, (800) 323-0442.
- Flood Forecasting:** 1987, 20 min., Britannica Films, 310 South Michigan Ave., Chicago, IL 60604, (800) 621-3900.
- (*) **Managing the Floods of '86 - California's Ordeal:** 1986, 9 min., U.S. Dept. Interior Bureau of Reclamation, P.O. Box 25007, Mail D-1500, Denver Federal Center, Denver, CO 80225-007, (303) 236-6972.
- (*) **River Town:** 1984, 28 min., Bullfrog Films, Inc., Oley, PA 19547, (800) 543-3764.
- (*) **Teton - Decisions and Disaster:** 1976, 60 min., Copyrighted and produced by KATV-TV, Boise, ID and KUID-TV Moscow, Idaho. U.S. Dept. Interior Bureau of Reclamation, P.O. Box 25007, Mail D-1500, Denver Federal Center, Denver, CO 80225-0007, (303) 236-6972.
- The Awesome Power:** 1989, 15 min., National Oceanic and Atmospheric Administration. Focuses on flash floods. Available on loan from U.S. Geol. Survey Library Special Collections, MS 955, 345 Middlefield Road, Menlo Park, CA 94025, (415) 329-5009.
- (*) **The Johnstown Flood:** 1989, 30 min., Johnstown Area Heritage Association, 319 Washington St., Johnstown, PA 15901, (814) 539-1889.
- (*) **The Living Desert:** 1954, 45 min., Walt Disney.
- Walls of Water:** 1978, 29 min., Pennsylvania State University Audiovisual Services, Special Services Building, University Park, PA 16802, (800) 826-0132.
- (*) **Water:** 1989, 59 min., Bullfrog Films, Inc., Oley, PA 19547, (800) 543-3764.

Videos sobre Inundaciones de la edición americana

- (*) **Best Build II: Construction in a Riverine Floodplain:** 1988, 20 min. Natl. Flood Ins. Program, Best Build Series, P. O. Box 710, Lanham, MD 20706, (800) 638-6620-7.
- (*) **Best Build III: Protecting a Flood-Prone Home:** 1990, 30 min. Natl. Flood Ins. Program, Best Build Series, P. O. Box 710, Lanham, MD 20706, (800) 638-6620-7.

RIESGOS COSTEROS: ONDAS DE TORMENTA, MAREMOTOS Y EROSION COSTERA

Las pérdidas por los riesgos costeros son sumamente graves y se incrementarán aún más en el futuro, cuando las franjas litorales lleguen a estar más densamente pobladas. Las pérdidas humanas han ido disminuyendo en gran número en los países desarrollados como resultado de los sistemas de predicción del tiempo por satélite y los buenos sistemas de evacuación. Las pérdidas económicas pueden ser disminuidas construyendo solamente sobre materiales geológicos favorables y ordenando el territorio de acuerdo con los procesos naturales del litoral.

Génesis de los Riesgos Costeros

Las áreas costeras a lo largo de los mares y océanos, son algunas de las zonas más atractivas y deseadas para la residencia humana y el turismo. Hoy en día, más de la mitad de la población mundial vive en la franja litoral, donde existen áreas susceptibles de ser protegidas por su valor ecológico como los humedales, tan importantes para la estabilización de la costa. En un proceso «de día a día», la erosión de las olas socava gradualmente los escarpes, y en el tiempo causan el retroceso y hundimiento de estos bordes litorales. Las olas más comunes son el resultado del viento soplando sobre la superficie del agua. Estas olas a su vez, son las

generadoras primarias de las corrientes litorales. Las fluctuaciones en los niveles del agua y las tormentas ocasionales producen procesos de erosión acelerada, que han representado un elevado coste para los propietarios de casas, tierras o zonas urbanizadas.

Hoy están en franca crisis el 80 % de las playas españolas, con una pérdida anual de unos 50.000 millones de pesetas. En EEUU un 25% de la costa sufre una tremenda crisis y produjeron en 1990 unas pérdidas de unos 900 millones de dolares.

Ondas de tormenta es el término utilizado para describir la anormal y repentina sobre-elevación en el



Efectos del temporal de noviembre de 1989 en la costa oriental de Málaga. La componente de onda de tormenta que acompañó a los fuertes vientos e intensas lluvias en esas fechas, originó una sobre-elevación del nivel del mar que produjo el arrasamiento de gran parte de la costa con numerosos daños e incrementó los efectos de las inundaciones en las zonas bajas al impedir desaguar los ríos. (Foto de Máximo Hernández Ruiz).

LAS MAYORES ONDAS DE TORMENTA DEL MUNDO

Año	Localización	Muertos
1099	Holanda e Inglaterra	100.000
1737	Bahía de Bengal	300.000
1881	Sudeste de China	300.000
1906	Hong Kong	10.000
1932	Cuba	2.500
1942	Bengal (India)	40.000
1953	Holanda	1.800
1963	Bangladesh	22.000
1965	Bangladesh	57.000 en 3 tormentas
1970	Bandaglesh	300.000
1971	Estado de Orissa (India)	9.600
1977	India	14.000
1985	Bandaglesh	10.000
1991	Bandaglesh	139.000

(Datos antiguos según Tufty (1969); los datos posteriores a 1900 según el *World Almanac* (1993) y la Oficina de Asistencia en Catástrofes en el Extranjero, *Disaster History*, 1991).

nivel medio del mar, que dura desde horas hasta casi una semana, acompañada por fuertes vientos y bajas presiones atmosféricas que motivan una extensa acumulación de masa de agua sobre la costa y su desbordamiento sobre las tierras bajas del litoral. Las pérdidas humanas se producen por personas ahogadas y por colapsos de estructuras. Los daños a la propiedad por uno sólo de estos sucesos han alcanzado en España pérdidas de miles de millones de pesetas, como en el temporal que, con una importante componente de onda de tormenta, arrasó a finales de noviembre de 1989 gran parte de la turística Costa del Sol.

En las catástrofes naturales ocurridas en EEUU, las ondas de tormenta explican tanto el suceso con mayores pérdidas humanas (Galveston, Texas en 1900 con 6.000 muertos), como los dos más costosos desastres naturales (Huracán Hugo en 1989, con más de 10.000 millones de dólares en pérdidas y el Huracán Andrew en 1992, con más de 30.000 millones de dólares). Ejemplos próximos a nuestro país de este fenómeno es la inundación en noviembre de 1966 de Venecia, Patrimonio de la Humanidad, con más de 2 m de sobreelevación del mar o el suceso de febrero de 1953 en Southern, (Mar del Norte), que con tan sólo 3 metros de sobreelevación ocasionó 6.000 muertos.

Los países subdesarrollados, con un alta población

en las zonas bajas pantanosas de los valles costeros (desembocaduras fluviales), son propensos a pérdidas terribles por inundaciones costeras provocadas por las ondas de tormenta. La más grave onda de tormenta en la reciente historia ocurrió en Bangladesh en 1970, donde un ciclón tropical (tifón), con vientos de unos 180 kilómetros por hora combinado con mareas vivas, ocasionaron una sobreelevación del nivel del mar de 6 metros dentro de la Bahía de Bengala que inundó las tierras bajas, y causó la muerte a más de 300.000 personas.

Los maremotos o tsunamis son producidos por agentes puramente geológicos, tales como terremotos, avalanchas o erupciones volcánicas. "Tsunami", término japonés que significa "ola de puerto", es el nombre apropiado para designar las enormes olas (periodo 0,1-1 hora) generadas por agentes geológicos. Estos mismos agentes a menudo también provocan grandes olas que se producen en lagos de tierra adentro. El término común (onda mareal) es inapropiado. Las mareas son la elevación y la caída regular, rítmica y predecible del nivel del mar local, y que son el resultado de la fuerza de atracción de la gravedad, que cambia de acuerdo con las posiciones relativas de la tierra, la luna y el sol. Mientras que los mayores rangos de mareas vivas en algunas áreas podría exceder los 12 metros, (tales como en la Bahía de Fundy), las mareas no producen ondas mareales o esporádicamente otras grandes olas. No obstante, el momento de marea alta que coincide con una onda de tormenta o un maremoto, pueden accentuar enormemente su fuerza destructiva. Los maremotos o tsunamis son típicamente más grandes que las ondas de tormentas. Los maremotos no son comunes,



El terremoto con epicentro en el mar frente a las costas de Lisboa de 1755, desencadenó un maremoto con olas entre 20 y 27 metros que produjo sólo en Lisboa 4.000 muertos y en Ayamonte (Huelva) más de 1.000 muertos. Sin embargo el cierre de fuertes murallas en algunas poblaciones como la de Tarifa en la foto, permitió salvar un gran número de vidas. (Foto de Máximo Hernández Ruiz)

LOS MAYORES TSUNAMIS DEL MUNDO

Año	Origen	Zonas dañadas	Ahogados (Comentarios)
1628 a.C.	Erupción del Thera (Santorini)	Creta, Grecia, Egipto	(La civilización minoica destruida)
1640	Volcán Komagatake	Hokkaido, Japón	1.470
1707	Terremoto del Pacífico Oeste	Bahía de Osaka, Japón	4.900
1755	Terremoto frente a la costa de Lisboa	Oeste de Europa y Norte de África	20.000 a 30.000
1792	Avalancha en el mar del volcán Unzen	Kyushu, Japón	10.000 (el deslizamiento mató a otros 5.000)
1812	Terremoto frente a la costa de Santa Bárbara (California)	Santa Bárbara (California)	(Se registraron olas de 9 metros de altura)
1815	Erupción del Tambora	Indonesia	10.000
1868	Terremoto de Perú/Chile	Hilo, Hawaii	(Olas de 9 metros de altura arrastraron barcos 3 km tierra)
1883	Erupción del Krakatoa	Indonesia	36.000 (olas de más de 30 m de altura)
1896	Terremoto de Honshu	Sanriku, Japón	27.000
1905	Deslizamiento en un fiordo en Noruega	Lago Loen, Noruega	61
1918	Deslizamiento en Filipinas	Filipinas	100
1933	Terremoto de Honshu	Sanriku, Japón	3.000 (olas de 22 m de altura)
1936	Deslizamiento en un fiordo en Noruega	Lago Loen, Noruega	73
1946	Terremoto en las Islas Aleutianas	Wainaku, Hawaii	173 (olas de 16 m de altura)
1960	Terremoto en Chile	Chile, Hawaii, Japón	1.900
1964	Terremoto en Alaska	Crescent City (California); área de Valdez (Arkansas)	122
1971	Avalancha en un lago de los Andes en Perú	Chungar, Perú	600
1976	Terremoto en el Pacífico Oeste	Filipinas	3.000
1979	Volcán Werung y avalancha en el mar	Isla Lomblem, Indonesia	539
1992	Terremoto en el sudoeste de Nicaragua	Masachapa y 330 km de costa e islas cercanas	116 (olas de 9 m de altura)

(Datos de la Oficina de Asistencia a Catástrofes en el Extranjero, *Disasters History*, 1991; *World Almanac*, 1993; D. R. Coates *Geology and Society*, 1985; y Naciones Unidas, UNDRO NEWS, 1992. A principios de 1993, todavía había 63 personas desaparecidas además de las 116 que murieron en el tsunami de 1992 de Nicaragua).

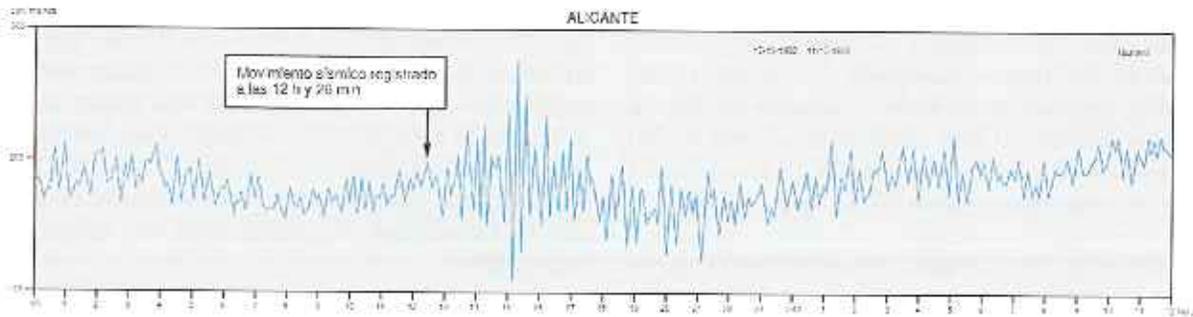
pero cuando se desencadenan, la altura del oleaje esperable podría alcanzar más de 30 metros de altura.

En alta mar las longitudes de onda oscilan entre 200 y 700 Km., y en la plataforma continental entre 50 y 150 Km, dando lugar a amplitudes de menos de 1 m, que resultan difícilmente detectables. Los tsunamis se manifiestan al aproximarse a la costa, donde reducen de manera importante las longitudes de onda, y, por tanto, la amplitud crece hasta alcanzar alturas de olas entre 15 y 30 m, en casos extremos.

Afortunadamente, los tsunamis son breves y sus efectos son restringidos a las inmediaciones de la línea de

costa. Los tsunamis tienen sus orígenes en eventos geológicos que se producen en cuestión de minutos, y proporcionan menos advertencias que una tormenta de gota fría, que puede verse desarrollándose y desplazándose. Ahora las imágenes de satélite permiten disponer de varios días de anticipación para prepararnos a los principales peligros relacionados con las tormentas gigantes. Por el contrario, sólo transcurren unas pocas horas desde el momento en que se desencadena el corrimiento de tierras, el terremoto o la erupción volcánica, y el momento en que el maremoto resultante golpea la costa.

En España, la costa atlántica gaditano-onubense y canaria es la que presenta una mayor peligrosidad frente



Registro de un microsismo mediterráneo en la estación mareográfica del Instituto Geográfico Nacional en Alicante, consecuencia del terremoto de Argel de octubre de 1980. (Reproducido del Atlas Nacional de España, IGN 1991).

a los maremotos, por efecto de potenciales terremotos en la falla submarina Azores-Gibraltar. Sin embargo, este riesgo no es el más importante en las costas atlánticas gallegas y cantábrica, anualmente batida en invierno por grandes ondas de tormenta, que provocan numerosos daños en las infraestructuras de los municipios costeros.

En las costas mediterráneas españolas los maremotos han tenido una escasa transcendencia, como el producido por el reciente terremoto de Argel del 6 de octubre de 1980 con un registro en el mareógrafo de

Alicante de tan sólo 2 metros de amplitud. También el Mediterráneo presenta una dinámica del clima marítimo de baja energía, con calmas del oleaje la mayor parte del año, escasas ondas de tormentas y algunos decímetros en la amplitud de las mareas; sin embargo, los cambios anuales en el nivel medio del mar son de mayor magnitud y rápidos que en los demás mares y océanos del mundo. Estos cambios tienen una estrecha relación con las variaciones climáticas naturales y las forzadas por la contaminación del hombre (efecto invernadero).

TSUNAMIS HISTÓRICOS REGISTRADOS EN LA PENINSULA IBERICA (Catalán, M.)

N.º Catálogo	Fecha	Zona	Acción del tsunami
8	216 a. J. C.	Cádiz	El mar anegó muchos lugares.
10	210 a. J. C.	Cádiz	El mar pasó hasta adelante de donde solía.
11	209 a. J. C.	Cádiz	Terremotos acompañados de maremotos.
13	80 a. J. C.	Portugal y Galicia	El mar inundó muchas tierras y en la resaca dejó en seco otras muchas.
18	382 d. J. C.	Portugal	Padecieron mucho las costas; aparecieron y desaparecieron islas frente al Cabo de San Vicente.
146	26.01.1531	Lisboa	El Tajo descubrió su lecho corriendo sus aguas por sus márgenes. En el mar se perdieron navíos.
235	1731	Cádiz	Se retiró el mar una legua, dejando en Santi-Petri al descubierto la antigua Gades y el Templo de Hércules.
266	01.11.1755	Lisboa-Cádiz	Se retiró varios kilómetros. Es el más violento del Atlántico.
274	16.11.1755	Lisboa y Galicia	Flujo y reflujo del mar en La Coruña.
289	21.12.1755	Lisboa	En la costa avanzó el mar una legua.
303	29.03.1756	Lisboa	El Tajo subió de nivel considerablemente.
329	31.03.1756	Lisboa	Finisterre, el mar se alborotó y varió mucho de nivel.
617	23.12.1848	Campo (Portugal)	Hubo doce olas enormes.

De acuerdo con la hipótesis de riesgo máximo establecidas en el informe «Impacto económico y social de los riesgos geológicos en España» (1988, IGME), las pérdidas totales por tsunamis ascenderán en el periodo de 30 años (1986-2016) a cerca de 400 mil millones de pesetas (en pesetas de 1986) aunque las mismas serían nulas en hipótesis de riesgo medio.

De entre los maremotos registrados en el cuadro de la página anterior, cabe destacar el último maremoto histórico que asoló la bahía de Cádiz. Este hecho ocurrió en 1755, con cinco olas de 22 a 27 metros de altura, causando graves daños en toda la costa, así como más de 1.000 muertos. En otras regiones del litoral atlántico español, como Galicia, Huelva o islas Canarias, nunca se han registrado maremotos tan intensos.

Casos de repetirse sucesos de esta índole en el Golfo de Cádiz, las consecuencias para las poblaciones costeras serían catastróficas, ya que debido a la proximidad del foco generador del tsunami a las costas transcurriría aproximadamente una hora entre la llegada de las ondas sísmicas y la llegada del tsunami a la costa, lo que impediría la toma de medidas urgentes.

Para establecer la peligrosidad por tsunamis se dispone de la información facilitada por el Observatorio de Marina de San Fernando (Cádiz) y los trabajos de *M. Catalán et al.* La hipótesis pésima sería la que supusiese que los máximos sucesos históricos se repetirían;

sin embargo, su probabilidad sería muy baja. Al estar los máximos tsunamis ocurridos relacionados con el terremoto de Lisboa (1755) se puede considerar que la probabilidad de un suceso de este tipo podría estar comprendida entre 1/1.000 a 1/10.000. Para una hipótesis media equivalente a una probabilidad de 1/500 los tsunamis más probables y frecuentes tendrían baja a muy baja intensidad y los daños serían muy escasos o inapreciables.

La Importancia del Sustrato Geológico en la Erosión Costera

Una de las acciones más inteligentes, si se pretende adquirir una propiedad junto a un lago o la costa, es averiguar la naturaleza de los materiales geológicos situados bajo nuestra propiedad. La estabilidad de las líneas de costa depende de la resistencia inherente de los materiales geológicos, su grado de exposición al oleaje y su cubierta vegetal. Las orillas naturales están compuestas por materiales en un rango que va desde arcillas blandas hasta duros sustratos rocosos. Incluso una tormenta normal puede causar el retroceso de la línea de la orilla en sedimentos blandos no consolidados. En España se ha llegado en algunos casos a términos irrecuperables y catastróficos, como el caso del Delta del Ebro por la interrupción de los sedimentos que llegaban al mar y en EEUU algunas orillas retroceden más de 20 metros por año. Allí el número de hogares y de estructuras colgadas sobre el agua, mues-



Es evidente la desesperación en la protección de este hotel cercano a Fort Lauderdale, Florida. El edificio está cimentado sobre arenas sueltas por lo que ni los sacos de arena ni el rompeolas adosado lo salvará, si se produce una tormenta importante. Este es un ejemplo del desconocimiento de la naturaleza de los procesos litorales y de los materiales geológicos de cimentación. Estructuras pesadas como espigones, destruyeron el uso recreativo de la playa local, que inicialmente incentivó la ubicación de un hotel en la misma. (Foto de Paul Moser).

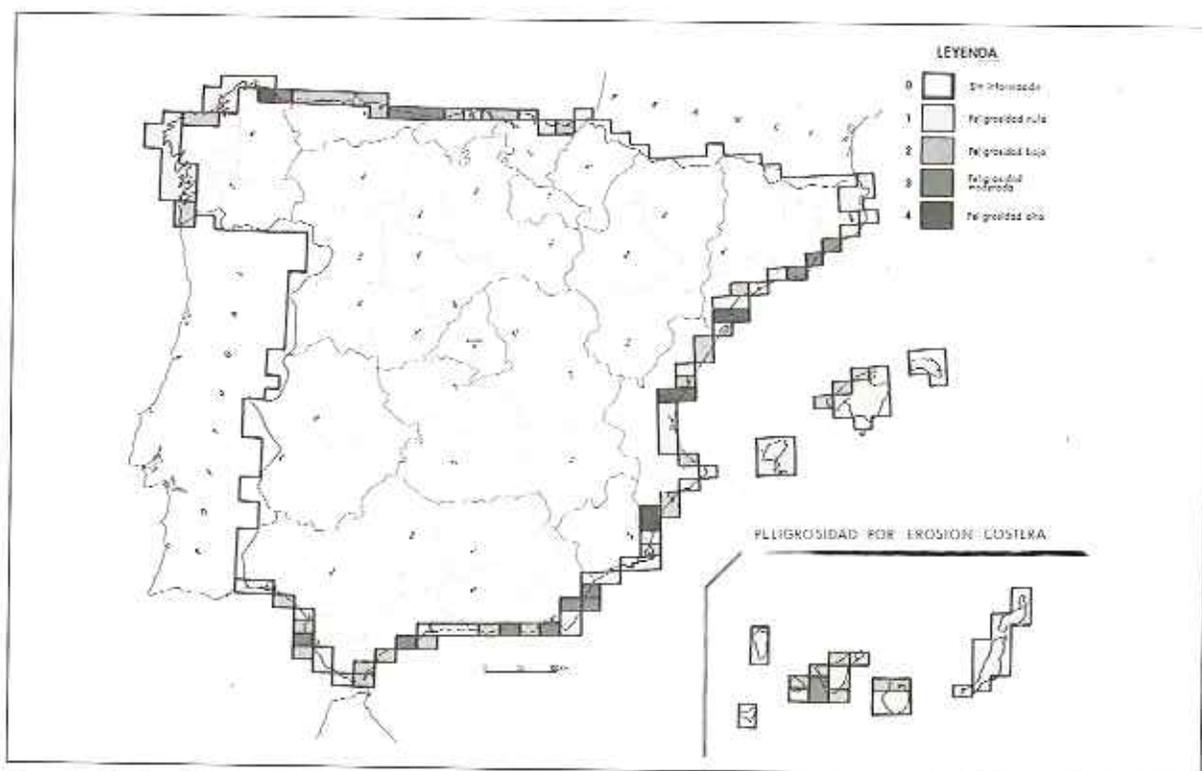
Los depósitos blandos no consolidados son especialmente susceptibles a la erosión por las olas, incluso cuando están recubiertos por hormigón o asfalto. Una tormenta invernal moderada destruyó estructuras, incluyendo un área de aparcamiento, causando en 1988 la recesión de la línea de costa de la playa recreativa de Isla Verde en Puerto Rico. (Foto por David. M. Bush Universidad de Duke).



Edificios construidos muy próximos a la costa sobre dunas, acaban siendo destruidos por los temporales (Ayamonte, Huelva). (Foto de Máximo Hernández Ruiz).

La compartimentación de la costa con espigones y diques, unido a los escasos sedimentos que llegan al litoral consecuencia de su interrupción en el transporte por el efecto barrera de las 900 presas que se han construido en los últimos 40 años, somete a las costas españolas a una importante erosión (Maresme, Barcelona). (Foto de Máximo Hernández Ruiz).





Mapa de Peligrosidad por Erosión Costera (IGME, 1987), de acuerdo con los «Estudios de la Dinámica Litoral en las Costas Españolas», realizados por el Laboratorio de Puertos de la Dirección General de Puertos y Costas, CEDEX, MOPU.

tran como constructores, urbanistas, ingenieros y los propios propietarios subestiman la tasa de erosión de la orilla. La apariencia atractiva de lugares situados sobre materiales no consolidados puede inspirar una confianza sin garantía para la construcción de edificios. En una verdadera tormenta catastrófica, este tipo de materiales, incluso en aquellos lugares donde estén adecuadamente cubiertos por un soporte vegetal, pueden ser denudados y la orilla puede retroceder una distancia significativa en sólo unas pocas horas.

Las Dunas de arena litorales son los depósitos no consolidados menos duraderos. Están compuestas por materiales fácilmente desplazables por el viento y por el agua, y son áreas particularmente inhospitas para el crecimiento de las plantas. Estas dunas son normalmente estabilizadas sólo cuando llega a establecerse, después de largos periodos de tiempo, una comunidad de vegetación muy delicada. La vegetación puede ser destruida incluso por el tráfico peatonal y las dunas estériles son especialmente susceptibles a la erosión del viento y de las olas. Si se destruyen las barreras naturales costeras tales como los arrecifes o las barras de arena, se incrementa la exposición de estas delicadas dunas a las olas. A menos que las barreras sean suficientemente fuertes para resistir a las corrientes y

olas, o no sean mantenidas o artificialmente restauradas, las carreteras y las estructuras (casas, hoteles...) estarán inmediatamente en peligro.

Otros depósitos sedimentarios no consolidados que se sitúan a lo largo de las líneas de costa son las antiguas morrenas glaciares, terrazas bajas de origen marino o lacustre formadas por barro y arena, y delgados suelos residuales. En los sedimentos no consolidados, una vegetación apropiada actúa como una importante barrera a las olas y corrientes, y principalmente reduce la tasa de erosión. En las costas marinas, sólo unas pocas plantas toleran la sal, tales como los árboles de los manglares en Florida y las Bahamas, o las praderas de *Spartina* en las llanuras mareales de las Rías Gallegas o Inglaterra. En algunos lugares, los densos crecimientos de los manglares son tan eficaces en atrapar los sedimentos litorales, que producen una ganancia neta de tierra en el área. En las líneas de costa de agua dulce, puede crecer a lo largo de toda la orilla una vegetación muy diversa y reducir la erosión durante las lluvias y los vientos. Cuando la vegetación natural se ha destruido o se ha reemplazado por una flora menos apropiada, los efectos de la erosión costera serán mucho mayores.



Area destruida en Roomain Retreat, en Bulls Bay, costa sur de Carolina del Sur. Aquí la onda de tormenta durante el huracán Hugo fue de casi 6 metros. Cuarenta y tres casas estaban edificadas antes de la tormenta. (Foto del Servicio Nacional de Meteorología NOAA, Centro Nacional de Huracanes).

La mayoría de los problemas de erosión costera se derivan de actividades humanas que alteran la dinámica litoral. Un ejemplo podría ser la grave erosión que presentan el tramo de costa entre Burriana y Sagunto, debido a la construcción del Puerto de Burriana. En cambio, en las costas acantiladas el retroceso del frente costero es menor, dadas las características de los materiales, además de presentar menor incidencia en las actividades humanas. En este sentido cabe destacar como ejemplo el acusado retroceso que sufre el cantil en la zona del Golfo de la Marma (Lugo), debido a la violencia del oleaje. El proceso de regeneración de costas es muy costoso. Como cifra orientativa, la recuperación de un kilómetro de costa arenosa puede costar unos quinientos millones de pesetas. En el informe «Impacto Económico y Social de los Riesgos Geológicos en España», del IGME (1978), se apuntó que de acuerdo con una hipótesis de riesgo medio, las pérdidas totales por erosión superarán los trescientos mil millones de pesetas (en pesetas de 1986 en el periodo de 1986 al 2016).

El término sustrato rocoso incluye diversos materiales geológicos perdurables, que van desde rocas débiles tales como las pizarras y las calizas blandas, hasta los acantilados rocosos que son los sitios más estables que definen la línea de costa. Muchos de los

acantilados de este tipo resisten a la erosión continuada de las olas e incluso a la fuerte erosión por el oleaje de temporal. Un propietario que seleccione sabiamente un lugar rocoso a una altura razonable, no es muy probable que vaya a sentir cómo, durante una tormenta normal, el mar o el lago entran «por la puerta trasera» o cómo desaparecen 30 metros de orilla frente a su propiedad. Aquellos que ignoran la geología local y construyen o compran casas, apartamentos u otras estructuras en promontorios de arena, morrenas glaciares u otros materiales no consolidados, sólo pueden esperar que les suceda tal experiencia. Ninguna estructura de ingeniería es más estable que los materiales geológicos sobre los que descansa.

Riesgos Costeros y el Concepto del Tiempo Geológico

El litoral es probablemente el medio geológico más dinámico. La presencia constante del viento y la energía del agua sobre vastas extensiones de tierra, cielo y mar, es la principal atracción estética de la costa. Esta energía parece estar siempre trabajando, produciendo cambios, tanto en el constante movimiento de la arena por las corrientes litorales, como en el potente cataclismo de un tsunami.

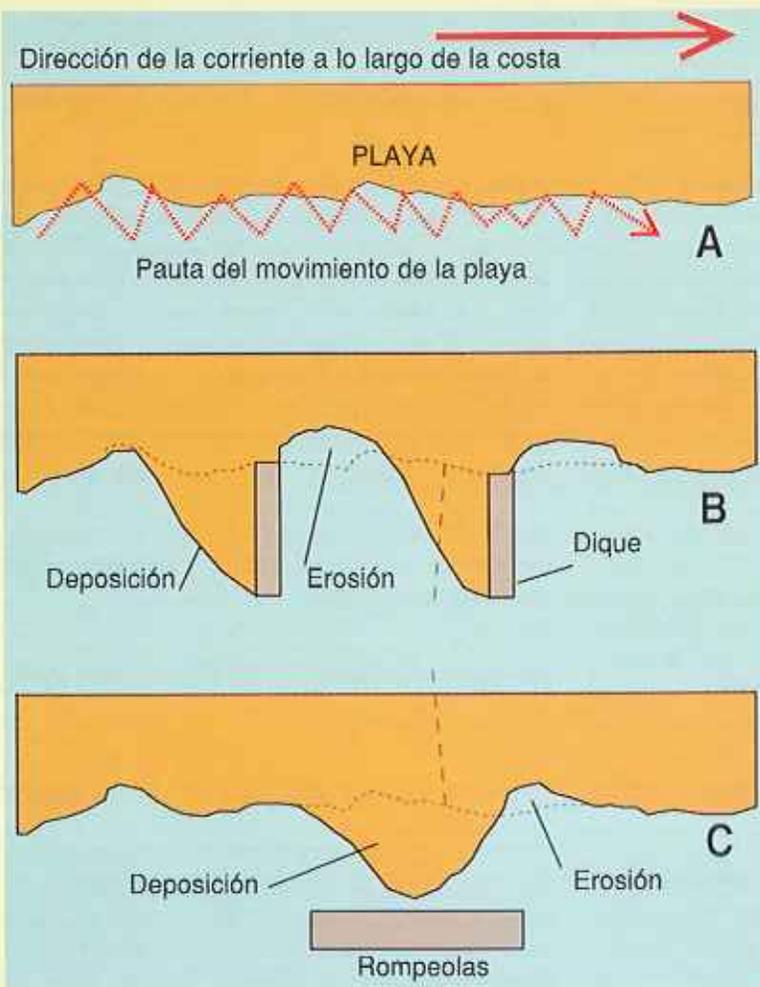
Es fácil ver los cambios a corto plazo que ocurren en cuestión de minutos, como cuando la arena es transportada en zigzag en la playa por el ritmo de las olas. La subida y bajada de las mareas en respuesta a las fuerzas gravitacionales del sol y la luna, es algo evidente. Los cambios regulares diarios de las marcas, son quizás el agente más repetitivo y predecible que afecta al medio geológico.

Las estaciones climáticas producen grandes cambios a lo largo de muchas costas. Las playas arenosas, que invitan a un apacible y cálido verano, en invierno, pueden ser erosionadas hasta el afloramiento del sustrato rocoso por las más fuertes tormentas que impactan en la costa y que dragan sus arenas hacia las profundidades del fondo marino. Las lluvias primaverales y la nieve fundida producen flujos de agua en los

acantilados marinos e incluso arrastran partes rocosas de los mismos. En esta estación, los ríos bajan cargados de lodo y arena, la materia prima que la naturaleza usa para crear las playas, las barras arenosas y las flechas costeras. Cuando vuelve el verano, la arena es de nuevo esparcida en las playas y permanece allí hasta que los chubascos del otoño empiezan a llevársela de nuevo. Estos procesos estacionales son regulares y previsible.

Las tormentas y los huracanes, como las inundaciones, pueden ser previstas con anticipación, pero, sin embargo su velocidad de acción no puede preverse. Los mismos eventos, a largo plazo, que producen las inundaciones, también producen los cambios en la costa y algunos de estos cambios son destructivos para los residentes. Describir el retroceso de la línea de

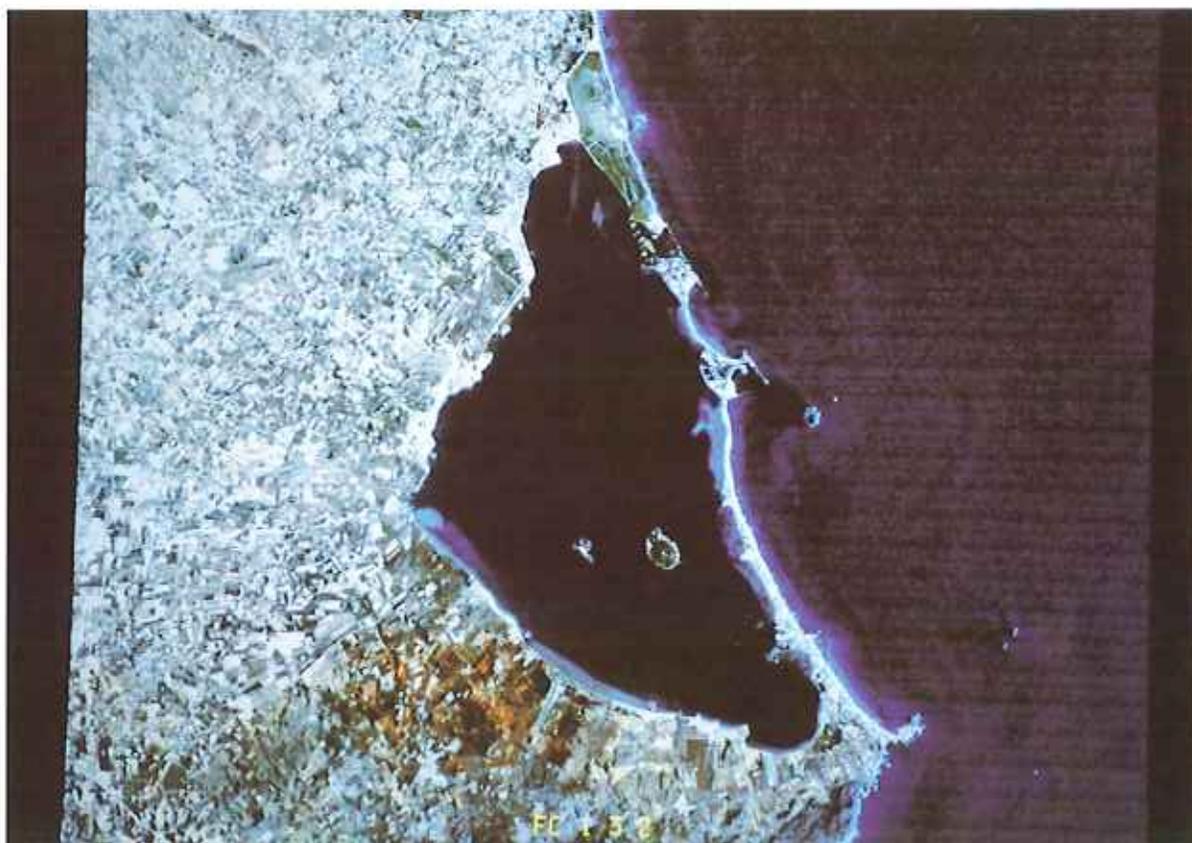
La Playa Dinámica



A. Las playas están en movimiento y la arena no descansa simplemente en la playa. Una playa es como un río de arena y la arena fluye en zigzag a lo largo de la costa en respuesta a corrientes costeras movidas por las olas.

B. Las estructuras de protección afectan a la playa mucho más allá de la posición de la estructura misma. Un dique producirá una captura de arena y añadirá terreno frente al mar a determinadas propiedades, pero siempre será a expensas de eliminar terreno corriente abajo por erosión. La línea de puntos muestra la configuración original de la línea de costa previa a la instalación del dique.

C. Aunque el rompeolas no toca físicamente la playa, reduce el oleaje y por lo tanto las corrientes a lo largo de la costa entre la pared y la playa. Esto produce acumulación de arena en la zona tranquila pero también erosión de la playa corriente abajo. Cualquier manipulación de una playa natural tiene consecuencias adversas además de determinados beneficios.



El Mar Menor es la zona húmeda costera más grande de España con una extensión de 130 Km² y tan sólo una profundidad máxima de 7 metros. Se separa del Mar Mediterráneo por una restinga arenosa de 21 km de longitud (La Manga) que estaba caracterizada históricamente y hasta mediados del siglo XX, por sus extensas playas, zonas palustres y campos dunares. Actualmente la intensa ocupación hotelera y residencial en esta estrechísima franja que oscila entre los 900 m y los 50 m, ha destruido la reserva de material arenoso que garantizaba su estabilidad. De aumentar la comunicación entre ambos mares por rotura de La Manga, provocaría una subida del nivel medio en la parte interior del Mar Menor que inundaría las zonas más bajas de la Ribera y aumentaría la erosión, (Tratamiento de imagen TM: M. Hernández Ruiz y A. Ríaza García).

costa en términos de una cierta longitud por año, podría llevarnos a conclusiones erróneas dentro de un proceso gradual y uniforme. El retroceso de la orilla no es nada gradual y uniforme. Podría ocurrir que no se produjera ningún retroceso durante más de una década, y entonces, de repente, en una tormenta violenta se produzca un retroceso de 30 metros en unas pocas horas.

En el tiempo geológico, tenemos que considerar otro factor: el nivel medio del mar no es constante. Las grandes transgresiones y regresiones marinas, con varios centenares de metros de amplitud, que suceden a lo largo de miles-millones de años y son reconstruidas por los geólogos al estudiar las rocas, son producidas por el efecto de la redistribución de las placas corticales que abren y cierran los océanos, por los movimientos verticales e inclinaciones en los continentes por reajustes isostáticos, por las anomalías térmicas en la corteza terrestre, así como por los cambios a nivel

planetario o variaciones globales del agua existente en lagos, mares y océanos, como las provocadas en los periodos glaciares e interglaciares.

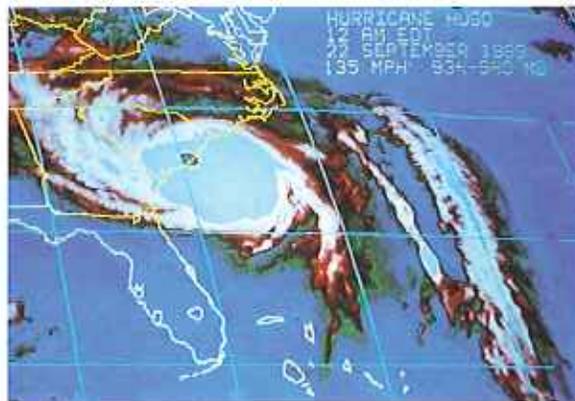
En España, existe en las montañas costeras de la Cordillera Cantábrica una antigua plataforma de abrasión marina situada a una altitud de 100-110 m, llamada La Rasa por lo llano de su superficie, que es considerada de edad Pliocuaternaria, coincidente con la aparición del hombre sobre la Tierra. El mayor número de terrazas marinas, nueve, situadas escalonadamente entre los 90 m. de altitud y el nivel del mar actual se encuentran en la costa mediterránea (Almería, Campo de Dalías). Debido a la abundancia de fósiles, estas terrazas constituyen el mejor registro de estos cambios en los últimos 200.000 años. La altitud de estas terrazas marinas son la consecuencia tanto, de los movimientos de ascenso de las montañas a lo largo del tiempo como del nivel alcanzado por el mar.

ESCALA DE HURACANES SAFFIR-SIMPSON

Escala	Condiciones	Efectos
1	Vientos de 120-150 km/h; ondas de tormenta 1,5 m por encima de lo normal	Daños a caravanas no ancladas y árboles; inundaciones en algunas carreteras costeras
2	Vientos de 160-180 km/h; ondas de tormenta 1,8-2,5 m por encima de lo normal	Daños en los tejados y ventanas en las viviendas; daños muy graves al arbolado, caravanas y pantalanes. Se producen inundaciones entre 2 y 4 horas antes de llegada del centro de la tormenta
3	Vientos de 185-210 km/h; ondas de tormenta 2,7-3,6 m por encima de lo normal	Caravanas destruidas, daños estructurales a pequeñas viviendas. Las inundaciones cerca de las costas producen daños a estructuras mayores. Los terrenos que estén a menos de 2 m por encima del nivel del mar podrían quedar inundados en varios km hacia el interior
4	Vientos de 220-258 km/h; ondas de tormenta 3,9-5,4 m por encima de lo normal	Grandes erosiones en las playas, colapso de los dispositivos de protección de costas. Daños importantes a todas las estructuras cercanas a la costa; los terrenos que estén a menos de 3 m por encima del nivel del mar podrían quedar inundados en unos 10 km hacia el interior. Evacuaciones masivas garantizadas
5	Vientos de más de 258 km/h; ondas de tormenta 5,4 m por encima de lo normal	Hundimiento total de los techos de residencias y edificios públicos. Daños muy importantes por inundaciones de las plantas bajas de los edificios situados en terrenos a menos de 4,5 m por encima del nivel mar. Destrucción total en una franja a 450 m de la costa. Evacuaciones masivas garantizadas de las zonas bajas de hasta 16 km de la costa

En la escala Saffir-Simpson los huracanes Hugo (1989) y Andrew (1992) se consideraron de escala 4. Tabla condensada de «Ciclones Tropicales del Océano Atlántico Norte, 1871-1987», p. 25. NOAA, 1978.

DERECHA- Imagen de satélite en infrarrojo del huracán Hugo en forma de espiral, con su ojo cerca de Charleston, Carolina del sur.



ABAJO A LA IZQUIERDA- La playa Folly al sur de Charleston, antes del huracán Hugo. Los edificios grandes son el recientemente remodelado restaurante Casa Atlantic y tiendas para turistas.

ABAJO A LA DERECHA- El mismo lugar después del huracán Hugo. Esta área urbanística tuvo problemas crónicos con la erosión de la playa. Era un lugar de catástrofe certera, cuando la infrecuente, pero inevitable tormenta fuerte pasase por allí. (Foto del Servicio Nacional de Meteorología, NOAA, Centro Nacional de Huracanes).



Durante el período más frío de la última glaciación, hace unos 18.000-20.000 años (Würm), los espesores de hielo acumulados en algunas regiones de Canadá superaban los 3.000 m, siendo éstos y en el norte de Europa de 1.800 m. El atemperamiento climático que sigue hasta nuestros días y la consiguiente descarga en los océanos de estos grandes volúmenes de agua deshelada, ha provocado, por un lado, la subida del nivel del mar en unos 50 metros y, por otro, un efecto rebote en la corteza continental por la descarga de los hielos, que en Escandinavia aún hoy día se refleja en el ascenso del terreno con un rango estimado de un metro por siglo.

Si hipotéticamente se fundieran los hielos acumulados durante miles de años en los polos, se produciría un desastre ecológico de primera magnitud, que pondría en grave riesgo la vida sobre el planeta y elevaría el nivel del mar unos 90 m, con un retroceso de la línea de costa, a nivel mundial, de 110 Km. Eventos catastróficos, como la caída de grandes meteoritos en el mar o la influencia de las erupciones volcánicas en el clima, son factores naturales muy a tener en cuenta. No obstante, hoy en día, la mayor amenaza a nuestra existencia en este sentido la desarrollamos nosotros mismos, con los riesgos tecnológicos nucleares.

La comunidad científica investiga actualmente las causas de un ascenso del nivel medio marino entre 10-15 cm desde finales del siglo XIX a la actualidad, subida que es proporcionalmente muy acelerada respecto a la tendencia estimada para los últimos 2.000 años de 30-50 cm. Su posible relación con el calentamiento global de la temperatura del aire (0,6-0,8 °C) desde la Revolución Industrial, ha llevado a la comunidad científica a admitir subidas del nivel medio del mar entre 10 cm y 3,68 metros para el año 2.100, según las distintas hipótesis de cambio climático predecible, en función del grado de contaminación con gases que generan el efecto invernadero.

Los cambios meteorológicos determinan tanto la frecuencia como la gravedad de los riesgos costeros, porque los riesgos asociados con las tormentas son el resultado del tiempo y del clima. El incremento de las temperaturas de la superficie del océano, por el calentamiento global, deberían dar como resultado huracanes más frecuentes y más grandes, especialmente en la Costa Atlántica y la costa del Golfo. Cualquier elevación del nivel del mar resultado del deshielo en las próximas décadas, incrementaría profundamente los efectos de las ondas de tormentas en las comunidades costeras. En un período de calentamiento global, tanto por los efectos del hombre como por las variaciones natu-

rales, probablemente incrementaría los daños causados por los riesgos costeros.

En resumen, los riesgos geológicos en la costa son producto de la combinación de efectos a corto plazo y a largo plazo, para hacer del medio litoral el más activo y cambiante de todos los medios terrestres.

Los Peligros de los Riesgos Costeros

Las tempestades ocasionan viento, lluvia y circunstancialmente ondas de tormenta que pueden implicar inundaciones catastróficas. Las bajas presiones barométricas, próximas a los centros de las tormentas principales de desarrollo regional (huracanes), causan abombamientos ascendentes del océano. Esto aumenta la elevación local del agua del mar sobre un área de muchos kilómetros cuadrados. Los vientos, asociados con la tempestad, empujan a lo largo de la superficie del mar, y la tracción generada por este empuje es transmitida a las aguas del fondo. Esta tracción es implacable y a veces hace remover el agua hasta profundidades de varias decenas de metros. Cuando la tempestad se desplaza cerca de la costa, el movimiento del agua empieza a chocar contra el fondo, y cada vez más energía se dirige a las zonas (menos profundas) superficiales y de menor volumen de agua. Estas condiciones producen las grandes olas en tempestades, que son el resultado conjunto de la baja presión atmosférica y de la acumulación de agua en la costa con cantidades inmensas de energía. Ocurrirán más pérdidas de vidas humanas, cuando los vientos huracanados invaden la costa coincidiendo con la marea alta. Entonces todo el mecanismo actúa elevando localmente el nivel del mar y conduciendo las aguas sobre las tierras bajas costeras.

Los vientos huracanados, que con frecuencia se presentan en las costas norteñas españolas, se evalúan de acuerdo con la velocidad de sus vientos y las ondas de tormenta que producen. **La escala de huracanes de Saffir-Simpson** establece rangos de gravedad en una escala entre 1 y 5. Los índices se basan en la velocidad del viento constante y la altura de las ondas de tormenta en las áreas afectadas.

Las inundaciones producen grandes pérdidas y los vientos que acompañan a los huracanes, pueden causar el mismo nivel de daños. Los daños a la propiedad se producen cuando se destruyen barreras naturales, como las dunas de arena, y barreras artificiales, como los diques. Seguidamente, decenas de kilómetros cuadrados de tierra y muchas estructuras, pueden ser barridas en cuestión de horas y la línea de

costa puede ser totalmente reconfigurada (todo durante una fuerte tormenta). Después, la tormenta podría desplazar tierras en el interior de la costa, ocasionando daños por el viento y generar intensas precipitaciones que, a su vez, producirán grandes inundaciones a lo largo de los cauces y deslizamientos de laderas en terrenos abruptos.

La presión social para el desarrollo urbanístico de las costas es similar a la ejercida por el desarrollo urbanístico de las llanuras de inundación. La gente quiere vivir allí, y a muchos no les importa soportar estos riesgos. Para aquellos que eligen vivir en la costa, estar bien informado del peligro aumenta enormemente las posibilidades de evitar catástrofes. En los países desarrollados, los sistemas de emergencia preventivos, tanto para maremotos (tsunamis) como para las grandes tormentas y los servicios de transporte, son normalmente adecuados para permitir la evacuación, pero incluso así, siguen existiendo peligros sobre la propiedad y, quizás, sobre la calidad global de vida en su conjunto.

Los peligros de carácter local son los que afectan a la seguridad personal y económica. Se pueden reducir los riesgos a la propiedad construyendo barreras protectoras como, por ejemplo, diques, muros y malecones de escollera, y el coste de mantenimiento de estas estructuras incrementa los gastos de la sociedad, especialmente a las áreas residenciales que las mantienen (caso de EEUU). Los riesgos para las propiedades también pueden mitigarse suscribiendo el correspondiente seguro (ver Parte IV), de forma que queden cubiertos los sucesos que ocurren periódicamente a lo largo del tiempo, tales como los embates de mar y, en ocasiones, los maremotos. Aquellos que no toman la precaución de asegurarse, son tan negligentes al menos, como los ciudadanos que se arriesgan a vivir en un área de llanura de inundación sin pólizas de seguros de avenidas. Algunos ciudadanos que viven con el peligro de frecuentes inundaciones repentinas, ignoran que viven en un lugar ocasionalmente inundable; también los residentes que viven en primera línea de playa no deberían tener dudas sobre su emplazamiento.

Las posibles Consecuencias Globales del Desarrollo Costero

Los riesgos a largo plazo de la sobreexplotación de las costas podría representar una catástrofe global. El desarrollo conlleva problemas de contaminación y de residuos. El océano, a diferencia de una cuenca fluvial, es una fuente global de vida. El plancton en el océano

da vida, proporcionando oxígeno a la atmósfera. Todo el oxígeno de nuestra atmósfera lo producen los organismos fotosintéticos. El plancton marino produjo una atmósfera oxigenada alrededor de nuestro planeta, millones de años antes de que las plantas terrestres llegaran a ser las principales aportadoras de oxígeno. El plancton continúa siendo un importante productor de oxígeno, lo que mantiene completa la cadena alimentaria de los océanos.

Las zonas húmedas, las marismas y los arrecifes de coral son esenciales para la vida, especialmente para los peces y otras especies marinas. Las zonas húmedas también sirven como filtros de la contaminación perjudicial para el agua y la atmósfera (hasta el límite en que se sobrepasa su capacidad de autodepuración). Los arrecifes de coral eliminan el dióxido de carbono del agua del mar (la mayor parte de este dióxido de carbono viene de la atmósfera) y lo convierte en caliza. El desarrollo humano implica movimientos de tierras (excavaciones, desmontes, deforestaciones), que incrementan los sedimentos producidos por la escorrentía superficial. Los sedimentos son mortales para los arrecifes de coral, y muchos arrecifes en el Caribe han estado a punto de ser destruidos por los sedimentos. A diferencia de la recuperación de un río, en el océano no hay recuperación posible si los humanos logran dañarlo. Es un hecho que el desarrollo en nuestras líneas de costa ha sido el responsable de la pérdida de un 50 % de nuestro humedal nacional, y la contaminación ha producido el cierre de una tercera parte de los bancos de mariscos.

El papel del geólogo en la Reducción de los Riesgos Costeros

Las áreas costeras son sistemas complejos, y sus implicaciones con los riesgos costeros son una responsabilidad de muchos profesionales, incluyendo biólogos, químicos, meteorólogos, ingenieros, geógrafos, oceanógrafos y científicos del medio ambiente. Todavía hay muchas áreas que precisan de los geólogos como científicos principales en la reducción de los riesgos costeros.

En la prevención de los maremotos. A diferencia de las ondas de tormenta, donde el desarrollo de la tempestad puede ser controlado de modo temporal con instrumentos meteorológicos y satélites, los maremotos (tsunamis) son sucesos geológicos impredecibles e instantáneos. Las olas generadas por un maremoto se extienden desde la fuente de la perturbación como ondas en un lago y pueden cruzar todo un océano

Atlántico en menos de un día. Las áreas cercanas podrían notarlo en menos de una hora. El reconocimiento inmediato de la localización y magnitud del suceso geológico desencadenante, es imperativo para proporcionar tiempo para la evacuación de las áreas de alto riesgo. Los maremotos que se desarrollan en mar abierto, no son más grandes que cualquier ola normal y pasan sin notarlo los barcos. Estas olas llegan a ser visibles y alcanzan grandes alturas, sólo cuando se aproximan a las áreas litorales con una adecuada configuración de la línea costera y del fondo. Pero este lapso de tiempo es excesivamente corto como para avisar a los habitantes de la costa. En el Océano Pacífico, el sistema internacional de prevención de maremotos de Hawai, utiliza un sistema de mareógrafos y estaciones sísmicas para proporcionar esa advertencia. Cuando se produce en el océano un terremoto o perturbaciones volcánicas, los geólogos especializados en geofísica y sismología son los primeros en conocer la localización y la magnitud del suceso. Si las estaciones mareográficas próximas al lugar empiezan a detectar una respuesta, entonces se puede aplicar a todos los lugares en peligro el Plan de Emergencia de Maremotos.

En la cartografía y el servicio público. La erosión por las olas normales es un problema crónico en la línea costera, y el mejor método, por su relación coste-beneficio con respecto a las pérdidas económicas, es permitir la construcción sólo sobre los materiales geológicos apropiados. Los geólogos son los únicos profesionales que están capacitados para cartografiar la distribución y el espesor de estos materiales. A partir de los estudios de campo, los geólogos pueden seleccionar los sitios más estables para el proyecto urbanístico y muchas veces pueden deducir el alcance de anteriores fluctuaciones del nivel de agua que se han producido en la zona durante el tiempo geológico. La amplitud de las pérdidas de vidas y propiedades, que se producen en las costas a causa del oleaje, de cualquier origen, depende mucho del grado de conocimiento geológico que se ha incorporado al diseño estructural de las construcciones y a la planificación del territorio. Los geólogos de las administraciones públicas, universidades o del sector privado, realizan mapas costeros que con frecuencia permiten al público estudiar la futura urbanización de sus propiedades, con algún conocimiento de los materiales geológicos. Las series "Living

with the Shore" (Viviendo con la Costa) producido por la Universidad de Duke es un excelente ejemplo de este tipo de servicio.

En las estructuras de ingeniería. La geología juega un papel importante en la estabilización de los recursos, tanto de protección de la costa como de las estructuras costeras. Tanto las islas artificiales, como los diques, rompecolas y muros, muelles, plataformas de petróleo y puertos profundos, están expuestos a las olas y a las corrientes generadas por las olas, que pueden producir la erosión de firmes inadecuados. Los sustratos geológicos situados bajo de futuras estructuras de ingeniería, requieren una evaluación previa por geólogos cualificados.

La evaluación de la fiabilidad de estructuras concretas, no puede realizarse simplemente concentrándose en el diseño de la propia estructura. Es esencial un profundo conocimiento de los procesos costeros. Estos procesos los estudian los geólogos durante su carrera, y muchos geólogos se especializan en el estudio de las costas, mares someros y los procesos arrecifales. Cuando se comprenden las condiciones naturales, geológicas, meteorológicas y climatológicas de un área, es posible evaluar la relación conjunta costes-beneficios de dichas estructuras.

En la investigación. Debido a que la línea de costa representa un inmenso sistema global, el estudio de los efectos del hombre sobre este sistema debe realizarse a través de la investigación, que supone tener en cuenta las perspectivas globales del espacio y del tiempo geológico de los cambios. Esta visión requiere un aprendizaje sobre las sucesivas situaciones y elevaciones de las antiguas líneas de costa, y también de las condiciones climáticas que prevalecieron en el pasado. Esto implica una exhaustiva instrumentación y recopilación de los datos. Los geólogos de muchas universidades y organismos del Estado y de las Comunidades Autónomas, están involucrados en esta importante investigación general, como también se investiga en puntos concretos para ayudar a valorar los procesos costeros y sus causas.

Adaptado para la edición española por Máximo Hernández Ruiz, Geólogo, Master en Ingeniería Geológica U. C. M. y experto en dinámica litoral.

Resumen de la Parte III

La Tierra es un planeta dinámico con una serie de procesos extraordinarios que se están produciendo constantemente. Los riesgos basados en los procesos geológicos son el resultado de la dinámica del interior de nuestro planeta (terremotos y volcanes), de su interior más somero (subsistencia) y su medio ambiente superficial (deslizamientos, inundaciones y riesgos costeros). Los procesos superficiales representan las mayores pérdidas de vidas y propiedades y están fuertemente condicionados por el tiempo atmosférico y el clima. La vida de una persona es corta en relación con la recurrencia de muchos riesgos en un solo punto de la superficie de la Tierra. Por ello, los largos intervalos de tiempo que pasan entre las grandes catástrofes, contribuyeron a una autocomplacencia y falta de preparación que, de evitarse, podrían minimizar las pérdidas. Entre el otoño de 1989 y principios de 1993, los riesgos basados en los procesos geológicos costaron en los EE.UU. más de 50.000 millones de dólares en pérdidas, convirtiendo a este período en el más costoso en pérdidas económicas causadas por riesgos naturales de la historia del país.

Bibliografía sobre Riesgos Costeros de la edición americana

(*) Indica referencias bibliográficas especialmente adecuadas para educadores

- Adams, W. M., 1970, **Tsunami effects and risk at Kahuku Point, Oahu, Hawaii**: in *Engineering Geology Case Histories* n. 8, Geol. Soc. Amer., pp. 63-70.
- (*) Adams, W. M., (ed), 1970, **Tsunamis in the Pacific Ocean**: Honolulu, HI, East-West Center Press.
- All-Industry Research Advisory Council and National Committee on Property Insurance, 1989, **Surviving the storm: building codes compliance and mitigation of hurricane damage**: 1200 Harge Road, Suite 310, Oak Brook, IL 60521.
- Bascom, W., 1980, **Waves and Beaches: The Dynamics of the Ocean Surface** (revised ed.): Garden City, NY, Anchor Press.
- Bernard, E. N., (ed) 1991, **Tsunami Hazard**: Hingham, MA, Kluwer Academic Publishers.
- Bird, H. C. F., 1987, **Coastal Processes**: in *Human Activity and Environmental Processes*, K. J. Gregory and D. F. Walling, (eds.), New York, John Wiley & Sons, pp. 183-205.
- (*) Committee on Coastal Erosion Zone Management, 1990, **Managing Coastal Erosion**: Washington, DC, National Academy Press.
- Committee on Engineering Implications of Changes in Relative Mean Sea Level, 1987, **Responding to changes in sea level—Engineering Implications**: Washington, DC, National Academy Press.
- (*) Dolan, R., and others., 1985, **Coastal erosion and accretion**: 1: 7,500,000 scale map from U.S. Geol. Survey National Atlas. Sold as a separate wall map with informative text back.
- (*) Dudley, W. C., and Lee, M., 1988, **Tsunami**: Honolulu, HI, Univ. Hawaii Press.
- (*) Dunn, G. H., and Miller, B. I., 1964, **Atlantic Hurricanes**: Louisiana State Univ. Press, Baton Rouge, 377 p.
- Emmer, R. H., and others, 1992, **Planning for sea level rise along the Louisiana Coast: A workbook**: Envtl. Social Sci. Research Inst., Dept. Sociology, University of New Orleans, New Orleans, LA, 80 p.
- Friedman, D. G., 1990, **U.S. Hurricanes and Windstorms**: DYP Insurance and Reinsurance Research Group Ltd., Bridge House, 181 Victoria St., London, EC4V 4DD, England.
- (*) Great Lakes Basin Commission, 1975, **Shore use and erosion**: P. O. Box 999, Ann Arbor, MI 48106, Great Lakes Basin Framework Study Appendix 12.
- (*) Inman, D. L., and Brush, J. D., 1973, **The coastal challenge**: Science, v. 181, pp. 20-32.
- (*) Insurance Information Institute, 1990, **Hurricane awareness**: Available through National Insurance Consumer Helpline, (800) 942-4242. Free brochure.
- Jeleniansky, C. P., 1978, **Storm surges**: in *Geophysical Predictions*, Natl. Acad. Sci., Washington, DC, pp. 185-192.
- (*) Kaufman, W., and Pilkey, O. II., 1983, **The Beaches are Moving; the Drowning of America's Shoreline**: Durham, NC, Duke University Press.
- (*) Kimball, S., Anders, F., and Dolan, R., 1989, **Coastal Hazards**: 1: 7,500,000-scale map from U.S. Geol. Survey National Atlas with informative text.
- Komar, P. D., 1983, **CRC Handbook of Coastal Processes and Erosion**: Englewood Cliffs, NJ, CRC Press.
- Lander, J. F., and Lockridge, P. A., 1989, **United States tsunamis (including United States Possessions) 1690-1988**: Natl. Geophysical Data Center, 325 Broadway, Boulder, CO 80303.
- Laska, S., and Emmer, R., 1992, **A bibliography of coastal erosion and sea level rise**: Envtl. Social Sci. Research Inst., Dept. Sociology, University of New Orleans, New Orleans, LA, 45 p.
- (*) López, S. II., 1985, **Coastal design with natural processes**: Amer. Soc. Landscape Architects Tech. Inf. Series n. 9, 32 p., Washington, DC 20009.
- (*) McGowen, J. H., Garner, L. E., and Wilkinson, B. H., 1977, **The Gulf Shoreline of Texas: processes, characteristics, and factors in use**: Bur. Econ. Geol., Univ. Texas, Circular 73-7, 27 p.
- Monday, J. L., 1992, **Learning from Hurricane Hugo: implications for public policy**: FEMA/H-1A, 500 C St., S. W., Washington, DC 20472.
- (*) Morrison, II R., and Lee, C. E., 1981, **Americas Atlantic Isles**: Washington, DC National Geographic Society.
- National Research Council, 1989, **Great Lakes water levels: shoreline dilemmas**: Natl. Research Council, Water Science and Technology Board, 2101 Constitution Avenue, HIA-278, Washington, DC 20418.
- (*) Pilkey, O. H., and Neal, W. J., 1988, **Coastal geologic hazards**: in Geol. Society America, *The Atlantic Continental Margin: U.S., Decade of North American Geology (DNAG)*, v. 1-2, pp. 549-556.
- (*) Pilkey, O. H., and Neal, W. J., (eds.) various years, **Living with the Shore**: Durham, NC, Duke University Press.
- Pipkin, B. W., Robertson, H., and Mills, R., 1992, **Coastal erosion in Southern California**: in *Engineering Geology Practice in Southern California*, Assoc. Engrg. Geologists Spec. Pub., Belmont, CA, Star Pub. Co., pp. 461-483.

- (*) Platt, R. H., Beatley, T., and Miller, H. C., 1991, **The folly at Folly Beach and other failings of U.S. coastal erosion policy:** *Environment*, v. 33, n. 9, pp. 7-33.
- Platt, R. H., and others, 1992, **Coastal erosion—has retreat sounded?:** Univ. of CO Institute Behavioral Sciences, Monograph n. 53, 195 p.
- Pugh, 1987, **Tides, Surges and Mean Sea Level:** New York, John Wiley.
- (*) Shepard, F. P., and Wanless, H. R., 1971, **Our Changing Coastlines E:** New York, McGraw-Hill.
- Silvester, R., 1974, **Coastal Engineering:** (v. I, 457 p., v. II, 338 p.) New York, Elsevier.
- Soloviev, S. C., 1978, **Tsunamis: in The Assessment and Mitigation of Earthquake Risk-Natural Hazards,** UNESCO, Paris, pp. 118-139.
- (*) Sorensen, J. H., and Mitchell, J. K., 1975, **Coastal erosion hazard in the United States E:** Monograph NSF-RA-E-75-014, Inst Behavioral Sci., Univ., CO, Boulder, 65 p.
- (*) U.S. Army Corps of Engineers, 1981, **Low cost shore protection E:** U.S.A.C.E. Section 54 Program, Washington, DC.
- U.S. Army Coastal Engineering Research Center, 1984, **Shore Protection Manual:** U.S. Govt. Printing Office, Washington, DC, 2 volumes.
- Williams, J. W., (ed), 1987, **Engineering geology in the marine coastal zones of the United States:** Bull. Assoc. of Engrg. Geol., v. 24, n. 2 & 3.
- (*) Williams, S. J., Dodd, K., and Gohn, K. K., 1990, **Coasts in Crisis E:** U.S. Geol. Survey Circular 1075.

Bibliografía de Riesgos Costeros de la edición española

- Dabrio, C. J. (1984): **Sedimentación siliciclástica en costas, deltas y mares someros.** Ciclo de Seminarios de Sedimentología. *IGMR*, 2, 131-190. Madrid.
- Dabrio, C. J., Boersma, J. R. y Fernández, J. (1986): **Evolución sedimentaria de la flecha del Rompido.** *Actas IX Congreso Nacional de Sedimentología*, 1980, 1, 329-341. Salamanca.
- Dabrio, C. J., Boersma, J. R., Fernández, J., Martín, J. M. y Polo, M. D. (1980): **Dinámica costera en el Golfo de Cádiz: sus implicaciones en el desarrollo socioeconómico de la región.** *I Reunión Nacional del Grupo Español de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio*. Santander, 1980, 19 p.
- Dabrio, C. J. y Polo M. D. (1981): **Dinámica litoral y evolución costera de El Puerto de Mazarrón (Murcia).** *Bol. R. Soc. Española de Historia Natural*, 79, 225-134.
- Dabrio, C. J. y Polo M. D. (1983): **Influencia humana en el litoral.** *II Reunión Nacional del Grupo Español de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio*, Lleida, 1983, Comunicaciones, 1, 22-31.
- Dabrio, C. J. y Polo M. D. (1987): **Holocene sea-level changes, coastal dynamics and human impacts in southern Iberian Peninsula.** En Zazo, C. (ed) *Late Quaternary sea-level changes in Spain*. Museo Nat. de Ciencias Naturales, C.S.I.C., 227-247. Madrid.
- Davis, R. A. (ed), (1978): **Coastal Sedimentary Environments.** Springer-Verlag, 420 p. Stuttgart.
- Elliott, T. (1986): **Deltas.** En Reading, H. G. (ed). *Sedimentary Environments and Facies* (2nd edit.). Blackwell Sc. Pub. 113-154. Oxford.
- Elliott, T. (1986): **Siliciclastic shorelines.** En Reading, H. G. (ed) *Sedimentary Environments and Facies* (2nd edit.). Blackwell Sc.
- Enriquez, F. y Berenguer, J. M. (1986): **Evaluación metodológica del impacto ambiental de las obras de defensa de costas.** *CEDEX, Monografías, N° 10*. M.O.P.U. 40 p. Madrid.
- Goy, J. I. y Zazo, C. (1986): **Western Almería (Spain) Coastline Changes Since the Last Interglacial.** *J. Coastal Research*, 1, 89-93.

- Goy, J. I., Zazo, C., Dabrio, C. J. e Hillaire-Marcel, C. (1986): **Evolution des systèmes de lagunes-fles barrière du Tyrrhénien à l'actualité a Campo de Dalías (Almería, Espagne).** En Orston, (ed) *Changements globaux en Afrique*. Lab. Trav. et Documents, 197, 169-171.
- Hoffmann, G. y Schulz, H. D. (1987): **Holocene stratigraphy and changing coastlines at the Mediterranean coast of Andalucía (S.E. Spain).** En Zazo, C. (ed) *Late Quaternary Sea-Level Changes in Spain*. Trab. Neog-Cuat. Museo Nat. C. Nat. C.S.I.C., 10, 227-247. Madrid.
- Ingle, J. C. (1966): **The Movement of Beach Sand.** *Developments in Sedimentology*. Elsevier, 5, 221 p. Amsterdam.
- Jegelsma, S. (1987): **The impact of future rise in sea-level on the European coastal lowlands.** *European Workshop on interrelated Bioclimatic and Land Use Changes*.
- Pritchard, D. W. y Carter, L. (1971): **Estuarine circulation patterns.** En Schubel, J. R. (ed) *The Estuarine Environment*. Am. Geol. Inst. 1-17.
- Sermot, J. (1943): **La costa mediterránea andaluza de Málaga a Almería.** *Est. Geológicas*, 10, 15-29.
- Silvester, R. (1976): **Headland defense of coasts.** *Proc. XV Coastal Engrg. Conf. Hawaii*, 2, 1394-1406.
- Vancey, B. R., Menanteau, L., Zazo, C. y Goy, J. I. (1985): **Mapa fisiográfico del litoral atlántico de Andalucía, E: 1/50.000.** M.F. 02. Punta Umbría-Matalascañas; M.F. 03, Matalascañas-Chipiona. Edit. Serv. Publ. y Boja. Sevilla.
- Varios (1987): **Programme of European Workshop on Interrelated Bioclimatic and Land Use Changes.** Oct. 12-21, 1987. Noordwijkerhout, Holanda.
- Zazo, C. (1980): **El Cuaternario marino-continental y el límite Plio-Pleistoceno en el litoral de Cádiz.** *Tesis Doctoral*, Univ. Complutense de Madrid, 2 Vol.
- Zazo, C. (ed) (1987): **Late Quaternary Sea-Level Changes in Spain.** *Trab. Neógeno-Cuaternario*. Museo Nat. Ciencias Naturales. C.S.I.C. N° 10, 304 p.
- Zazo, C., Goy, J. I. y Dabrio, C. J. (1983): **Medios marinos y marinos-salobres en la Bahía de Cádiz durante el Pleistoceno.** *Mediterránea*, 2, 29-52.
- Zazo, C., Goy, J. I. y Dabrio, C. J. (1986): **Late Quaternary and recent evolution of coastal morphology of the Gulf of Cadiz (Huelva-Cádiz, southwestern Spain).** *1st. Int. Symp. on Harbours, Port Cities and Coastal Topography*. Haifa, 1986, Summaries, 200-203.
- Zazo, C., Goy, J. I. y Dabrio, C. J., Civis, J. y Bacna, J. (1985): **Paleogeografía de la desembocadura del Guadalquivir al comienzo del Cuaternario (Provincia de Cádiz, España).** *Actas I Reunión de Cuaternario Iberico*, 461-472. Lisboa.

Videos sobre Ondas de Tormenta y Erosión de Playas

- Best Build I: Constructing a Sound Coastal Home:** 1987, 20 min. Natl. Flood Ins. Program, Best Build Series, P. O. Box 710, Lanham, MD 20706, (800) 638-6620-7.
- (*) **Hurricane: It's Not Just Another Storm!** E: 1991, 20 min. FEMA Region IV, Suite 700, 1371 Peachtree Street, N. E., Atlanta, GA 30309.
- Superstorms:** 1990, 30 min. Crocus Entertainment Inc., 630 Twelve Oaks Center, Wayzata, MN 55391 (800) 942-2992.
- (*) **The Beach - A River of Sand** E: 1966, 21 min.: Britannica Films, 310 South Michigan Ave., Chicago, IL 60604, (800-621-3900).
- (*) **The Beaches Are Moving** E: 1990, 60 min.: Contact Dr. Orrin Pilkey, Dept. of Geology, Duke University, P. O. Box 6729 CS, Durham, NC 27708 (919) 684-4238.

Parte IV - El Sistema Español de Cobertura de los Riesgos Catastróficos

La Parte IV es un nuevo capítulo incorporado a la edición española de esta Guía. Trata acerca de la historia del sistema de cobertura de los riesgos catastróficos en España, el marco jurídico de cobertura del Consorcio de Compensación de Seguros (C.C.S.), las modalidades

de intervención del C.C.S., los riesgos que cubre, la obligación de aseguramiento, los daños indemnizables, las sumas aseguradas, la franquicia y plazo de carencia y la financiación del sistema. Finalmente el texto incluye también un resumen de la cobertura de los riesgos catastróficos en otros países.

EL CONSORCIO DE COMPENSACION DE SEGUROS

La especial naturaleza de los riesgos catastróficos (terremotos, volcanes, huracanes, tornados, inundaciones, avalanchas, deslizamientos, hundimientos etc.) y su incidencia sobre los seres humanos, en sus vidas y en sus bienes, hacen difícil su tratamiento en los términos aseguradores tradicionales, e implican la necesidad de diseñar mecanismos específicos de compensación capaces de dar respuesta aseguradora al ingente número de reclamaciones indemnizatorias a que pueden dar lugar los efectos catastróficos de eventos naturales de gran virulencia.

El sistema español de cobertura de riesgos catastróficos, en el que destaca la figura del Consorcio de Compensación de Seguros, y cuyo funcionamiento se basa en los principios de «compensación» y de «solidaridad», cuenta con más de cincuenta años de experiencia en el tratamiento de este tipo de riesgos, y ha demostrado ser uno de los más eficaces del mundo.

Los riesgos catastróficos: el caso español

Terremotos, erupciones volcánicas, huracanes, tornados, tempestades, inundaciones, avalanchas, tsunamis, hundimientos y desprendimientos del terreno, etc. constituyen una amplia gama de la manifestación colosal de las fuerzas de la naturaleza. Se originan a partir de fenómenos, presentes desde los albores de los tiempos, que escapan al control humano, y que, cuando afectan a una población vulnerable, originan importantes daños en las personas y en los bienes. Se habla, entonces, de catástrofes naturales.

Las pérdidas humanas y materiales producidas por catástrofes derivadas de fenómenos de la naturaleza vienen experimentando en los últimos años un crecimiento preocupante para el que se han apuntado múltiples causas, muchas de ellas vinculadas al aumento de las expo-

siciones al riesgo y al incremento, por concentración, del potencial de pérdida. En efecto, el aumento de la población y su asentamiento en nuevas regiones altamente expuestas, así como la cada vez mayor acumulación de valores derivada de la industrialización y el avance tecnológico, son en buena medida responsables de la mayor frecuencia e intensidad de las pérdidas.

Pero en los últimos tiempos vienen señalándose también, como factores determinantes, los cambios climáticos, debidos al recalentamiento de la atmósfera ligado a la incidencia creciente del «efecto invernadero», y la falta de adaptación de los sistemas socioeconómicos, e incluso de los ecosistemas, a las nuevas condiciones.

Cualquiera que sea la causa, el hecho es que ello viene preocupando a la comunidad científica y a las autoridades públicas. Preocupación que va muy ligada al mayor interés por la conservación y protección del

medio ambiente, y que, por otro lado, tiene ya en el ámbito internacional significativas concreciones, como lo demuestra, en los últimos tiempos, la proclamación de los años noventa como «Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales» (DIRDN), y en cuyo marco se celebró en Yokohama, en 1994, la Conferencia Mundial sobre la Reducción de los Desastres Naturales; o la constitución en 1992 del «Departamento de Asuntos Humanitarios» (DAH), cuya oficina en Ginebra se encarga de la respuesta del sistema de las Naciones Unidas a los desastres naturales en vertientes como la ayuda de urgencia, asesoramiento técnico, formación y capacitación para prevención de catástrofes, etc. Tampoco pasó desapercibido el problema en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo (Rio de Janeiro, junio 1992), y así, uno de sus documentos principales, el Plan de Acción, también conocido como «Agenda 21», dedica unas cuantas recomendaciones a las catástrofes naturales, fundamentalmente desde la perspectiva de la prevención.

Todo ello preocupa también, y de forma muy especial, al mundo del seguro y del reaseguro, para el que

esta tendencia siniestral representa un auténtico desafío, no sólo por el alto coste económico al que debe hacer frente, sino también por lo que se refiere a la adopción de criterios e instrumentos técnicos adecuados lo más posible a la realidad de los riesgos y, lo que es más importante, a su previsible evolución. El problema de los cúmulos, la constitución de reservas, el cálculo y aplicación del precio real de cobertura, etc., son algunos de los temas de mayor relevancia y complejidad de tratamiento.

Es evidente que, para afrontar los eventos de gran magnitud, la necesidad de aplicar los clásicos principios de solidaridad y compensación propios de la institución aseguradora adquiere su máxima expresión, y en ello tiene su fundamento el sistema aplicado en España para la cobertura de los riesgos extraordinarios -término que en el sistema español abarca tanto a las catástrofes naturales como a actos de terrorismo, motín y otros de carácter tumultuario-, cuyo elemento clave es, desde hace más de cincuenta años, la figura del CONSORCIO DE COMPENSACION DE SEGUROS, y cuyo origen está, precisamente, en el mayor desastre de la historia contemporánea de España: la Guerra Civil (1936-1939).



Andoain (Guipúzcoa). Inundaciones de 1 de junio de 1997. (Foto de «El Diario Vasco»).

**CATASTROFES NATURALES EN EL MUNDO,
VICTIMAS Y DAÑOS ASEGURADOS
(1990-1996)**

Año	Nº catástrofes	Víctimas	Daños asegurados (millones de \$ USA)(*)
1990	107	61.187	14.052
1991	108	156.916	10.850
1992	130	13.284	22.536
1993	127	20.564	6.939
1994	130	11.566	14.428
1995	127	20.245	12.429
1996	129	13.950	7.906

(*) Importes al final de cada año (cifras no actualizadas según inflación)
(Cuadro elaborado a partir de datos de SUIZA RE)

En efecto, la necesidad de reparar los enormes daños causados por el conflicto bélico en todos los ámbitos, así como las fuertes desavenencias que entonces surgieron sobre la naturaleza de los acontecimientos y su comprensión dentro de las coberturas de las pólizas, tuvieron una solución ciertamente original. Se acordó la cantidad global que correspondería aportar al sector asegurador y se creó, en junio de 1941, un organismo denominado «Consortio de Compensación de Riesgos de Motín», con la finalidad de canalizar la aportación de las compañías de seguros y financiar la diferencia. Aquel «Consortio» -que nació así con carácter de provisionalidad para atender una siniestralidad del pasado (la Guerra Civil)- emitió títulos de deuda, que se admitían para la cobertura de las reservas técnicas de las entidades, e hizo frente a su devolución mediante un recargo que se estableció sobre las primas de ciertos ramos de seguro (incendios, robo y complementarios) que debían recaudar las compañías e ingresar en el Consortio.

Otros eventos posteriores de graves consecuencias (incendio de Santander, en febrero de 1941; incendio huracanado de Canfranc, en abril de 1944; incendio de El Ferrol, en mayo de 1944; explosión de minas en Cádiz, en agosto de 1947; explosión de polvorín en Alcalá de Henares, en septiembre de 1948) dieron lugar a que se decidiera la permanencia del Consortio y su financiación a través de recargos sobre las primas emitidas por las entidades aseguradoras. Y así se mantuvo hasta que en 1954 se institucionalizó por Ley con carácter definitivo el «Consortio de Compensación de Seguros», cuyo objeto sería la cobertura en régimen de compensación, en los ramos no personales y en el de accidentes, de los riesgos que no fueran susceptibles de garantía mediante póliza de seguro privado ordinario por obedecer a causas anormales o de naturaleza extraordinaria.

Por lo que atañe a fenómenos naturales, España es un país que, por sus características geográficas, orográficas y climatológicas, está especialmente expuesto a determinados riesgos que frecuentemente se presentan con intensidad desmesurada.

Aunque España tiene un nivel moderado de sismicidad, no está en absoluto exenta de terremotos (Sistema Bético y Pirineos, fundamentalmente), que, si bien no sobrepasan normalmente una intensidad media, han llegado a dar registros de intensidad mayores de VIII (M.S.K.).

La exposición a vientos huracanados es también baja, aunque en zonas muy concretas y con condiciones atmosféricas excepcionales se han observado rachas superiores a los 200 km/h., siendo varios los ejemplos de temporales y tormentas violentas que han afectado a la Península Ibérica, ocasionando importantes daños.

Pero el riesgo natural que con mayor intensidad y frecuencia afecta a España es, sin duda, el de inundación, y en ello influyen decisivamente dos factores: el tipo de relieve y el tipo de clima. Así, España es una de las regiones más montañosas de Europa y, en algunas zonas, con pendientes muy acusadas. Las cadenas montañosas son las que dividen las diez cuencas hidrográficas más importantes, y puede afirmarse que, en mayor o menor grado, todas ellas han sufrido las consecuencias de las avenidas, agravadas por el hecho de que los asentamientos industriales y de población se localizan en muchos casos en los valles y en las cuencas fluviales, con gran proximidad a los principales ríos.

Desde el punto de vista de las precipitaciones, España tiene tres zonas climáticas bien definidas: la zona húmeda, con pluviometría superior a los 1.000 mm/año, en el Norte y Noroeste peninsular, donde se localiza la Cordillera Cantábrica, a poca distancia del mar y con ríos de poca longitud, muy afectada por el fenómeno denominado «gota fría» en otoño; la zona semihúmeda o de transición, con precipitaciones entre 400 y 1.000 mm/año, localizada en las grandes cuencas de los mayores ríos; y la zona árida, que ocupa gran parte de la España interior y del litoral mediterráneo, con muy baja pluviometría, lo que impide la presencia estable de cobertura vegetal. La consiguiente falta de capacidad de retención de agua del terreno, la especial orografía, la deforestación sufrida en este siglo y las prácticas agrícolas a veces degradantes para el suelo, han incidido en la exposición a las inundaciones, junto con el hecho de que la distribución de lluvias es muy

irregular, con veranos muy cálidos y grandes precipitaciones en otoño y primavera. Aunque no es un fenómeno nuevo (las denominaciones árabes de muchos de los ríos españoles responden a su historial de avenidas), sí se ha visto incrementado en las últimas décadas por la influencia del hombre, sus asentamientos y sus actividades.

De hecho, del total de la siniestralidad pagada por el Consorcio en los últimos 25 años, más del 85 por ciento lo fue por inundación, y, si analizamos el número e importancia de las mayores siniestralidades a las que se ha hecho frente, resulta que prácticamente todas se debieron a esa misma causa.

Las especiales características del sistema de cobertura del Consorcio convierten a éste en un modelo apto para ser aplicado en la compensación de daños provenientes de cualquier tipo de fenómeno de naturaleza extraordinaria, por cuanto su fundamento se encuentra en una gran capacidad financiera y en una gestión especializada, como requisitos imprescindibles para afrontar la problemática peculiar y específica de las catástrofes.

CUANTIAS PAGADAS POR DAÑOS EN LOS BIENES

Datos estadísticos según año de ocurrencia de los siniestros
(Importes actualizados a 31-12-96)

Año	Importe Pts.
1974	59.824.504
1975	359.765.001
1976	2.286.620.346
1977	12.597.914.662
1978	5.632.113.910
1979	4.698.159.409
1980	10.040.305.972
1981	6.937.437.630
1982	44.313.375.626
1983	102.526.657.49
1984	8.205.725.384
1985	4.169.727.746
1986	9.763.800.526
1987	40.241.478.167
1988	12.348.653.036
1989	32.715.588.152
1990	5.459.920.409
1991	7.206.363.622
1992	9.570.055.580
1993	5.438.961.562
1994	12.286.798.179
1995	13.582.128.936
1996	13.823.673.316
TOTAL	364.265.049.168

El cuadro adjunto muestra las cuantías pagadas por el Consorcio por daños en los bienes como consecuencia de siniestros extraordinarios, en el período 1974-1996.

Marco legal de la cobertura

El marco jurídico de la cobertura de los denominados «Riesgos Extraordinarios» en España está en la actualidad presidido por el Estatuto Legal del Consorcio, aprobado por el artículo 4º de la Ley 21/1990, de 19 de diciembre, de adaptación del Derecho Español a la Directiva 88/357/CEE, sobre libertad de servicios en seguros distintos al de vida, y de actualización de la Legislación de Seguros Privados (BOE, nº 304, de 20 de diciembre de 1990), y modificado por la Disposición adicional novena de la Ley 30/1995, de 8 de noviembre, de Ordenación y Supervisión de los Seguros Privados (BOE, nº 268, de 9 de noviembre de 1995)¹.

Según el referido Estatuto, el Consorcio de Compensación de Seguros, Entidad de Derecho Público con personalidad jurídica propia, adscrito al Ministerio de Economía y Hacienda, y sometido en su actividad al Ordenamiento Jurídico Privado, tiene por objeto indemnizar, en régimen de compensación, los daños en las personas y en los bienes derivados directamente de acontecimientos extraordinarios acaecidos en España y que afecten a riesgos en ella situados, siempre que se dé alguno de los siguientes supuestos:

a.- Que el riesgo extraordinario no esté específica y explícitamente amparado por otra póliza de seguro.

b.- Que, estando amparado por póliza de seguro, las obligaciones de la Compañía de seguros no puedan ser cumplidas por haber sido ésta declarada en quiebra, suspensión de pagos, o que, hallándose en situación de insolvencia, estuviese sujeta a un procedimiento de liquidación intervenida o ésta hubiera sido asumida por la Comisión Liquidadora de Entidades Aseguradoras (CLEA).

En definitiva, la actuación del Consorcio es en la actualidad de carácter subsidiario -pues sólo indemnizará cuando la entidad aseguradora privada no cubra el riesgo extraordinario o sea insolvente-, y su cobertura

¹ En lo que no se oponga al Estatuto Legal, sigue en vigor el Reglamento de Riesgos Extraordinarios sobre las Personas y los Bienes, aprobado por Real Decreto 2022/1986, de 29 de agosto. (BOE, nº 235, de 1 de octubre de 1986).



Lorea. San Sebastián (Guipúzcoa). Inundaciones de 1 de junio de 1997. (Foto de «El Diario Vasco»).

representa la mínima protección que debe tener el asegurado frente a los riesgos extraordinarios.

¿Cómo y cuándo actúa el Consorcio como asegurador?

Con el objeto de exponer con la máxima precisión los términos y condiciones en que se produce la intervención del Consorcio, y cómo influye en la cobertura de estos riesgos el hecho de que cualquier entidad pueda ahora otorgarla, han de destacarse dos cuestiones:

a) ¿Cuándo se entenderá que debe indemnizar el Consorcio por no estar la cobertura comprendida en la póliza de la entidad aseguradora privada?. Debe partirse de la base de que la ley define la protección contra estos riesgos como la mínima que debe tener el asegurado, y que cualquier empeoramiento de esas condiciones mínimas supone que no se estén cubriendo los «riesgos extraordinarios». Dado, por otra parte, que no es viable en la práctica que el Consorcio actúe complementando hasta esos mínimos las eventuales coberturas que pudiera otorgar cada una de las variadísimas pólizas del mercado -pues las posibles com-

binaciones son infinitas, como infinitos son los problemas de delimitación de responsabilidades que se plantearían-, esta Entidad se hará cargo de la totalidad de la indemnización siempre que en la póliza no esté establecida expresamente, con toda claridad, la cobertura mínima legal. Lo que ya no genera ningún problema de determinación de responsabilidades, y por tanto resulta perfectamente factible, es que la entidad privada limite su cobertura a uno solo de los riesgos, por ejemplo el de inundación, en cuyo caso, el Consorcio se limitaría a indemnizar siniestros de terrorismo, terremoto o el ocasionado por cualquier otro riesgo del sistema distinto del cubierto por dicha entidad en su póliza.

b) Cabe plantearse la pregunta contraria, es decir, suponiendo que la póliza privada efectivamente cubriera los riesgos catastróficos (o algunos de ellos), y lo hiciera además en términos más amplios que los mínimos (por ejemplo, sin franquicia o sin período de carencia), ¿qué ocurriría si el Consorcio tuviera que hacer frente a un siniestro por encontrarse la Compañía en situación de insolvencia?. Pues bien, en tal caso la indemnización del Consorcio se efectuaría siempre en los términos legales mínimos, es decir, sin que el Consorcio asuma «las mejoras» de la póliza. Esto es, no se pone en el lugar de la

Compañía insolvente, sino que únicamente pasa a hacerse cargo de la cobertura legal.

Debe añadirse, sin embargo, que la delimitación de responsabilidades entre la aseguradora privada y el Consorcio es una cuestión más teórica que real, pues en la práctica del mercado español las entidades privadas no asumen esta cobertura en sus pólizas, y es el Consorcio quien se hace cargo de ella.

Los riesgos cubiertos

Una de las principales características del sistema español es que define ciertos riesgos en consideración al enorme potencial de pérdidas que son susceptibles de generar, pero sin condicionar la protección a que se produzcan acontecimientos que afecten a un número muy elevado de asegurados o a una extensión territorial muy amplia, ni a que ocasionen daños muy cuantiosos que permitan calificar el evento de «catástrofe». Se atiende, en definitiva, al aspecto cualitativo y no al cuantitativo, es decir, a la propia naturaleza de los riesgos, que se caracterizan por presentar en su acaecimiento una muy baja frecuencia y una muy alta intensidad, lo que, junto con enormes diferencias en el grado de exposición de los distintos asegurados, hace que

deban tratarse en términos de compensación a gran escala. Son, por tanto, susceptibles de originar pérdidas muy elevadas, y de hecho así ocurre, pero sin que ello sea imprescindible para que opere la cobertura del Consorcio.

Una de las ventajas de este planteamiento es que no requiere que por parte de los poderes públicos exista una declaración oficial de «catástrofe» o de «zona catastrófica», permitiendo reducir al mínimo el subjetivismo en la apreciación de los eventos y evitar los grandes retrasos e incertidumbres de otros esquemas basados en tal declaración.

Los acontecimientos que se contemplan en el sistema pueden ser clasificados en dos grupos:

a) Fenómenos de la naturaleza:

- Terremotos
- Maremotos
- Inundaciones extraordinarias
- Erupciones volcánicas
- Tempestad ciclónica atípica
- Caída de cuerpos siderales o aerolitos.



Lasarte (Guipúzcoa). Inundaciones de 1 de junio de 1997, (Foto de «El Diario Vasco»).

b) Fenómenos de carácter político o social:

- Terrorismo
- Rebelión, sedición, motín y tumulto popular
- Hechos o actuaciones de las Fuerzas Armadas y Cuerpos de Seguridad en tiempo de paz.

Las definiciones de todos estos riesgos a efectos de esta cobertura se encuentran en la legislación vigente, y de entre ellas merece destacarse la de «inundación», por ser el evento que representa la mayor parte del total de la siniestralidad en España, como ya se ha indicado.

Por **inundación extraordinaria**, a efectos de la cobertura del Consorcio, se entiende la que procede de:

- Aguas de escorrentía de lluvias o deshielo.
- Desbordamiento del mar, lagos o ríos.
- Embates de mar en la costa.

Y **no quedan comprendidos** bajo este concepto los daños producidos por:

- Rotura de presas, canales o alcantarillas, salvo que la rotura haya sido producida por la inundación extraordinaria.
- Goteras, filtraciones o humedades.
- La acción directa de la lluvia.

Entre los riesgos cubiertos no figuran el granizo, el peso de la nieve, ni las avalanchas o aludes. Tampoco se cubren los daños producidos por hundimiento, corrimiento, desprendimiento o erosión del terreno no causados directamente por la inundación. Y, finalmente, el Consorcio no indemnizará daños producidos por conflictos armados, ni en supuestos en que el Gobierno español, por la especial gravedad del siniestro, califique a éste como «catástrofe o calamidad nacional».

Obligación de aseguramiento

En el sistema español, la protección frente a estos riesgos está obligatoriamente vinculada a la suscripción de una **póliza de seguro** en ciertos ramos, siempre que ésta ampare a **bienes y personas situados en España**. Es decir, el hecho de suscribir una cobertura de seguro de determinado tipo lleva aparejada la obligación de tener cubiertos los **mismos bienes**, y por las **mismas sumas aseguradas**, contra los riesgos catastróficos antes descritos.

Las pólizas que deben incorporar esta cobertura son las comprendidas en los siguientes ramos:

a) En cuanto a seguros sobre las cosas:

- Incendios y eventos de la naturaleza.
- Vehículos terrestres (daños al vehículo, no Responsabilidad Civil).
- Vehículos ferroviarios.
- Otros daños en los bienes (robo, rotura de cristales, avería de maquinaria, equipos electrónicos y ordenadores, y daños a obras civiles terminadas).
- o modalidades combinadas de los mismos.

b) **En cuanto a seguros de personas**, únicamente los de Accidentes, aunque se contraten de forma complementaria a un seguro de vida, a un plan de pensiones, o a un seguro de automóviles.

Entre los ramos excluidos más significativos están: vida, aeronaves, cascos de buques, transporte de mercancías, responsabilidad civil, crédito y caución, pérdida de beneficios, enfermedad, defensa jurídica, asistencia en viaje, y todos los demás en que la obligación del asegurador consista en una actividad de servicio, no de indemnización en dinero.

Aunque el ámbito de la obligatoriedad se delimita con el criterio del «ramo» de seguro, existen algunas exclusiones referidas al objeto asegurado. Estas son las relativas a los riesgos agropecuarios (cosechas y ganado) y a los riesgos de construcción y montaje.

La obligación de tener cubiertos los mismos bienes frente a los acontecimientos extraordinarios puede cumplimentarse mediante la inclusión de tales garantías en la póliza de seguro suscrita con una Compañía privada. Si ello no se hace, será el Consorcio de Compensación de Seguros quien, de forma automática, se convierta en asegurador desde el mismo momento en que entra en vigor la póliza ordinaria.

Esta obligación persiste aun cuando la póliza se haya contratado con una entidad extranjera actuando en libre prestación de servicios desde otro país de la Unión Europea, siempre que se trate de personas o bienes situados en España.

Daños indemnizables

En la determinación de los daños y gastos indemnizables deben destacarse dos aspectos:

a) En los daños a las cosas, la indemnización comprende únicamente los **daños materiales**, entendiendo



Andoain (Guipúzcoa). Inundaciones de 1 de junio de 1997. (Foto de «El Diario Vasco»).

por tales la destrucción o deterioro de los bienes asegurados (es decir, con exclusión de la pérdida de beneficios), y **directos**, esto es, provenientes directamente de la acción del elemento causante.

Debe tenerse en cuenta que la finalidad de un sistema de protección mínima frente a eventos extraordinarios es la de salvaguardar la actividad económica del país, permitiendo garantizar la rápida reanudación de la misma tras un siniestro excepcional o, en otras palabras, poner al asegurado en la situación en que se encontraba en el momento anterior al siniestro. La pérdida de beneficios y otros daños indirectos se consideran materia propia de una cobertura voluntaria que debe ser otorgada siempre por el mercado privado.

b) Se consideran daños a los bienes siniestrados, a efectos de esta cobertura, los gastos de salvamento, siempre que no sean desproporcionados al valor de lo salvado, así como los gastos de demolición, desescombro, desbarre y extracción de lodos, con un límite del 4 por ciento de la suma asegurada, y siempre que sean consecuencia de un siniestro garantizado.

Sumas aseguradas, franquicia y plazo de carencia

La protección frente a los riesgos extraordinarios es absolutamente independiente de la de otros riesgos previstos en la póliza, en el sentido de que, cualquiera que sea el tipo o modalidad de la póliza original (incendios, robo, avería de maquinaria, multirisgos, etcétera), la cobertura extraordinaria es siempre idéntica, pues se refiere a los mismos eventos y en las mismas condiciones. No obstante lo anterior, donde sí existe una vinculación con la cobertura ordinaria es en los aspectos relacionados con la extensión cuantitativa de la cobertura, esto es, con la suma asegurada, así como con los bienes garantizados.

En efecto, la cobertura de estos riesgos debe amparar necesariamente a los mismos bienes o personas, y por idéntica suma asegurada que la establecida para los otros riesgos previstos en la póliza de seguro ordinario. E igualmente se aplicarán a esta cobertura las cláusulas de «seguro a primer riesgo» o

«con límite de indemnización» que estén previstas para los riesgos ordinarios. En este aspecto, por tanto, se siguen las condiciones de la cobertura ordinaria.

Ahora bien, la franquicia a deducir de la indemnización en caso de siniestro es independiente de la que pueda aplicarse frente a riesgos ordinarios. Esta franquicia, que se refiere únicamente a los daños en las cosas, es en general de un 10 por 100 de la cuantía del siniestro, aunque para capitales muy altos puede llegar hasta el 15 por 100, no pudiendo exceder del 1 por 100 de la suma asegurada ni ser inferior a 25.000 pesetas (este último límite no es aplicable en caso de daños en vehículos).

Debe reiterarse que la cobertura definida por la Ley tiene la consideración de protección obligatoria mínima, por lo que, si estos riesgos son cubiertos por una Compañía privada, se puede aplicar una franquicia menor, o no aplicar ninguna. Pero si, por no incluirse en la póliza privada, es el Consorcio quien se encarga de la cobertura, entonces tales franquicias serán aplicadas siempre. En este caso, la Compañía emisora de la póliza ordinaria puede, si lo desea, anular su efecto, haciéndose cargo sólo de la franquicia.

De igual modo funcionará el **período de carencia** previsto para estos riesgos. La cobertura comienza a partir de los 30 días siguientes a la fecha de efecto de la póliza. Este período no regirá para las sucesivas renovaciones, vencimientos, prórrogas o sustituciones de póliza, salvo para la parte en que se aumente la cobertura.

Financiación de la cobertura del Consorcio: recargos, provisiones técnicas y garantía del Estado

El patrimonio del Consorcio de Compensación de Seguros es privativo y distinto al del Estado, y el único mecanismo financiador de su actividad aseguradora son sus propias primas y recargos, y, como cualquier otra entidad de seguros, constituye las oportunas Provisiones Técnicas y mantiene un Margen de Solvencia.

Recargos

Para desempeñar sus funciones en la garantía de los riesgos extraordinarios, el Consorcio cobra un recargo (un porcentaje sobre los capitales asegurados) de aplicación obligatoria, y que necesariamente ha de incorporarse en el recibo de toda póliza de seguro de

las modalidades ya mencionadas, tanto si la citada póliza prevé que la cobertura de riesgos extraordinarios la efectúe la Compañía privada, como si la excluye (en cuyo caso se haría cargo de ella el Consorcio).

La justificación de esta obligatoriedad está en los principios de «compensación» y de «solidaridad» que presiden el sistema español, sin cuya aplicación no podría sostenerse la natural antiselección de estos riesgos. En efecto, es evidente que, si sólo se exigiera la aportación del recargo a los riesgos que voluntariamente optasen por estar cubiertos por el Consorcio, sólo aquéllos con un grado apreciable de exposición estarían dispuestos a incorporarse al sistema, lo que lo haría inviable desde el principio.

Estos recargos para el Consorcio son recaudados por las entidades aseguradoras juntamente con sus primas, e ingresados mensualmente en aquél previa retención de una comisión de cobro del 5 por ciento.

Provisiones Técnicas

Aparte de las Provisiones Técnicas habituales en toda entidad aseguradora, el Consorcio, por mandato legal, constituye también una Provisión Técnica de Supersiniestralidad, un auténtico «fondo de catástrofes» que tiene la consideración de partida deducible a efectos de determinar la base imponible del Impuesto sobre Sociedades, y que se dota con la totalidad de los resultados positivos de la actividad aseguradora, hasta un límite establecido reglamentariamente. Como es bien sabido, la constitución de este tipo de reservas para la cobertura de riesgos catastróficos es absolutamente necesaria cualquiera que sea el esquema que se siga, dado el marcado carácter cíclico y la falta de regularidad de los desastres de origen natural. En otras palabras, para eventos con períodos de retorno muy superiores a lo normal, la compensación propia del seguro sólo puede plantearse en espacios de tiempo mucho mayores al año, lo que obliga a la creación y acumulación de fondos suficientemente altos.

Garantía del Estado

Dadas las peculiares características de esta actividad, y el especialmente alto potencial de pérdidas, así como la propia naturaleza pública del Consorcio, es absolutamente necesario que ése cuente con la garantía del Estado. Sin embargo, la constitución y adecuada gestión financiera de sus Provisiones le han permitido hacer siempre frente a la siniestralidad sin haber necesitado hacer uso de dicha garantía en su más de medio siglo de existencia.



Lorea. San Sebastián. (Guipúzcoa).
Inundaciones de 1 de junio de 1997.
(Foto de «El Diario Vasco»).

¿Cómo afronta el Consorcio los especiales requerimientos de esta cobertura?

Una experiencia acumulada de más de cincuenta años ha permitido que el Consorcio disponga en la actualidad de una tecnología de procedimientos y de unos métodos operativos que constituyen un activo de gran valor, permitiéndole hacer frente a la especial problemática que plantea esta actividad con las máximas garantías de eficacia.

Aunque la organización práctica de un sistema de cobertura como el descrito es compleja, sus principios básicos pueden reducirse, como ya se anticipó, a dos: una **alta capacidad financiera** y una **gestión muy especializada** que tenga en cuenta las peculiaridades propias de este tipo de riesgos y sea capaz de responder de forma flexible a los requerimientos derivados de su característica principal: la irregularidad de los eventos, tanto en frecuencia como en intensidad.

En relación con el primer punto, no hace falta insistir en la necesidad de dotar fuertes reservas. Pero sí debe destacarse que, en la concepción del Consorcio, tales reservas no son propiamente «de desviaciones» o de «estabilidad», pues no puede hablarse de desviaciones donde no existen tendencias ni una ley de regularidad estadística. Más bien debe partirse de la idea de que la «compensación» no se efectúa únicamente entre los riesgos, consiguiendo que todos aporten por igual con independencia de su mayor o menor grado de exposición, y garantizando así la protección a todos ellos, sino que también opera una **compensación temporal** que toma en consideración los extensos períodos de retorno de las grandes siniestralidades. No se trata, en definitiva, de compensar desviaciones no esperadas, sino de asumir la certeza de puntas cíclicas de siniestralidad que se presentan de forma aleatoria en el tiempo, y de periodificar la financiación de su coste mediante una prima constante. Bajo esta consideración, los «beneficios técnicos» anuales no son verdaderamente excedentes, sino que tienen la misma función que las «primas de ahorro» en el seguro de vida.

Esta concepción no por obvia deja de ser importante, tanto desde el punto de vista puramente técnico como desde la óptica fiscal, y así se refleja en la regulación del sistema del Consorcio.

Su especial naturaleza jurídica permite al Consorcio seguir en su administración y en su gestión financiera los mismos criterios de eficacia operativa de cualquier organización privada que se desenvuelva en el sector asegurador. El Consorcio, cuya gestión es llevada a cabo por profesionales especializados, cuenta con una estructura racionalizada con base en la descentralización, dimensionando adecuadamente cada una de sus 18 delegaciones regionales. La alta administración de la Entidad está encomendada a un Consejo de Administración, la mitad de cuyos miembros son directivos de las entidades aseguradoras privadas más importantes del mercado español.

La cobertura de los riesgos catastróficos en otros países

Ningún país del mundo se libra del azote catastrófico de algún evento natural, y en algunas zonas del Planeta las consecuencias de huracanes, terremotos, inundaciones, etc. son ciertamente devastadoras. Para hacer frente a las pérdidas originadas por los desastres naturales, muchos países, fundamentalmente en el mundo desarrollado, vienen ensayando -algunos desde hace mucho tiempo- fórmulas de cobertura aseguradora, que paulatinamente se han ido concretando en una variada y heterogénea gama de instrumentos, acordes con específicas circunstancias: riesgos más frecuentes y graves de cada país, estructura y grados de desarrollo económicos, experiencia aseguradora, características culturales, configuración del mercado asegurador, etc.

En no pocos casos, esos instrumentos han adoptado formas de agencias u organismos en los que la participación estatal se hace presente de alguna manera, incluso con un importante protagonismo en determinados países. En este sentido, junto al sistema español anteriormente expuesto, merecen mención especial aquellos sistemas implantados en países tales como Estados Unidos, Nueva Zelanda, Japón, Francia, Dinamarca, Noruega e Islandia². Holanda y Bélgica están también estudiando la implantación de un sistema de cobertura

de catástrofes con participación estatal. Veamos a continuación algunos de los países citados.

Estados Unidos

En este país destaca la figura del Programa Nacional del Seguro de Inundaciones («National Flood Insurance Program»), implantado en 1968 en virtud de la Ley de Seguro de Inundación («National Flood Insurance Act»). El objetivo de este programa nacional es hacer posible la cobertura del riesgo de inundación, tradicionalmente considerado como inasumible por el mercado, incentivando al mismo tiempo a los gobiernos estatales y locales para la regulación de sus territorios y la adopción de políticas de prevención. Este sistema de seguro, de carácter estatal -está subsidiado hasta un 90 por 100 de su coste por el Gobierno federal-, ofrece una cobertura facultativa (no obligatoria) que, aunque de forma individualizada para cada asegurado, únicamente se otorga en un ámbito colectivo. Esto es, la cobertura sólo es posible si el particular solicitante pertenece a una comunidad que participe en el Programa Nacional cumpliendo las condiciones que éste exija en aspectos tales como zonificaciones, códigos de construcción y otras medidas de prevención y mitigación.

Se cubren los daños materiales directos, así como los gastos razonables de protección, desbarre y desescombro, excluyéndose de la garantía la pérdida de beneficios y los daños directos de lluvia, nieve o granizo.

El órgano encargado de la supervisión y control de la aplicación del programa, y el que, en definitiva, asume la función aseguradora, es la «Federal Emergency Management Agency», dependiente del Departamento de Vivienda y Desarrollo Urbano. De ella, a su vez, depende la «Federal Insurance Administration», que se encarga de la administración y gestión directa del programa.

Nueva Zelanda

Con antecedentes que se remontan a los años inmediatamente posteriores a la Segunda Guerra Mundial, la Comisión de Terremoto (EQC), dependiente del Gobierno de Nueva Zelanda y gestionada de forma autónoma por un Consejo de Comisionados, ofrece cobertura únicamente para los daños producidos en propiedades residenciales -esto es, los que el asegurado sufra en su casa, en sus pertenencias personales o en el terreno circundante a su vivienda-, como consecuencia de eventos tales como terremoto, erupción volcánica, actividad hidrotérmica, tsunamis, y desprendimientos del terreno,

² Cfr. MACHETTI, I.; y NAJERA, A.: Riesgos Catastróficos de la Naturaleza. Diversidad de Sistemas de Cobertura en el Mundo. Madrid, Consorcio de Compensación de Seguros, 1994.



Vista aérea de Valdez (Alaska) tras sufrir un tsunami. La ola se produjo localmente durante el terremoto de Alaska de 1964 al deslizarse al mar un enorme bloque de terreno que contenía parte del pueblo. El deslizamiento provocó una enorme ola que a los pocos minutos chocó contra la ribera y penetró en el pueblo hasta dos manzanas, causando 30 muertos. (Foto del Dpto. del Interior de los EE. UU. distribuida por NOAA, Boulder. Co).

así como el incendio consecencial de los citados fenómenos. La cobertura abarca también los daños producidos en el terreno inmediatamente próximo a la vivienda por tormenta e inundación.

La cobertura contra los citados riesgos catastróficos es adquirida automáticamente por el asegurado al contratar, en cualquier compañía del mercado, una póliza de incendios para su vivienda o para el contenido de ésta, pagando por ello un precio de 5 centavos por cada 100 NZ. dólares cubiertos. Con este recargo, que se cobra por las compañías junto con la prima correspondiente, se constituye el Fondo de Desastres, con el cual la EQC debe hacer frente a las reclamaciones por siniestros catastróficos. En el caso de que las necesidades indemnizatorias superaran los recursos del Fondo, la EQC cuenta con la garantía incondicional e ilimitada del Estado.

Como mecanismo de reparto y redistribución de riesgos, la EQC acude al reaseguro internacional, desarrollando un programa que, en el ámbito de las catástrofes naturales, es uno de los más importantes del mundo.

Japón

En Japón se pueden identificar dos sistemas bien diferenciados de cobertura de riesgos catastróficos, que se distinguen tanto en lo que se refiere al seguro directo y al reaseguro como en lo que respecta a la participación del Estado, y que respectivamente afectan a la cobertura del riesgo de terremoto en viviendas y a la cobertura de riesgos distintos a éste.

La cobertura para supuestos de erupción volcánica, inundación, tempestad y granizo, y terremoto en riesgos industriales y otros distintos a vivienda, recae exclusivamente en el ámbito del mercado privado de seguros. Por lo que respecta al riesgo de terremoto en viviendas, su cobertura -de suscripción voluntaria por el asegurado, pero de oferta obligatoria por parte del asegurador- se enmarca en un programa gubernamental que, a raíz del grave seísmo de 1964, se puso en marcha, y que contempla la participación de todas las pólizas en un sistema de reaseguro específico que combina la participación pública y privada, y que goza, a su vez, de una cobertura de reaseguro «excess of loss» que otorga el Gobierno.

Francia

El sistema francés de cobertura de catástrofes naturales, establecido por Ley de 13 de julio de 1982, y que en la práctica funciona en régimen de compensación, armoniza el principio de solidaridad nacional con los mecanismos del mercado de seguros, conjugando la actividad de las compañías con la participación del Estado.

Todo contrato de seguro que garantice contra daños en bienes situados en Francia y en los Departamentos de Ultramar (incluidos daños en vehículos terrestres a motor), y de forma facultativa se suscriba por cualquier persona física o jurídica distinta al Estado en cualquier compañía de seguros, debe incluir obligatoriamente una cláusula-tipo que, a cambio de una sobreprima, da derecho a indemnización, para los daños materiales directos en los bie-

nes contemplados en el contrato (incluida la pérdida de beneficios, en su caso), cuando se produzcan siniestros causados por la intensidad anormal de un agente natural cuyo riesgo no sea asegurable. Estamos hablando fundamentalmente de inundaciones, flujos de barro, seísmos, erupciones volcánicas, movimientos del terreno, subsidencia, maremotos, arroyadas de agua, barro o lava, y masa de hielo o nieve en movimiento. La publicación de un decreto interministerial que declare el estado de catástrofe natural es condición indispensable para tener derecho a indemnización.

El cobro y gestión de la sobreprima (cuya tasa es única e indiferenciada para todas las regiones y para cualquier grado de exposición al riesgo), la gestión de la póliza, la peritación y tramitación de los siniestros, así como el pago de las indemnizaciones que correspondan es tarea que desempeñan los aseguradores pri-

vados, los cuales pueden reasegurar este tipo de riesgos en la Caja Central de Reaseguro (CCR), que, aunque no actúa en régimen de monopolio, es la única que, en reaseguro de catástrofes naturales, cuenta con la garantía ilimitada del Estado.

Aparte de otorgar la citada garantía, el Estado interviene en el sistema haciendo obligatoria la inclusión de la cláusula-tipo; fijando las tasas de sobreprima, de las franquicias, y de los porcentajes de reparto en reaseguro, y declarando el estado de catástrofe natural.

Realizado por la Subdirección de Estudios y Documentación de la Dirección Técnica y de Reaseguro. Consorcio de Compensación de Seguros. Ministerio de Economía y Hacienda.

Resumen de la Parte IV

El fuerte incremento de las catástrofes naturales en la última década ha originado una gran inquietud y preocupación, tanto en el ámbito científico como en los poderes públicos y, desde luego, en el mercado asegurador y reasegurador mundial, que ha visto cómo las pérdidas ocasionadas por eventos naturales desbordaban las previsiones más pesimistas. A raíz de ello cobró vigencia, sobre todo en los países industrializados, un debate —siempre latente, por otra parte— sobre los métodos e instrumentos de cobertura más adecuados a la naturaleza específica de este tipo de riesgos, frente a los que los mercados de seguros y de reaseguros muchas veces carecían de capacidad de respuesta. Evidentemente, la diversidad de sistemas que se han ido adoptando en los distintos países responde a la heterogeneidad de situaciones que en cada uno de ellos se da respecto de los riesgos catastróficos que le afectan, y de las características políticas, económicas y sociales propias. Así, en unos sistemas prima la cobertura privada, y en otros cabe encontrar distintas formas de colaboración entre el mercado y los poderes públicos. Dinamarca, Estados Unidos, Francia, Islandia, Japón, Noruega, Nueva Zelanda, son países en que, como en España, la participación pública en la cobertura de alguno o algunos riesgos catastróficos es significativa.

El sistema español es uno de los que cuentan con mayor tradición y con un ámbito de aplicación más amplio, y la experiencia ha sido y continúa siendo muy satisfactoria, por lo que los fundamentos de su esquema, contenidos en este capítulo, pueden ser dignos de consideración para quien estudie las distintas alternativas posibles de cobertura de los riesgos catastróficos.

Apéndice A

Dónde obtener asistencia técnica de los Geólogos

Los apéndices incluidos a continuación, están diseñados para ayudar a los usuarios de este libro a la hora de evaluar la presencia de algún riesgo en su propiedad y para tomar las medidas adecuadas para minimizar tales peligros y las eventuales pérdidas. La prevención de pérdidas probablemente implicará la obtención de los correspondientes seguros (Parte IV, pp.168 y Apéndice B, pp.193).

Si lo que pretende es conseguir ayuda a título individual, un primer paso sería acceder a fuentes educativas o de información general mediante llamada telefónica o por carta a su servicio geológico autonómico o al nacional (ver pp. 184-186). Solicite el catálogo de publicaciones y los procedimientos administrativos para solicitar de estos organismos respuestas a peticiones del público.

Servicio Geológico Estatal

En España, el **Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE)**, encuadrado dentro del Ministerio de Medio Ambiente, dispone de un amplio catálogo de textos referentes a los riesgos geológicos en nuestro país. Todo ciudadano debe conocer esta extraordinaria institución y sus amplios servicios. El ITGE dispone de una de las mejores bibliotecas especializadas en geología, medio ambiente, aguas subterráneas y recursos minerales. El Centro de Documentación de este organismo pone a disposición del público un enorme compendio de estudios inéditos realizados en España sobre multitud de temas relacionados con el medio ambiente y los recursos naturales. El servicio de publicaciones del ITGE tiene a la venta un gran número de publicaciones relativas a los riesgos geológicos, su evaluación y la cuantificación de su peligrosidad, la cartografía geológica, la investigación geológico-minera, las aguas subterráneas y el medio ambiente, así como manuales técnicos y guías metodológicas en dichos campos. El catálogo de publicaciones del ITGE, disponible en su sede central y sus oficinas territoriales, incluye todos los títulos publicados hasta la fecha ordenados por temas. Para recibirlo, se puede solicitar al Servicio de Publicaciones. ITGE, Ríos Rosas 23, 28003 Madrid.

Los geólogos que trabajan en el ITGE son especialistas altamente cualificados (muchos son doctores en geología) y proporcionan un importante servicio público mediante la realización de proyectos de investigación, mapas y publicaciones con fines de investigación básica o asistencia técnica a las administraciones, empresas y particulares.

El ITGE dispone de una red de oficinas territoriales en la mayor parte del país, donde podrán informarle ampliamente de la documentación disponible sobre su zona en concreto. A continuación se incluyen los puntos de contacto de ITGE y sus oficinas territoriales:

**Instituto Tecnológico Geominero de España
(ITGE)**
Oficinas Centrales
Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid.
Tel.: (91) 3495770 - Fax: (91) 4426216

Laboratorio Central del ITGE
C/ Calera, s/n
Tres Cantos.
Madrid
Tel.: (91) 8032200 - Fax: (91) 8036200

Comunidad Autónoma de Andalucía

Almería

C/ Real 115, 3.ªA
04002 Almería
Tel.: (950) 251166 - Fax: (925) 251984

Córdoba, Peñarroya

Carretera de Badajoz a Granada km 192
14200 Peñarroya
Tel.: (957) 560225 - Fax: (957) 560225

Granada

C/ Neptuno 1 5.º izq.
18002 Granada
Tel.: (958) 256254 - Fax: (958) 521294

Sevilla

Plaza de España Torre Norte.
Delegación General de Gobierno
41013 Sevilla
Tel.: (95) 4236611 - Fax: (95) 4236737

Comunidad Autónoma de Canarias

Las Palmas de Gran Canaria

C/ Francisco Gourie, 65, 3.º
35002 Las Palmas
Tel.: (928) 366575 - Fax: (928) 362024

Comunidad Autónoma de Castilla y León

Salamanca

C/ Monroy, 35 entrepl.
37002 Salamanca
Tel.: (923) 265009 - Fax: (923) 265066

León

C/ República Argentina, 3.º 1.ª dcha.
24004 León
Tel (987) 262171

Comunidad Autónoma de Aragón

Zaragoza

C/ Fernando El Católico 59
50006 Zaragoza
Tel.: (976) 555153 - Fax: (976) 553358

Comunidad Autónoma de Galicia

Santiago de Compostela

C/ Cardenal Payá, 18 1.º
15703 Santiago de Compostela
Tel.: (981) 562285 - Fax: (981) 572039

Comunidad Autónoma de Asturias

Oviedo

Plaza de España, 6. Delegación de Gobierno
33007 Oviedo
Tel.: (98) 5258611 - Fax: (98) 5276767

Comunidad Autónoma de Murcia

Murcia

Avda. Alfonso X El Sabio, 6
30008 Murcia
Tel.: (968) 245012 - Fax: (968) 245000

Comunidad Autónoma de Baleares

Palma de Mallorca

Ciudad de Querretaro, s/n
07007 Palma de Mallorca
Tel.: (971) 467020- Fax: (971) 467156

Comunidad Autónoma Valenciana

Valencia

C/ Cirilo Amorox, 42 entrepl.
46004 Valencia
Tel.: (96) 3948474 - Fax: (96) 3994436

Si usted es un propietario o un comprador que desea asesorarse sobre los posibles riesgos geológicos que aparecen en un determinado lugar, comience por repasar la lista incluida a continuación. Marque con una cruz aquellos riesgos que sepa que no son aplicables a su propiedad. En la mayoría de los casos, lo más probable es sólo sea aplicable un único riesgo a un lugar determinado. Si tiene usted clases de riesgos en las que ha contestado "sí" o "desconocido", utilice estos apéndices para localizar la asistencia técnica correspondiente en su región.

LISTA DE COMPROBACIÓN DE POSIBLES RIESGOS GEOLÓGICOS PARA PROPIETARIOS O COMPRADORES DE VIVIENDAS

Tipo de Riesgo	¿Hay posibilidad de peligro?	¿Se ha estimado el nivel de peligro?	¿Hay cobertura por seguro?
SUELOS EXPANSIVOS			
DRENAJE ÁCIDO			
ASBESTOS			
RADÓN			
OTROS GASES			
TERREMOTOS			
VOLCANES			
DESLIZAMIENTOS Y ALUDES			
SUBSIDENCIA			
INUNDACIONES			
ONDAS DE TORMENTA			
TSUNAMIS			
EROSIÓN COSTERA			

Lo primero que hay que hacer después de rellenar la tabla anterior sería completar la información disponible sobre la situación geológica de la casa o propiedad en cuestión. Para ello se debe contactar con el ITGE o el Servicio Geológico Autonómico si existe. El mejor sistema es ponerse en comunicación con el Servicio de Publicaciones y proporcionarle la localización de su propiedad marcada sobre el mapa topográfico a escala 1:50 000. El servicio le indicará que mapas geológicos de la zona de su propiedad pueden adquirirse o consultarse en el organismo. Los mapas y publicaciones deben adquirirse pero los costes son muy razonables.

El Servicio Estatal o Autonómico se encargará de proporcionarle la información accesible al público de que disponga. Hay que recordar que los geólogos están todavía realizando cartografía geológica y compilando datos, por lo que no todo lo que se desea está disponible. Además los datos procedentes de los Servicios Geológicos suelen tener una escala general y normalmente no pueden aplicarse a un lugar concreto directamente sin asesoramiento profesional. Para los estudios de detalle es imprescindible ponerse en contacto con un geólogo colegiado para que lleve a cabo una investigación específica in situ.

Si se precisa un geólogo consultor lo ideal es ponerse en contacto con el **Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de España (ICOG)** en su sede social de la Avenida de Reina Victoria n.º 8 4.º B 28003 Madrid. El ICOG es la organización que ha publicado la versión española de este libro. También es una extraordinaria referencia a la hora de localizar posibles consultores en cualquiera de las especialidades de la Geología. El ICOG ha publicado recientemente un Anuario Profesional que recoge la lista de los geólogos colegiados por especialidades y áreas geográficas. Todos los licenciados en Geología que desean ejercer la profesión de geólogo legalmente deberán estar colegiados en el ICOG. Los geólogos del ICOG que hayan obtenido el título de Geólogo Europeo a través de la Federación Europea de Geólogos habrán pasado un doble control, nacional y europeo de su formación académica y su experiencia profesional. La mayoría de los colegiados, en función de su experiencia profesional, pueden actuar como peritos judiciales. Hay algunos licenciados en Geología que podrían estar técnicamente cualificados para ejercer como geólogos, pero que no están colegiados, lo que les inhabilita legalmente al ejercicio de la profesión, además de impedirles firmar proyectos de investigación minera, geotécnica, aguas subterráneas etc. para su presentación ante las autoridades competentes, previo visado colegial. Cuando vaya a con-

tratar a un geólogo, asegúrese de que éste está colegiado en el ICOG; de esta manera tendrá plena garantía de que la organización colegial respalda su ejercicio profesional. Además y desafortunadamente existe también un reducido número de individuos sin ningún grado o cualificación en geología y que practican el intrusismo profesional a los que nunca se les pueden llamar geólogos. Por ley estatal, sólo son geólogos los colegiados en el ICOG. Si tiene alguna duda sobre el profesional que va Ud a contratar, póngase en contacto con el ICOG que le indicará si dicha persona está o no colegiada y cuál es su campo de experiencia profesional. De este modo se puede evitar que personal incompetente o con falsas referencias o credenciales proporcionen asistencia técnica falsa al público en general, evitándose así el ejercicio ilegal de este tipo de charlatanes.

Servicios Geológicos Autonómicos

En España sólo Cataluña dispone de un Servicio Geológico de carácter regional. En el País Vasco, Navarra y Aragón, existen pequeños servicios o secciones de organismos administrativos que realizan las funciones que se consideran usuales de un Servicio Geológico, como cartografía geológica a escalas mayores que la estatal del Plan Magna (1:50 000), cartografías e inventarios mineros, publicaciones divulgativas y otros trabajos de índole local. Sus geólogos son normalmente personas altamente cualificadas con una formación y experiencia comparable a los del ITGE. En su ámbito de competencia sus trabajos están relacionados con los gobiernos autónomos de los que dependen. Son perfectamente capaces de resolver las solicitudes de particulares y empresas y pueden proporcionar información por correo o por teléfono, proporcionar mapas y publicaciones y, en casos urgentes, asistencia técnica in situ. Los lectores de este libro quedarán gratamente sorprendidos si se ponen en contacto con su servicio geológico autonómico solicitando una lista de publicaciones o información sobre los servicios que proporcionan. En muchas ocasiones los servicios tienen un pequeño coste o son gratuitos. A continuación se hace un breve resumen de los principales organismos geológicos de las autonomías a los que se puede dirigir el lector:

COMUNIDAD AUTÓNOMA DE CATALUÑA

Generalitat de Catalunya

Instituto Cartográfico de Cataluña. Servicio Geológico de Cataluña

Parque de Monjuïc s/n

08038 Barcelona

Tel.: (93) 4252900 - Fax: (93) 4267442

Creado por decreto de 10 de Octubre de 1979.

Funciones: estudio y evaluación del suelo y el subsuelo en los aspectos geotécnicos y geológicos; estudio gestión y administración de los aspectos geotécnicos y geológicos de las obras públicas e infraestructuras; promoción y planificación de la investigación geológica; realización de la cartografía geológica de Cataluña; coordinación entre las entidades geológicas de Cataluña y los diversos servicios de la Generalitat que trabajen sobre estos temas; elaboración de trabajos e informes para los diversos departamentos, organismos y entidades de la administración y del sector privado que lo soliciten; la promoción y la gestión de las actividades geológicas en Cataluña en general.

Dispone de una Sección de Geología y Recursos, otra de Geotécnica y otra de Geofísica.

Áreas de trabajos más importantes:

- Mapa geológico de Cataluña escala 1:25 000 y 1:10 000.
- Recogida y evaluación de datos de sismicidad. Red de control sísmico.
- Determinación de zonas sísmicas y resolución de problemas de ingeniería sísmica.

- Prospección de recursos y obra civil.
- Banco de datos hidrogeológicos de Cataluña.
- Redes de control de acuíferos.
- Prospección y evaluación de materiales para la construcción. Banco de datos de recursos pétreos de Cataluña.
- Evaluación de riesgos de aludes.
- Geotécnia.
- Geología Ambiental.
- Sistemas de Información Geográfica.
- Informes y Publicaciones.

COMUNIDAD AUTÓNOMA DEL PAÍS VASCO

Ente Vasco de la Energía
División de Planificación Investigación y Recursos
Edificio Avia, n.º 1 Planta 14
48001 Bilbao
Tel.: 94 4355600 - Fax: 94 4249733

Creada por Ley 9/1982 de 24 de Noviembre que crea el Ente Vasco de la Energía.

La División de Planificación, Investigación y Recursos engloba las áreas de Recursos Mineros y Recursos Hidrogeológicos..

Los objetivos del Área de Recursos Mineros son:

- Desarrollar y fomentar la investigación y el aprovechamiento de los recursos mineros presentes en la Comunidad Autónoma de País Vasco.
- Dotar a la Comunidad de una adecuada infraestructura cartográfica de carácter geológico.

Para alcanzar el primer objetivo se realizan trabajos de investigación minera que tienen por objeto descubrir y aprovechar nuevos puntos de suministro para cualquiera de los recursos mineros potencialmente explotables en la Comunidad. La mayor parte de los trabajos de investigación realizados actualmente son proyectos Conjuntos que se desarrollan en colaboración con empresas mineras privadas, tanto en el ámbito nacional como internacional. También se están acometiendo proyectos de investigación minera de rocas y minerales industriales que posteriormente se ofrecen a la iniciativa privada para su ulterior desarrollo de manera conjunta con el FVE.

El segundo objetivo se alcanzó en el período 1984-91 con la realización de la cartografía geológica de la Comunidad a escala 1:25 000, hoy totalmente publicada y disponible al público en librerías especializadas. Actualmente se está transfiriendo la información de dichos mapas a un SIG con objeto de que estén disponibles para el público en formato digital a partir de 1998.

Otros mapas geológicos publicados o en vías de publicación son mapas geológicos de la Comunidad a escalas 1:200 000 y 1:100 000 y Mapa Metalogenético del País Vasco a escala 1:100 000.

El Área de Recursos Hídricos dedica sus esfuerzos a la evaluación de recursos y a la potenciación de su aprovechamiento bajo diversas fórmulas ejecutando labores de: Planificación, creación de infraestructuras hidráulicas, potenciación del aprovechamiento de recursos renovables en usos energéticos, promoción de aprovechamientos industriales, asistencia técnica y difusión. Hasta la fecha ha publicado el Mapa Hidrogeológico del País Vasco a escala 1:100 000.

COMUNIDAD AUTÓNOMA DE NAVARRA

Gobierno de Navarra
Consejería de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones.
Sección de Geología y Geotecnia
Avenida San Ignacio, 3 5.ª Planta
31002 Pamplona
Tel.: 948 427430 - Fax: 948 427549

Creada por Decreto Foral 437/1992 de 28 de Diciembre, en que se establece la estructura orgánica del Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones.

Funciones: planificación, gestión y desarrollo de estudios y obras referidos a la Geología, la Geotécnia, las bases de datos físicos del terreno y cualquier otro tipo de actuación administrativa relacionada con estas materias

COMUNIDAD AUTÓNOMA DE ARAGÓN

Diputación General de Aragón
Departamento de Industria Comercio y Turismo
Servicio de Minas e Investigación Minera
P.º M.º Agustín, 36 (Edificio Pignatelli)
50004 Zaragoza
Tel.: (976) 714726 - Fax: (976) 714759

Creado por Decreto 95/1989 de 19 de Julio de la Diputación General de Aragón, por la que se modifica el organigrama del Departamento de Industria Comercio y Turismo, como Servicio de Investigación Minera y encuadrado dentro de la Dirección General de Industria, Energía y Minas. Posteriormente pasó a denominarse Servicio de Minas e Investigación Minera.

Funciones: Estudio del suelo y subsuelo, en cuanto sea necesario para el conocimiento y desarrollo de la geología, minería, hidrogeología y geotécnia; formulación de planes, programas y proyectos de reconocimiento e investigación de las materias citadas; promoción de actividades técnico-empresariales que en cada caso se consideren precisas para la consecución de las fines fijados; desarrollo de la cartografía metalogenética y cualquiera otra que el desarrollo tecnológico requiera y sea útil al aprovechamiento de los recursos minerales de la Comunidad Autónoma de Aragón; la realización de las actividades relacionadas con la aplicación de la Geología a la ordenación del territorial y protección del medio ambiente.

Organizaciones Profesionales y Científicas

Para los profesionales, en especial aquellos que trabajen en la planificación territorial y en el Gobierno, hay organizaciones profesionales y científicas relacionadas con la investigación y disminución de los riesgos geológicos a las que podría ser interesante pertenecer o con las que es posible ponerse en contacto para solicitar información o consejo. A continuación se incluyen algunas de las más importantes.

ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS DE ESPAÑA

SEDE CENTRAL: Avenida de Reina Victoria, 8, 4.º B. 28003 Madrid. Tfno.: (91) 553 24 03 - Fax: (91) 533 03 43. Correo electrónico: icog@icog.es. Página Web: <http://www.icog.es>
De Lunes a Viernes, de 9:00 a 14:00 horas y de 16:00 a 19:00 horas. Del 1 de Junio al 1 de Octubre de 8:00 a 15:00 horas.

DELEGACIÓN DE ANDALUCÍA: C/ Brasil, 1. Local 2. 41013 Sevilla. Tfno.: (95) 424 00 68 - Fax: (95) 424 03 84 .
De Lunes a Viernes, de 9:30 a 13:30 horas.

DELEGACIÓN DE ASTURIAS: C/ Pérez de Ayala, 3. 33007 Oviedo. Tfno.: (98) 527 04 27 - Fax: (98) 527 04 27.
De Lunes a Viernes de 17:00 a 19:00 horas.

DELEGACIÓN DE ARAGÓN: Paseo Fernando El Católico, 37, 3.º 1.º. 50006 Zaragoza Tfno.: (976) 56 91 37 - Fax: (976) 56 91 37.
Lunes, Martes y Jueves de 10:00 a 13:00 horas y Viernes de 16:30 a 19:30 horas.

El Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de España, es una institución sin finalidad lucrativa creada para la defensa y apoyo de la actividad profesional de los Geólogos, creada por Ley 73/1978 de 26 de Diciembre, como una Corporación de Derecho Público, amparada por Ley y reconocida por el Estado, con personalidad jurídica propia y capacidad plena para el ejercicio de sus funciones y cumplimiento de sus fines.

Los fines esenciales del Colegio son la ordenación, en el ámbito de su competencia, de la actividad o ejercicio de la profesión de Geólogo y la representación exclusiva y defensa de los intereses de la misma (Art. 4). Otros fines específicos son el fomento de la solidaridad entre los Geólogos, la gestión, a todos los niveles del aumento cualitativo y cuantitativo de puestos de trabajo, así como evitar la competencia ilícita y el intrusismo en el campo de actividad de los Geólogos (Art. 5).

Son funciones del Colegio, entre otras:

- Servir con normas propias a los intereses de la colectividad.
- Representar y defender la profesión ante la Administración, Instituciones, Tribunales y particulares.
- Promover la dignificación social y económica de los colegiados, procurando la formación integral y el perfeccionamiento continuado de los mismos, ordenando el ejercicio de la profesión, de acuerdo con la ética y deontología profesional.
- Organizar actividades y servicios de interés colegial, sean de carácter profesional, formativo, cultural, asistencial, de previsión y otros análogos.
- Asesorar y defender a los colegiados, en el ejercicio de los derechos profesionales en sus relaciones con la Administración y las Empresas.
- Adoptar las medidas conducentes a evitar el intrusismo profesional, denunciando y persiguiendo ante la Administración y Tribunales de Justicia los casos conocidos por la Junta de Gobierno.
- Informar los proyectos de Ley y disposiciones legales que se refieran a funciones profesionales y ámbito de actuación del Geólogo.
- Participar en la elaboración de los Planes de Estudios de las distintas Facultades en relación con la profesión.
- Fijar y actualizar las tarifas de honorarios profesionales orientativos.
- Visar los trabajos profesionales de los colegiados, según lo que se establezca en el Reglamento.

El ICOG proporciona a sus colegiados los siguientes servicios básicos:

- Bolsa de Empleo
- Representación Institucional (Unión Profesional y Otros colegios Profesionales, FEG, etc)
- Actividades Culturales
 - GEOFORO
 - Exposiciones
 - Concursos fotográficos
- Hojas oficiales de encargo
- Honorarios profesionales orientativos
- Asesoría Jurídica
- Seguros
- Visado de estudios y proyectos
- Plan de Pensiones
- Fondos de Inversión de AB Ascensores
- Cursos de Formación
- Productos bancarios
- Visa-Geólogo

PUBLICACIONES

– *Tierra y Tecnología*

Revista de actualidad e información geológica, que se distribuye gratuitamente a todos los colegiados, organismos con competencia geológica, así como instituciones y empresas privadas relacionadas con las Ciencias de la Tierra y el Medio Ambiente. La revista es de periodicidad trimestral.

– *El Geólogo*

Publicación profesional dirigida a los colegiados que refleja las noticias del colegio y de la comunidad geológica. Incluye también las últimas ofertas de empleo, concursos de obra adjudicados y las novedades más relevantes de los sectores económicos importantes para la geología nacional e internacional.

– *El Geólogo Electrónico*

Publicación en la red Internet (<http://www.icog.es/geologo>) con los contenidos ampliados de «El Geólogo» así como nuevas secciones como «Geólogos en la red» o «Los dossieres».

– *Áridos. «Áridos naturales y de machaqueo para la construcción. Edición española. 1994»*

Documentado manual para la localización, muestreo y ensayos de áridos.

– *GEA-CD I y II*

Recopilación de shareware de geología en soporte CD-ROM.

– *Innovaciones y avances en el sector de rocas y minerales industriales. M.Regueiro y M.Lombardero.*

Aborda de un modo selectivo aquellas rocas y minerales industriales que incorporan innovaciones recientes procedentes de I+D, tanto en explotación, como en manufactura o usos finales. Nuevos materiales, restauración de explotaciones, cogeneración, posicionamiento GPS y un largo etcétera son tratados de modo singular en este libro, cuya lectura resulta fácil, a la vez que sugerente, para todos los que desde diferentes puntos de vista están dedicados a las rocas y minerales industriales.

FEDERACIÓN EUROPEA DE GEÓLOGOS

SEDE SOCIAL: «Maison de la Géologie», 77-79 Rue Calude-Bernard, F-75005, Paris (Francia).
Tel.: 07 33 1 47 079195- Fax: 07 33 1 47 0791 93. Correo electrónico: efg@hol.fr Página Web: <http://efg.gsf.fr>

Apéndice A - Dónde obtener asistencia técnica de los Geólogos

La idea de una organización europea de geólogos profesionales, que coordinara las acciones conjuntas y disciplinara normas y políticas comunes, generó la primera reunión del Comité de Geólogos de la Comunidad Europea, celebrada en Burlington House (Londres), en julio de 1978, en la cual se fundó la Federación Europea de Geólogos. La FEG se constituyó en París en 1980 durante el 26 Congreso Internacional de Geología y sus estatutos presentados ese año ante la Comunidad Económica Europea en Bruselas. La Federación Europea de Geólogos representa en 1997 a alrededor de 75 000 geólogos en Europa e integra a 21 organizaciones de 17 países. La FEG está compuesta por las Asociaciones Profesionales de Alemania (BDG), Bélgica y Luxemburgo (UBLG), Dinamarca (DGF), Finlandia (FUEO), Francia (UFG), Grecia (AGG), Eslovaquia (SAIG, AGS, SAG, SALG), Hungría (HGS), Irlanda (IAEG), Italia (ANGI y CNG), Holanda (KNGMG), Polonia (PTG), Portugal (APG), España (AGE, ICOG), Suecia (SN) y Reino Unido (GS). Entre los países observadores se encuentran Bulgaria (AIEG), Chequia (CAEG) y Suiza (SFIG, GSGI, SGE) y se mantienen estrechas relaciones con las asociaciones profesionales de Estados Unidos (AIPG), Argentina (CPCG), Australia, Brasil, Canadá y Kenia.

Las lenguas oficiales de la F.E.G. son: Español, Francés e Inglés.

Sus **objetivos estatutarios** son los siguientes:

- La representación de la profesión de geólogo en Europa. Únicamente el Comité de Geólogos de la Comunidad Europea tendrá facultades para representar ante la U.E. y sus diversos organismos.
- La salvaguarda y la promoción de los intereses de la profesión en Europa, incluyendo la libertad de movimientos y la armonización de la formación y la enseñanza.
- El desarrollo y mantenimiento de un código deontológico común.
- La promoción de una política geológica europea con respecto al uso responsable de los recursos naturales y en los nuevos campos de la geología aplicada: ingeniería geológica, riesgos y medio ambiente.

TÍTULO DE EUROGEOLOGO (EurGeol)

El título es otorgado por la Federación Europea de Geólogos a los miembros de las asociaciones nacionales que han alcanzado un elevado nivel de formación y experiencia profesional y es reconocido por todas las asociaciones nacionales participantes en la Federación. Pretende ser una garantía de calidad profesional a nivel europeo, pues para obtenerlo es preciso pasar un doble control: un comité de selección nacional y otro internacional. Los que obtengan este título, pasarán a formar parte del registro de Geólogos Europeos de la FEG y aparecerán en el **Directorio de Geólogos Europeos** publicado periódicamente por la FEG. El título sirve además para el intercambio de servicios entre asociaciones, de tal manera que los Eurogeólogos pueden utilizar los medios y servicios de cualquier asociación nacional integrada en la FEG cuando se encuentren trabajando en cualquier país europeo.

PUBLICACIONES

La FEG publica la revista *European Geologists*, de carácter semestral que incluye artículos de fondo sobre temas geológicos, así como temas profesionales y científicos muy variados. La revista es la voz de la FEG en Europa y tiene una tirada de 10 000 ejemplares. Para solicitar información de esta publicación hay que ponerse en contacto con la sede central de la FEG en París, o con las oficinas del ICOG.

La FEG también publica un boletín de noticias de las Asociaciones miembros denominado *Eurogeopages*, que incluye informes sobre sus países miembros, los grupos de trabajo de la FEG y otros organismos afines. El texto completo se puede consultar a través del Internet en: <http://hyritys.kolumbus.filykl>. Otras publicaciones son el boletín Fines y Servicios y un folleto promocional para dar a conocer a la FEG y sus actividades.

OTRAS ORGANIZACIONES CIENTÍFICAS Y PROFESIONALES

ASOCIACIÓN DE GEÓLOGOS ESPAÑOLES

Avda. Reina Victoria, 8, 4.º B
28003 Madrid.
Tel.: (91) 55324 03 - Fax: (91) 5330343

**ASOCIACIÓN DE GEÓLOGOS Y GEOFÍSICOS
ESPAÑOLES DEL PETROLEO**

C/ José Gutiérrez Abascal, 2
28006 Madrid.
Tel.: (91) 3489731 - Fax: (91) 3487120

**ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE HIDROLOGÍA
SUBTERRÁNEA**

Reina Victoria, 8, 4.º B
28003 Madrid
Tel.: (91) 5532403 - Fax: (91) 5330343

CÁTEDRA DE FÍSICA MÉDICA

Facultad de Medicina. Universidad de Cantabria.
39011 Santander

**CENTRO DE CIENCIAS
MEDIOAMBIENTALES**

C/ Serrano 115 bis
28003 Madrid
Tel.: (91) 5625020

**CIEMAT. INSTITUTO DE
MEDIO AMBIENTE**

Avda. Complutense, 22
28040 Madrid
Tel.: (91) 3460000 - Fax: (91) 3466121

CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

C/ Justo Dorado, 11
28040 Madrid
Tel.: (91) 3460200 - Fax: (91) 3460588

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA NUCLEAR

Universidad de Oviedo
33004 Oviedo

**DEPARTAMENTO DE MEDICINA
PREVENTIVA**

Facultad de Medicina. Universidad de Santiago
15705 Santiago de Compostela. La Coruña

EMGRISA

C/ Juan Bravo 3 B 2º
28006 Madrid
Tel.: (91) 5780972 - Fax: (91) 5783445

ENRESA

C/ Emilio Vargas, 7
28043 Madrid
Tel.: (91) 5668100 - Fax: (91) 5668169

ENUSA, S. A.

C/ Santiago Rusiñol, 12
28040 - Madrid
Tel.: (91) 3474488 - Fax: (91) 3474215

GRUPO DE FÍSICA DE LAS RADIACIONES

Universidad Autónoma de Barcelona
08193 Bellaterra. Barcelona

INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA

«Jaime Almera»
C/ Lluís Solé Sabaris, s/n
08028 Barcelona.
Tel.: (93) 3302716 - Fax: (93) 4110012
[www:http://pangca.ija.csic.es/ija.html](http://pangca.ija.csic.es/ija.html)

INSTITUTO DE FÍSICA CORPUSCULAR

Universidad de Valencia
46100 Burjassot. Valencia

INSTITUTO DE GEOLOGÍA ECONÓMICA

Facultad de Ciencias Geológicas
Universidad Complutense
28040 Madrid.
Tel.: (91) 3944813 - Fax: (91) 3944808

INSTITUTO DE SALUD CARLOS III

Carretera de Majadahonda-Pozuelo Km. 2
28220 Madrid

INSTITUTO DE TÉCNICAS ENERGÉTICAS

Universidad Politécnica de Cataluña
08028 Barcelona

**INSTITUTO PARA EL DESARROLLO URBANO
Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO (INDUROT)**

Escuela Superior de Ingenieros de Minas de Oviedo
Independencia, 13
33004 Oviedo

JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN

**CONSEJERÍA DE FOMENTO
SERVICIO DE TECNOLOGÍA**

**Y CONTROL DE CALIDAD. CENTRO
REGIONAL DE CONTROL DE CALIDAD**

C/ Vázquez de Menchaca 113 C
47008 Valladolid
Tel.: (983) 231034 - Fax: (983) 479603

PROTECCION CIVIL

C/ Quintiliano, 21
28002 Madrid
Tel.: (91) 5373100 - Fax: (91) 5628926

SIEMCALSA

C/ Inca, 5
Urbanización Valparaíso
47008 Valladolid
Tel.: (983) 475554 - Fax: (983) 478063

**SOCIEDAD GEOLÓGICA
DE ESPAÑA**

Fundación Gómez Pardo
C/ Alenza, 1
28003 Madrid.
Tel.: (91) 3944817 - Fax: (91) 3944818

**SOCIEDAD ESPAÑOLA DE GEOLOGÍA
AMBIENTAL Y ORDENACIÓN DEL
TERRITORIO**

Museo de Ciencias Naturales
C/ José Gutiérrez Abascal, 2
28006 Madrid
Tel.: (91) 5803896

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BARCELONA
FACULTAD DE CIENCIAS. SECCION DE
GEOLOGICAS**

Bellaterra
08193 Barcelona
Tel.: (93) 5811467

**UNIVERSIDAD CENTRAL DE BARCELONA
FACULTAD DE CIENCIAS GEOLOGICAS.**

C/ Martí y Franquez s/n
08028 Barcelona
Tel.: (93) 4021336 - Fax: (93) 4021291

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE CIENCIAS GEOLOGICAS.**

Avda. Ciudad Universitaria s/n
28040 Madrid
Tel.: (91) 3944809 - Fax: (91) 5439162

**UNIVERSIDAD DE GRANADA
FACULTAD DE CIENCIAS. SECCION DE
GEOLOGICAS**

C/ Severo Ochoa s/n
18071 Granada
Tel.: (958) 243000 - Fax: (958) 274258

**UNIVERSIDAD DE HUELVA
FACULTAD DE CIENCIAS
EXPERIMENTALES. SECCION DE
GEOLOGICAS**

La Rábida
21819 Palos de la Frontera (Huelva)
Tel.: (959) 351304 - Fax: (959) 530175

**UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA
(TENERIFE)**

**FACULTAD DE BIOLOGIA.
UDI DE GEOLOGIA**
Avda. Astrofísico Francisco Sánchez, s/n
38206 La Laguna (Tenerife)
Tel.: (922) 603742 - Fax: (922) 253344

**UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS
DE GRAN CANARIA. FACULTAD DE
CIENCIAS DEL MAR.**

**DEPARTAMENTO DE
FISICA-GEOLOGIA.**
Campus Universitario de Tafira
35017 Las Palmas de Gran Canaria
Tel.: (928) 452900 - Fax: (928) 452922

**UNIVERSIDAD DE OVIEDO
FACULTAD DE CIENCIAS GEOLOGICAS.**

C/ Jesús Arias de Velasco s/n
33005 Oviedo
Tel.: (98) 5103085 - Fax: (98) 5103087

**UNIVERSIDAD DEL PAIS VASCO
FACULTAD DE CIENCIAS. SECCION DE
CIENCIAS GEOLOGICAS**

Apartado 644
48080 Bilbao
Tel.: (94) 4647700 - Fax: (94) 4648500

**UNIVERSIDAD DE SALAMANCA
FACULTAD DE CIENCIAS. SECCION DE
CIENCIAS GEOLOGICAS**

Plaza de la Merced s/n
37008 Salamanca
Tel.: (923) 294450 - Fax: (923) 294514

**UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA
FACULTAD DE CIENCIAS. SECCION DE
CIENCIAS GEOLOGICAS**

Campus Universitario
C/ D. Pedro Cerbuna, 12
50009 Zaragoza
Tel.: (976) 761000 - Fax: (976) 761088

Apéndice B

Dónde obtener la ayuda de las organizaciones aseguradoras

La falta general de conocimientos geológicos implica problemas para los ciudadanos, especialmente si el agente de seguros de la zona no se encuentra familiarizado con los riesgos geológicos locales. Los autores de este libro han experimentado de primera mano la dificultad en encontrar información sobre las posibles coberturas disponibles para los diferentes riesgos geológicos por parte de los aseguradores y mediadores locales. Los agentes de seguros que hayan leído este libro podrán proporcionar a los propietarios una ayuda más eficaz y una información mucho más completa.

No obstante, el lector debe dirigirse a los organismos y organizaciones aseguradoras más importantes para informarse de una manera más precisa sobre los problemas relacionados con los seguros y los riesgos geológicos. Tal y como se detalla en la Parte IV de este libro, la mayor parte de los riesgos catastróficos en España quedan bajo la cobertura aseguradora del Consorcio de Compensación de Seguros.

Para realizar cualquier consulta relativa al seguro de los riesgos catastróficos en España, los interesados pueden dirigirse al **Consorcio de Compensación de Seguros** en sus Servicios Centrales que se encuentran en:

C/ Serrano, nº 69. 28006 Madrid. Tfno.: (91) 339 55 00 - Fax: (91) 339 55 78.

Las Delegaciones Regionales del Consorcio son las siguientes:

ANDALUCÍA OCCIDENTAL (SEVILLA, CÓRDOBA, CÁDIZ y HUELVA) y CEUTA:

Luis Montoto, 107
41007 SEVILLA
Tel.: (95) 457 43 53

ANDALUCÍA ORIENTAL (MÁLAGA, GRANADA, ALMERÍA y JAÉN) y MELILLA:

San Lorenzo, 12
9001 MÁLAGA
Tel.: (95) 222 32 12

ARAGON:

Pza. de Aragón, 4
50004 ZARAGOZA
Tel.: (976) 22 95 57

ASTURIAS:

Caveda 14
33002 OVIEDO
Tel.: (98) 521 92 36

BALEARES:

San Migucl, 68 A
07002 PALMA DE MALLORCA
Tel.: (971) 72 7151

CANTABRIA:

Pasaje de Pepa, 2
39008 SANTANDER
Tel.: (942) 22 80 39

CASTILLA y LEÓN:

Pza. Juan de Austria, 6
47004 VALLADOLID
Tel.: (983) 27 20 08

CASTILLA-LA MANCHA y EXTREMADURA:

Montesa, 1
15001 CIUDAD REAL
Tel.: (926) 23 13 86

CATALUÑA:

Mallorca, 214
08008 BARCELONA
Tel.: (93) 451 66 18

COMUNIDAD VALENCIANA:

Pza Tetuán, 10
46003 VALENCIA
Tel.: (96) 392 25 20

GALICIA:

Comandante Barja, 3
15004 A CRUÑA
Tel.: (981) 27 53 03

GRAN CANARIA:

Diderot, 23
35007 LAS PALMAS
Tel.: (928) 26 09 08

MADRID:

Pº Castellana, 44
28046 MADRID
Tel.: (91) 339 57 07

MURCIA:

Ronda de Garay, 10
30003 MURCIA
Tel.: (968) 34 16 15

NAVARRA y LA RIOJA:

Yanguas Y Miranda, 1
31002 PAMPLONA
Tel.: (948) 22 12 01

Provincias de ALAVA y VIZCAYA:

Heros, 3
48009 BILBAO
Tel.: (94) 42-5 44 93

Provincia de GUIPUZCOA:

Pº Ramón Mº Lili, 1
20004 SAN SEBASTIÁN
Tel.: (943) 29 08 88

TENERIFE:

La Marina, 7
38002 STA. CRUZ DE TENERIFE
Tel.: (922) 24 61 44

Organismos y empresas nacionales relacionadas con los seguros

La cobertura aseguradora abarca tanto a la industria privada como a los programas gubernamentales. A continuación se muestran algunas otras direcciones de organizaciones relacionadas con el ámbito de los seguros que podrían ser útiles para los ciudadanos.

A) Instituciones públicas:

DIRECCIÓN GENERAL DE SEGUROS

P^a Castellana, 44
28046 MADRID
Tfno.: (91) 339 72 00
Fax: (91) 339 71 13

COMISION LIQUIDADORA DE ENTIDADES ASEGURADORAS (CLEA)

Príncipe de Vergara, 43
28001 MADRID
Tfno.: (91) 431 21 32
Fax: (91) 577 27 74

ENESA (Entidad Estatal de Seguros Agrarios)

Miguel Angel, 23
28010 MADRID
Tfno.: (91) 308 10 30
Fax: (91) 308 54 46

B) Organizaciones y asociaciones del sector asegurador:

UNESPA (Unión Española de Entidades Aseguradoras y Reaseguradoras)

Núñez de Balboa, 101
28006 MADRID
Tfno.: (91) 562 47 30
Fax: (91) 411 70 03

CONFEDERACION NACIONAL DE ENTIDADES DE PREVISION SOCIAL (CNEPS)

General Castaños, 3
28004 MADRID
Tfno.: (91) 319 56 90

OFFSAUTO (Oficina Española de Aseguradores de Automóviles)

Sagasta, 10
28004 MADRID
Tfno.: (91) 446 03 00
Fax: (91) 594 09 65

AGROSEGURO (Agrupación Española de Entidades Aseguradoras los Seguros Agrarios Combinados)

Castelló, 117
28006 MADRID
Tfno.: (91) 411 00 02
Fax: (91) 563 03 35

POOL ATOMICO

Sagasta, 18
28014 MADRID
Tfno.: (91) 446 03 00
Fax: (91) 593 21 09

POOL DE AVIACION (AGARA)

Sagasta, 18
28014 MADRID
Tfno.: (91) 446 03 00
Fax: (91) 593 21 09

POOL ESPAÑOL DE GRANDES RIESGOS

P^a Castellana, 140
28046 MADRID
Tfno.: (91) 411 28 03

POOL ESPAÑOL DE RIESGOS MEDIOAMBIENTALES

P^a, Castellana 82
28046 MADRID
Tfno.: (91) 561 84 11

INSTITUTO DE ACTUARIOS ESPAÑOLES

Víctor Andrés Belaúnde, 36
28016 MADRID
Tfno.: (91) 457 86 96
Fax: (91) 457 14 07

AGERS (Asociación Española de Gerencia de Riesgos y Seguros)

Balbina Valverde, 23
28002 MADRID
Tfno.: (91) 562 84 25

CONSEJO GENERAL DE LOS COLEGIOS DE MEDIADORES DE SEGUROS TITULADOS

Núñez de Balboa, 116
28006 MADRID
Tfno.: (91) 562 27 04

ASOCIACION NACIONAL DE AGENTES Y CORREDORES DE SEGUROS EMPRESARIOS (ANACSE)

Núñez de Balboa, 116
28006 MADRID

ASOCIACION DE CORREDORES DE SEGUROS (ADECOSTE)

Serrano, 166
28002 MADRID
Tfno.: (91) 561 16 00
Fax: (91) 561 16 09

ASOCIACION ESPAÑOLA DE CORREDORES DE SEGUROS (ASECORE)

Ramón Gómez de la Serna, 2
28035 MADRID
Tfno.: (91) 373 68 68
Fax: (91) 373 68 68

ASOCIACION PROFESIONAL DE PERITOS TASADORES DE SEGUROS

Campoamor, 13
28004 MADRID
Tfno.: (91) 410 17 54

C) Investigación, estudios y documentación:

SEIDA (Sección Española de la Asociación Internacional de Derecho de Seguros)

Sagasta, 18
28004 MADRID
Tfno.: (91) 594 30 88
Tfno.: (91) 594 33 53

**ICEA (Investigación
Cooperativa entre Entidades
Aseguradoras)**

Francisco Silvela, 110
28002 MADRID
Tfno.: (91) 411 35 62
Fax: (91) 562 35 08

**CEPREVEN (Asociación de
Investigación para la Seguridad
de Vidas y bienes. Centro
Nacional de Prevención de
Daños y Pérdidas)**

Sagasta, 18
28004 MADRID
Tfno.: (91) 445 73 81
Fax: (91) 445 71 36

**CENTRO ZARAGOZA.
Instituto de Investigación sobre
reparación de vehículos, S. A.**

Carretera Nacional 232, km. 273
50690 PEDROLA (Zaragoza)
Tfno.: (976) 61 53 36
Fax: (976) 61 56 79

**ITSEMAP (Instituto
Tecnológico de Seguridad
MAPFRE)**

Carretera Nacional 1, km. 32,5
28750 SAN AGUSTIN DE
GUADALIX (Madrid)
Tfno.: (91) 844 71 11
Fax: (91) 844 72 00

**CESVIMAP (Centro de
Experimentación y Seguridad
Vial MAPFRE)**

Carretera de Valladolid, km. 1
05004 AVILA
Tfno.: (920) 22 81 00
Fax: (920) 22 06 00

**INESE (Instituto de Estudios
Superiores Financieros y de
Seguros)**

Santa Engracia, 151
28003 MADRID
Tfno.: (91) 534 15 36
Fax: (91) 533 61 96

**CENTRO DE LA
FUNDACION MAPFRE
ESTUDIOS**

- Instituto de Ciencias del Seguro
- Facultad de Ciencias del Seguro
- Centro Universitario Mapfre de
Estudios de Seguros
- Instituto de Seguridad Integral
- Centro de Documentación
Monte del Pilar s/n
28023 EL PLANTIO (Madrid)
Tfnos.: (91) 581 23 31 / 33 / 36
Fax: (91) 307 66 42 / 581 23 55

INDICE DE PALABRAS CLAVE

Este índice tiene también la función de glosario de términos. Los términos técnicos se han reducido a la mínima expresión y todos los términos utilizados se han definido en su correspondiente capítulo. La página en que aparece la definición de cada término se ha resaltado en **negrita**. Los números en **negrita** y subrayados, indican páginas en las que se ilustran con fotografías o gráficos determinadas características específicas.

- acuíclavos **123**
 acuíferos **123**
 AHERA **36**
 alarma de inundación-relámpago **139**
 alerta de inundación-relámpago **138, 131-151, 166**
 alud **97**
 amianto **33**
 anfíboles **33, 34**
 ángulo de reposo **101**
 arco isla **79-80**
 arenas movedizas **24**
 áridos **27**
 áridos reactivos **27**
 asbestos **33-34**
 ASHARA **36**
 avalancha de derrubios **85**
 Becquerelios **46, 48, 50**
 bentonita **23**
 caliza **27, 117, 118**
 canalizaciones **107, 131, 139**
 cenizas (volcánicas) **XIV, 81, 85, 86, 87, 88**
 cinturón de fuego **80**
 coladas de barro **82, 83, 84, 85, 102**
 coladas piroclásticas **85, 86**
 Consorcio de Compensación de Seguros **168-180**
 crisotilo **33, 34, 35, 37**
 crocidolita **34, 35, 35**
 deslizamientos **71, 97, 97-115, 102, 103, 166**
 deslizamiento de barro **102**
 deslizamiento de derrubios **102**
 deslizamiento planar **102, 103**
 deslizamientos rocosos **102**
 deslizamiento rotacional **102**
 diaclasas **64**
 dióxido de carbono **48, 49, 87**
 diques **134, 135, 138, 140**
 drenaje ácido **27, 28, 29**
 dunas de arena **158, 163**
 elevación por heladas **4**
 epicentro **66**
 erosión costera **152**
 escala de intensidad de Mercalli **62, 62**
 escala de magnitud Richter **62**
 escala de Saffir-Simpson **162, 163**
 escarpe del deslizamiento **102**
 escorrenría **134**
 esmectitas **22**
 esquistosidad **101**
 extracción de fluidos **119, 121**
 factor de seguridad **112**
 fallas **63, 64**
 fallas activas **64**
 fallo del suelo **66**
 flujos de tierra **102**
 foco **65**
 fumar **35, 41, 45, 47**
 Geología **1**
 geólogos **1, 31, 37, 55, 70, 92, 111, 129, 147, 164, 181-191**
 hidrocompactación **121**
 humedales **27, 29**
 hummocks **102**
 hundimiento **117, 117**
 huracanes **133, 135, 136, 137, 160, 162, 163**
 inclinómetro **82, 82, 93**
 índice de explosividad (volcánica) **82, 83**
 infiltración **134**
 inundaciones **131, 131-151, 166**
 inundaciones fluviales **131**
 inundaciones relámpago **132**
 lahares **85**
 lava **19, 83, 87, 89**
 loess **100**
 malecón **140**
 marcasita **27**
 maremoto **153, 164**
 materiales geológicos peligrosos **3, 3, 20**
 metano **48, 49**
 meteorización **21**
 milonita **44, 44**
 minerales **21**
 minerales de los asbestos **33-34**
 minerales reactivos **21**
 minerales tóxicos **3, 20**
 modelización **136**
 monóxido de carbono **48, 49, 87**
 movimiento de ladera **105**
 milómetros **135, 137**
 ondas de tormenta **3, 152, 153, 163**
 paisaje kárstico **117**
 pié (de pendiente o de deslizamiento) **102, 104**
 picocuries **46, 46**
 piritita **27**
 placas **63, 65, 79**
 plano de estratificación **100, 112**
 plano de rotura **101**
 presas **139, 140, 141, 142**
 prevención de maremotos **164**

- procesos geológicos peligrosos **3, 4, 166**
 puntos calientes **79, 80**
 radiación 43, **43, 44**
 radón 43-60, **44**
 rellenos antrópicos **122**
 reptación de suelos **4, 102**
 restauración 27, **30**
 riesgos costeros 152, 156, **157, 158, 160, 162**
 riesgos geológicos XI, XII, **3**
 rift **80**
 rift valley **79**
 rocas solubles **117**
- rompeolas **160**
 rotura superficial **66, 70**
 sacudida del suelo **66, 70, 70**
 seguros 11, 12, 13, 23, 65, 70, 73, 140, 148, 164, 192-194
 servicios geológicos 12, 14, 181-191, XI, XII
 soliflucción **102**
 subsidencia **116, 116-130, 166**
 subsidencia minera **119, 128**
 suelo **21, 24**
 suelos expansivos 3, **21, 21-27**
 suelos licuefactables **23**
 suelos permafrost **3, 122**
- sulfuro de hidrógeno 48, 49
 sulfuros de hierro 23
 tefra **87**
 terremotos 2, 3, **10, 61-78, 62, 63, 65, 67, 100, 122**
Thiobacillus **28**
 tiempo geológico XII, **1, 4, 64**
 81, 105, 124, 135, 159
 tremores armónicos **81**
 tsunamis **66, 67, 153, 154, 155**
 volcanes 79-96, 166
 yeso **22, 22**
 zona de subducción **79**
 zonas divergentes **79, 80**



La Guía Ciudadana de los Riesgos Geológicos es un documento de gran valor para: propietarios de viviendas, agentes de la propiedad, aseguradores y mediadores, agentes de préstamos hipotecarios, planificadores, funcionarios del Estado o de las Autonomías y estudiantes y profesores de Geología y de las Ciencias de la Tierra. Es uno de esos escasos libros escritos por profesionales para todo tipo de lectores, que consigue realmente combinar un contenido sólido y práctico con una enorme facilidad de lectura. A través de más de cien ilustraciones, el lector recorre un ameno, claro e impresionante viaje por los riesgos que representan los terremotos, volcanes, deslizamientos, subsidencia del terreno, inundaciones, tsunamis y ondas de tormenta costeras, y aprende a entender las controversias que rodean a los riesgos por radón y asbestos. La guía sirve también para presentar al lector a los geólogos y su papel en la prevención de las pérdidas por riesgos geológicos e indicarle, en una serie de apéndices, dónde conseguir la asistencia técnica de este colectivo y de los profesionales de los seguros. Cada capítulo contiene una amplia y actualizada lista de referencias bibliográficas y de videos relativos a cada tipo de riesgo.



The American Institute of
Professional Geologists



Ilustre Colegio Oficial de
Geólogos de España



European Federation
of Geologists



Consorcio de
Compensación de Seguros