

UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

FACULTAD DE CIENCIAS

INGENIERÍA GEOLÓGICA



TRABAJO FIN DE CARRERA

**ESTUDIO TRANSVERSAL SOBRE EL PATRIMONIO
ARQUITECTÓNICO, PAISAJÍSTICO Y GEOLÓGICO**

IRENE OLMOS AGUILAR

Salamanca, 2012

UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

FACULTAD DE CIENCIAS

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

INGENIERÍA GEOLÓGICA



TRABAJO FIN DE CARRERA

**ESTUDIO TRANSVERSAL SOBRE EL PATRIMONIO
ARQUITECTÓNICO, PAISAJÍSTICO Y GEOLÓGICO**

Por:

IRENE OLMOS AGUILAR

Para la obtención del título de Ingeniería Geológica

Tutora del Proyecto:

MARÍA DOLORES PEREIRA GÓMEZ

2012

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco a mi tutora, la Dra. Dña. María Dolores Pereira todo el esfuerzo, dedicación y confianza que ha depositado en mí para la realización de este trabajo.

Gracias al profesorado del ERASMUS Intensive Programme en el que se ha basado este trabajo y a los estudiantes de las universidades de Budapest, Coimbra, Ferrara y Salamanca que compartieron conmigo esta grata experiencia y les agradezco sus aportaciones durante y después de la celebración del curso.

Gracias a todo el profesorado de la titulación de Ingeniería Geológica, por compartir sus conocimientos y vivencias con ilusión hacia el alumnado.

Gracias a mi familia, en especial a mis padres y a mi hermana por su confianza, apoyo y por animarme durante todos estos años.

Gracias a mis compañeras/os y mis amigas/os por su apoyo, ayuda, consejos y sobretodo por soportarme durante este tiempo.

Este proyecto se ha realizado en el marco de un ERASMUS Intensive Programme, financiado con los programas de Long Life Learning de la Comunidad Europea.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco a mi tutora, la Dra. Dña. María Dolores Pereira todo el esfuerzo, dedicación y confianza que ha depositado en mí para la realización de este trabajo.

Gracias al profesorado del ERASMUS Intensive Programme en el que se ha basado este trabajo y a los estudiantes de las universidades de Budapest, Coimbra, Ferrara y Salamanca que compartieron conmigo esta grata experiencia y les agradezco sus aportaciones durante y después de la celebración del curso.

Gracias a todo el profesorado de la titulación de Ingeniería Geológica, por compartir sus conocimientos y vivencias con ilusión hacia el alumnado.

Gracias a mi familia, en especial a mis padres y a mi hermana por su confianza, apoyo y por animarme durante todos estos años.

Gracias a mis compañeras/os y mis amigas/os por su apoyo, ayuda, consejos y sobretodo por soportarme durante este tiempo.

Este proyecto se ha realizado en el marco de un ERASMUS Intensive Programme, financiado con los programas de Long Life Learning de la Comunidad Europea.



Educación y Cultura

Programa en el ámbito del
Aprendizaje Permanente

ERASMUS

ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN	8
2.- OBJETIVOS	11
3.- METODOLOGÍA	12
3.1. Trabajo de campo	12
3.2. Trabajo de laboratorio	13
3.3. Trabajo de gabinete	15
4.- CARACTERIZACIÓN DE LA PIEDRA	16
4.1. Importancia de la caracterización de la piedra natural	17
4.1.1. Importancia social de la caracterización de la piedra natural	18
4.2. Caracterización físico-mecánica de las rocas	22
5.- LA PIEDRA EN EL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO. DURABILIDAD DE LA ROCA NATURAL, ENSAYOS Y CONSERVACIÓN DE MONUMENTOS	25
5.1. Causas de alteración de los materiales pétreos	25
5.1.1. Contaminantes atmosféricos	26
5.1.2. Temperatura	28
5.1.3. Agua	29
5.1.4. Precipitación de sales	30
5.1.5. Biodeterioro	32
6.- EL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO DE LA CIUDAD DE SALAMANCA	33
6.1 Rocas características en la construcción del patrimonio arquitectónico	33
6.1.1. Granito de Martinamor	33
6.1.2. Arenisca de Villamayor	35
6.1.3. Granito de Los Santos	36
6.1.4. Conglomerado silicificado	36
6.1.5. Vaugnerita	37
6.2. Canteras	37
6.3. Protección y restauración del patrimonio construido	38

6.4. Ejemplos de deterioro	39
6.4.1. El Puente Romano	40
6.5. Ejemplos estudiados en otras ciudades de España	41
6.5.1. La Catedral de León	41
6.5.2. La ciudad de Cáceres	42
7.- LOS RIESGOS NATURALES Y SU RELACIÓN CON LA DESTRUCCIÓN DEL PATRIMONIO	45
7.1. Percepción y evaluación de riesgos naturales	47
7.1.1. Mapas de riesgos para evitar desastres naturales	47
7.2. Tipos de riesgos naturales	48
7.2.1. Riesgos gravitacionales	48
7.2.1.1 Caso de la Alhambra de Granada	48
7.2.1.2 Deslizamientos rotacionales	51
7.2.1.3 Ejemplos de subsidencia	57
7.2.2. Riesgo de erosión	59
7.2.3. Riesgo de inundación	60
7.2.3.1. Embalse del Yesa	61
7.2.4. Riesgo sísmico	62
7.2.4.1. Terremoto en la Emilia-Romaña (Italia)	64
7.2.5. Erupciones volcánicas	65
7.2.5.1. Predicción de erupciones volcánicas	65
8.- EDUCACIÓN, CONSERVACIÓN, ORDENACIÓN DEL TERRITORIO Y ACTIVIDAD TURÍSTICA DE SITIOS GEOMORFOLÓGICOS Y ACCIDENTES GEOGRÁFICOS	67
8.1. Patrimonio geológico de las Arribes del Duero	69
8.1.1. Relieves residuales o montes isla: “La Peña”	70
8.2. Geodiversidad	72
8.2.1. El Mar Muerto	73

9.- LUGARES HISTÓRICOS: PATRIMONIO CULTURAL	75
9.1. Ciudad Rodrigo	76
9.2. Fuerte de la Concepción o fortaleza de Aldea del Obispo	78
9.3. Almeida (Portugal)	82
10.- DIFUSIÓN DE PATRIMONIO	87
10.1. Difusión de patrimonio arquitectónico por la Fábrica Nacional de Moneda y Timbre	87
10.2. Patrimonio cultural y nuevas tecnologías	89
10.2.1 Aplicación de android para smartphones	90
11.- CONCLUSIONES	94
12.- BIBLIOGRAFÍA	96

1. INTRODUCCIÓN

Este Trabajo de Fin de Carrera se ha elaborado aprovechando los contenidos de las asignaturas de Ingeniería Geológica relacionadas con el conocimiento y conservación del patrimonio arquitectónico, paisajístico y geológico. Así mismo, se ha hecho una extracción del programa del ERASMUS Intensive Programme (referido como IP a partir de este punto) cursado en el verano de 2011 (Global Heritage and Sustainability: Geological, Cultural and Historical 2010-1-ES1-ERA10-22325), en el cual todos estos puntos quedaron resaltados mediante un enfoque transversal, aunando aspectos relacionados con la caracterización de los materiales pétreos, la conservación y restauración del patrimonio arquitectónico, el análisis y la prevención de riesgos naturales y antropogénicos, y el patrimonio histórico asociado a edificaciones de defensa de fronteras.

Tomando como esquema el programa del ERASMUS Intensive Programme, se ha vertebrado el trabajo contemplando los siguientes apartados:

- caracterización de rocas a visu y al microscopio,
- caracterización química, incluyendo la radiactividad natural asociada a los materiales de construcción,
- el desgaste, durabilidad y conservación de la piedra en edificios históricos y monumentos,
- influencia de los riesgos naturales en áreas urbanas,
- la educación, conservación y ordenación del territorio, y
- el atractivo turístico y geomorfológico de sitios y accidentes geográficos.

En el trabajo constatamos como los distintos aspectos arquitectónicos, paisajísticos y geológicos sirven para caracterizar el patrimonio, fundamentales para entender la preservación del mismo, como promueve la UNESCO.

La UNESCO es la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Es un organismo de la ONU fundado en 1945 con sede en París (Francia), encargado de designar los lugares Patrimonio de la Humanidad. Busca salvaguardar el patrimonio cultural y natural, y que cuenta con los medios y recursos para ello; se encarga de otorgar el título de Patrimonio de la Humanidad a determinados lugares, como bosques, montañas, lagos, cuevas, desiertos, edificaciones o ciudades, por presentar características

que los hacen únicos, ya que su desaparición o deterioro supondría una gran pérdida porque son una herencia de la humanidad. El objetivo fundamental de esta entidad es preservar y dar a conocer estos sitios de interés cultural y/o natural.

En su 17ª convención sobre la protección del Patrimonio Mundial celebrada en París en noviembre de 1972, se aprobaron las definiciones de Patrimonio Cultural y Natural:

Se considera **“Patrimonio Cultural”**:

- los monumentos: obras arquitectónicas, de escultura o de pintura, elementos o estructuras de carácter arqueológico, inscripciones, cavernas y grupos de elementos, que tengan un valor universal excepcional desde el punto de vista de la historia, del arte o de la ciencia.
- los conjuntos y grupos de construcciones, aisladas o reunidas, cuya arquitectura, unidad e integración en el paisaje les dé un valor universal excepcional desde el punto de vista de la historia, del arte o de la ciencia.
- los lugares u obras conjuntas del ser humano y la naturaleza, así como las zonas y los lugares arqueológicos que tengan un valor universal y excepcional desde el punto de vista histórico, estético, etnológico o antropológico.

Se considera **“Patrimonio Natural”**:

- los monumentos naturales constituidos por formaciones físicas y biológicas o por grupos de esas formaciones que tengan un valor universal y excepcional desde el punto de vista estético o científico.
- las formaciones geológicas y las zonas estrictamente delimitadas que constituyan el hábitat de especies animales y vegetales amenazadas que tengan un valor universal excepcional desde el punto de vista estético o científico.
- los lugares naturales estrictamente delimitados que tengan un valor universal excepcional desde el punto de vista de la ciencia, de la conservación o de la belleza natural.

La desaparición del patrimonio, así como el deterioro del mismo, supone una pérdida importante para la sociedad. Hay construcciones o lugares singulares de interés para la humanidad que están en peligro por deterioro o desaparición, que se sitúan en regiones que no cuentan con los recursos ni con los medios suficientes para proporcionarles la protección que merecen; por esto, es importante que los lugares que se vean en peligro y sean de interés sean nombrados Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO.

El patrimonio de un país, un pueblo o una determinada región en el mundo es su identidad, su riqueza, la herencia de sus antepasados, única y diferente en cada lugar; ese legado debe ser conservado y difundido.

Durante la celebración del curso IP se vieron y estudiaron ejemplos de patrimonio arquitectónico, paisajístico, geológico y cultural cercanos a nuestro entorno. En cuanto al primero, cabe mencionar los edificios del centro histórico de Salamanca, que se usaron como base en la aplicación de los distintos conceptos de caracterización, conservación y deterioro. Estos monumentos están ya acogidos a figuras de protección, puesto que han recibido el distintivo de Patrimonio de la Humanidad otorgado a la Ciudad Vieja de Salamanca en 1988 por la UNESCO.

Como ejemplos de Patrimonio Natural se localizan en Castilla y León Las Arribes del Duero y el Cañón de Río Lobos. Ambos espacios son Parques Naturales protegidos, pertenecientes al Patrimonio Natural de Castilla y León. También han recibido la categoría V - paisajes terrestres/marinos protegidos - por la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y los Recursos Naturales), que es una organización internacional dedicada a la conservación de los recursos naturales, cuya finalidad es contribuir a encontrar soluciones pragmáticas para los principales desafíos ambientales y de desarrollo que enfrenta el planeta.

El Parque de las Arribes, será presentado en septiembre de 2012 ante la UNESCO para su declaración como Reserva de la Biosfera.

En estas zonas se contempla también la arquitectura popular, que nos enseña como nuestros ancestros escogían los materiales naturales que mejor se adaptaban a las características climatológicas respetando el medioambiente, otros ejemplos serán utilizados en la exposición de objetivos de este trabajo para remarcar la importancia del conocimiento, conservación y recuperación de nuestro Patrimonio Cultural.

Aunando todos estos aspectos, este Trabajo de Fin de Carrera concluirá con la importancia del conocimiento de las Ciencias de la Tierra en su conjunto para el conocimiento y conservación del Patrimonio Global. Según el Reglamento de Proyectos de Fin de Carrera de la Universidad de Salamanca, constituye un trabajo de aplicación de los conocimientos, técnicas y habilidades de varias asignaturas cursadas en la carrera.

2. OBJETIVOS

Los objetivos de este trabajo son:

1. Enfocar las enseñanzas recibidas a lo largo de la carrera de Ingeniería Geológica, y enfatizadas en el Erasmus IP, hacia el estudio y conservación del patrimonio arquitectónico, paisajístico y geológico.
2. Aportar ejemplos de la aplicación de la Ingeniería Geológica en la conservación y prevención de riesgos que afectan al Patrimonio Global.
3. Encontrar sistemas de divulgación científica tanto de los resultados obtenidos en la elaboración de este proyecto como de todo lo referente al conocimiento del Patrimonio Global.
4. Colaborar en la difusión del patrimonio de la ciudad de Salamanca.

3. METODOLOGÍA

Para realizar este Trabajo de Fin de Carrera se ha seguido una metodología paralela a la contemplada en el curso IP, en el que se efectuaron jornadas de campo, prácticas de laboratorio (tanto de microscopía y radiactividad, como de fotografía aérea y de informática) y trabajo de gabinete.

3.1. TRABAJO DE CAMPO

Se realizaron una serie de excursiones: visitas a diferentes ciudades, pueblos, museos y lugares de interés geoturístico; siempre relacionados con los temas de patrimonio, su conservación y riesgos asociados, los cuales se enuncian a continuación:

- Visita a deslizamientos rotacionales en el centro de la Cuenca del Duero, situados en la provincia de Palencia, en las proximidades de las localidades de Reinoso de Cerrato, Hontoria del Cerrato y Tariego del Cerrato.
- Visita a monumentos del Centro histórico de Salamanca, concretamente al Puente Romano y a la Catedral Nueva, con la finalidad de observar las diferentes patologías que sufren sus rocas, las posibles causas que las han propiciado y las restauraciones que se han hecho.
- Visita a las instalaciones del Instituto Tecnológico de Rocas Ornamentales y Materiales de Construcción (INTROMAC), en Cáceres.
- Visita al Museo de Art Nouveau y Art Déco Casa Lis (Salamanca).
- Visita a diversos sitios históricos, en particular a lugares con fronteras fortificadas, situadas en: Ciudad Rodrigo (Salamanca), Aldea del Obispo (Salamanca) y Almeida (Portugal).
- Visita a lugares de interés geoturístico como el parque de las Arribes del Duero y su casa del parque, “El Torreón de Sobradillo”, en la localidad de Sobradillo (Salamanca); Vilvestre (Salamanca) y la formación geológica de “la Peña Redonda” en La Fregeneda.

3.2. TRABAJO DE LABORATORIO

A lo largo del curso IP se efectuó el siguiente trabajo de laboratorio:

- **Caracterización de rocas** usadas en construcción en la ciudad de Salamanca, a microscopio y a visu. Se uso un microscopio óptico y láminas delgadas correspondientes a las diferentes muestras. Se establecieron las diferencias más notables entre rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas. Se citan algunas de las rocas caracterizadas: areniscas, calizas, yeso, mármol, pizarras, gneises y granitos.
- **Práctica de fotografía aérea** de las localidades que presentan deslizamientos rotacionales en la zona de Palencia, que posteriormente se visitarían. Para el desarrollo de esta práctica se usó un estereoscopio con espejos, plegable y con un campo de visión: 160 x 240 mm, tres pares de fotografías aéreas de las zonas de estudio y material de escritorio; así se realizó una identificación de los deslizamientos, viendo su relación con los ríos para ver el estado en el que se encuentran.
- **Medición de radón y de radiactividad.** Se usaron diferentes dispositivos para medir la exhalación y la concentración de radón de muestras preparadas radiactivas que contenían uranio, torio y potasio. También se realizaron medidas en las rocas de la Facultad de Ciencias con un espectrómetro de centelleo (figura 1). Otro de los dispositivos fue un escintilómetro portátil (figura 2).



Figura 1: Realización de medidas de radiactividad natural en diferentes tipos de rocas mediante un espectrómetro de centelleo.



Figura 2: Escintilómetro portátil de rayos gamma exploranium GR-130G. Se usó para medir la concentración de elementos radiogénicos (uranio, torio y potasio) en muestras de preparadas.

- Se tuvo contacto con dispositivos destinados a medir la humedad en rocas y hormigones (figura 3).



Figura 3: Dispositivos para medir la humedad en rocas y hormigones. El primero es exclusivo de hormigones y yesos.

3.3. TRABAJO DE GABINETE

El trabajo de gabinete ha implicado en una primera fase una búsqueda bibliográfica, que ha servido para la elaboración de la síntesis geográfica y bibliográfica relacionada con los temas tratados y relacionados con el curso IP.

Y en una segunda fase, se ha efectuado una búsqueda en los medios de comunicación escritos de noticias relacionadas con el patrimonio, tanto de carácter geológico como paisajístico y arquitectónico.

Se han utilizado las herramientas de libre disposición de “Google”, como “App Inventor” y “GoogleDocs”.

“App Inventor” es una aplicación web que permite crear aplicaciones básicas para dispositivos Android de una forma sencilla y visual, sin la necesidad de tener grandes conocimientos en programación. Antes pertenecía a “Google”, pero ahora se encarga de su desarrollo y mantenimiento el MIT (Instituto de Tecnología de Massachusetts), aunque para poder acceder a ella se requiere de una cuenta de correo electrónico “Gmail”, el servicio de correo electrónico de “Google”.

El código de esta aplicación está diseñado visualmente, se programa mediante la unión de bloques de una manera intuitiva, como si se tratase de un puzzle. Dispone de un simulador, para visualizar la aplicación que se ha creado, o también ofrece la posibilidad de ver el comportamiento de la aplicación en el teléfono.

El curso IP incluyó conferencias, trabajo de campo y metodologías de “e-learning”. Para las actividades de “e-learning” se utilizó la plataforma virtual de la Universidad de Salamanca, “Moodle”, más conocido como Studium. A través de esta plataforma se tenía acceso a los contenidos tratados en el curso IP, y a temas relacionados con ellos.

4. CARACTERIZACIÓN DE LA PIEDRA

La piedra se ha utilizado en construcción desde tiempos prehistóricos. Al principio se utilizaba en función de su durabilidad y de la posición del punto de extracción relativamente cercana a su ubicación final. Los romanos la usaron para construir carreteras. Un ejemplo contemplado en el curso IP fue la calzada romana que se conserva en Fuenterroble de Salvatierra (Salamanca), que formaba parte de la Ruta de la Plata. También se ha empleado la piedra natural a lo largo de la historia en la construcción de puentes y acueductos. Por su facilidad de talla y belleza, se han construido templos con los mejores mármoles. En la Península Ibérica se conservan gran cantidad de ejemplos, algunos se estudiaron en el curso IP, y se destaca el denominado “conjunto arqueológico de Mérida”, declarado por la UNESCO Patrimonio de la Humanidad en 1993.

La piedra natural es y ha sido usada en la construcción dependiendo de sus estructuras, características técnicas y composición, pero tiende a deteriorarse constantemente por la acción del tiempo, los agentes meteorológicos, la actividad humana y la contaminación del aire.

Las definiciones referidas al uso de la piedra son:

- **Piedra natural:** toda roca que pueda obtenerse en bloques o piezas de cierto tamaño que permitan su utilización o comercialización, y que sus propiedades constitutivas permanecen constantes en sus etapas de transformación. Dentro de la definición de piedra natural, se hace distinción entre roca de cantería y ornamental.
- **Piedra de cantería:** piedra natural que ha sido seleccionada para su uso en construcción, y que no admite pulido.
- **Piedra ornamental:** piedra natural que ha sido seleccionada para un fin concreto, y por tanto trabajada, desbastada o cortada en determinada forma o tamaño, con superficies elaboradas mecánicamente.

4.1. IMPORTANCIA DE LA CARACTERIZACIÓN DE LA PIEDRA NATURAL

Las diferentes propiedades que presenta una roca dependen de su composición y de su estructura. Es necesario conocer las características mineralógicas de la roca para saber como se comportará ante las diferentes condiciones a las que será sometida y los cambios que sufrirá al pasar del afloramiento al lugar de construcción.

La metodología seguida para la identificación de los materiales pétreos consiste en la realización de la clasificación de los tipos de rocas mediante un reconocimiento visual y al microscopio.

Hay tres grandes grupos de rocas: ígneas, sedimentarias y metamórficas. Clasificadas de acuerdo con los minerales que presentan y con su estructura. El criterio de clasificación más general se basa en la cantidad de minerales que componen la roca; se separan en minerales esenciales, secundarios y accesorios. Se destaca que de algunos de los accesorios van a depender las características radiactivas de las rocas y de los secundarios y su abundancia, la durabilidad de la misma.

Las características de los distintos grupos de rocas (ígneas, metamórficas y sedimentarias), las harán más o menos apropiadas para el uso final que se las quiera dar en construcción. Dependiente de sus características será el mayor o menor deterioro que sufran las rocas con el paso del tiempo.

La importancia de las rocas sedimentarias reside en que gracias a su amplia distribución geográfica, son la base física de las actividades humanas, en particular de la ingeniería, con especial atención en los materiales de construcción y en los asentamientos de obras públicas. Además, en el entorno de Salamanca, su uso está extendido a las acciones de restauración del patrimonio arquitectónico.

Hay muchas localidades caracterizadas por las piedras usadas en sus edificaciones, así, algunos ejemplos son: las areniscas rojas del desierto en Chester (Inglaterra), el travertino en Roma (Italia), la arenisca de Villamayor en Salamanca, el granito de Ávila y la caliza carbonífera en Bakewell (Inglaterra). En las construcciones históricas se tendía a utilizar la piedra natural que estaba más próxima y a la cual se tenía mejor acceso según los métodos de extracción de antaño, lo que hace que en algunas ocasiones esas construcciones no se encuentren en un buen estado de conservación en nuestros días, ya que no se usó la

roca más adecuada según las condiciones a las que se la iba a someter. Como ejemplos de usos de rocas locales en monumentos y sitios históricos conocidos a nivel mundial, podemos citar:

- Edificios construidos con arenisca de Villamayor en el centro histórico de Salamanca. La ciudad de Salamanca es Patrimonio de la Humanidad desde 1988, algunos de sus monumentos más destacados son: la Plaza Mayor, el Puente Romano, la fachada de la Universidad, la Catedral Vieja y la Catedral Nueva. Debido al nombramiento de Ciudad Patrimonio de la Humanidad es obligatorio usar arenisca de Villamayor en todo el casco histórico de la ciudad.
- Los Toros de Guisando en la localidad de El Tiemblo (Ávila), construidos en granito, han sobrevivido al paso del tiempo aunque con notables signos de degradación. Este pueblo está situado encima de un macizo granítico y todas sus construcciones históricas aprovecharon la piedra local. En la parte occidental de la Península Ibérica dominan los granitos y de esta forma, más ejemplos de este tipo de arte lo representan los verracos existentes en pueblos de Ávila, Cáceres, Salamanca, Segovia, Toledo y Zamora.
- El Monasterio del Escorial en la Comunidad de Madrid, construido en granito Gris Villa y exhibe también pizarra de techar de la zona de Bernardos (Segovia).
- En Florencia es característico el uso del mármol de Carrara en edificaciones y esculturas. Ejemplos destacados son La Piedad o El David de Miguel Ángel. También su catedral, La Basílica de Santa María dei Fiori, luce una decoración de mármoles rojos, verdes (en realidad serpentinita) y blancos. La importancia de las catedrales y centros de culto italianos son un caso excepcional, pues para su ornamentación se utilizaron variedades cromáticas procedentes de lugares apartados del emplazamiento de la estructura.

4.1.1 Importancia social de la caracterización de la piedra natural

La mineralogía de las rocas está directamente relacionada con las características físico-mecánicas de las mismas, así como con la posible relación con la salud de los seres vivos. Pueden influir en la salud de los seres vivos las exposiciones a minerales fibrosos, como el asbesto o la concentración de radón en las viviendas, consecuencia de la radiactividad natural que presentan algunas rocas. Este último, es un tema es de gran actualidad y por esta razón se dedicó una sesión entera a su estudio y análisis en el curso IP.

- RADIATIVIDAD NATURAL

Parte de la radiación que reciben los seres vivos proviene de las rocas, esta radiación tiene efectos negativos en las personas, como roturas en la cadena de ADN y crecimiento de las moléculas oxidantes.

El radón es el gas monoatómico más pesado de la naturaleza, incoloro, inodoro e insípido. Presenta facilidad para licuarse y solubilizarse en líquidos polares, como el agua; y gracias a su naturaleza gaseosa se difunde fácilmente en el ambiente. En su desintegración emite radiación alfa, beta y gamma. Hay que atender a las partículas alfa, que se fijan al tejido pulmonar radiándolo.

La exposición al radón ocurre mayormente por su inhalación en recintos deficientemente ventilados, como puede ocurrir en algunos balnearios.

La corteza terrestre posee el mayor volumen de materiales emisores de gas radón. El radón se encuentra presente en los materiales de la corteza en concentraciones que dependen del tipo de roca. De esta manera, la litología influye en las concentraciones de radón, ya que las concentraciones más altas se dan en recintos construidos en regiones donde predominan rocas ígneas, principalmente granitos; así Galicia es una de las comunidades con mayor concentración de gas radón en el interior de las viviendas.

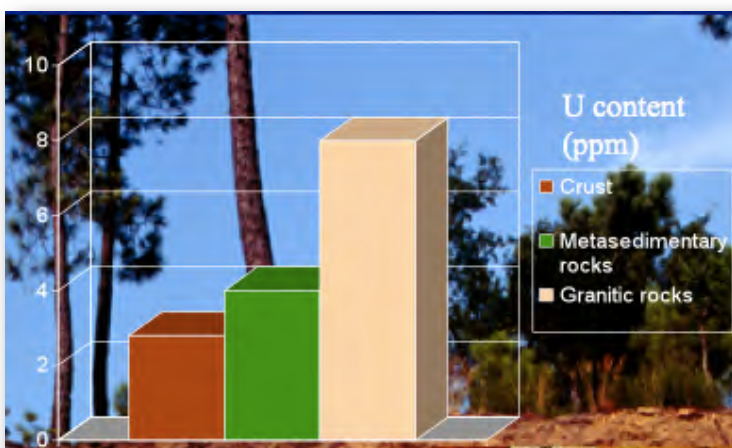


Figura 4: Contenido en uranio en la corteza, en rocas metasedimentarias y en rocas graníticas en ppm. (Fuente: Laboratorio de radiactividad natural de la Universidad de Coimbra).

En la figura 4, así como en trabajos realizados anteriormente (González Neila 2008 y Manteca 2011), se aprecia que las rocas graníticas presentan un mayor contenido en uranio, seguidas de las rocas metasedimentarias.

El gas radón presente en el suelo es el principal foco de radiactividad existente en el interior de las viviendas, entra principalmente a través de grietas de los cimientos, las paredes, e incluso por las cañerías de los cuartos de baño, así como por difusión a través de los cerramientos en contacto con el suelo (figura 5).

Figura 5: Movimiento de radón en el interior de una vivienda. (Fuente: Laboratorio de radiactividad natural de la Universidad de Coimbra).

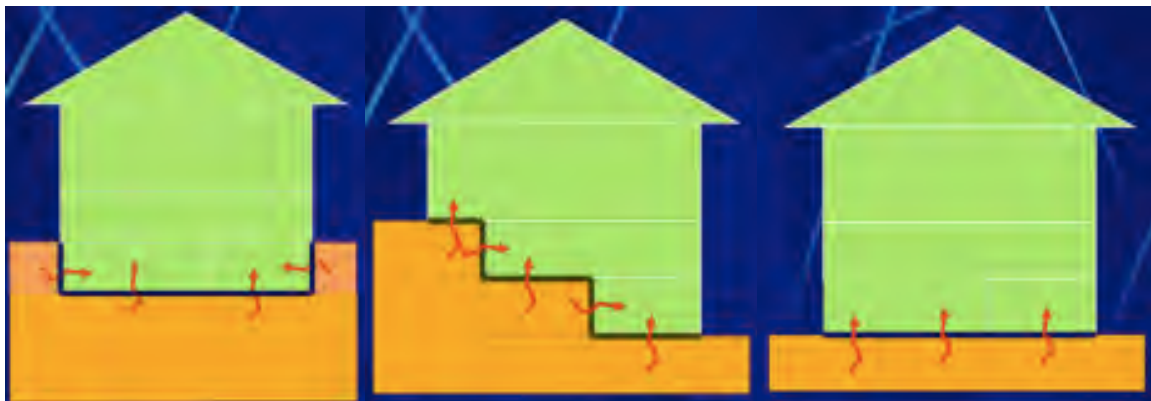
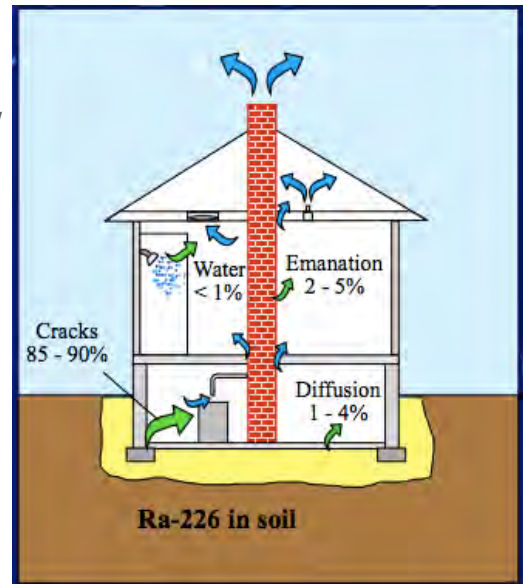


Figura 6: Influencia de la arquitectura de las viviendas en las concentraciones de radón en el interior de las mismas. (Fuente: Laboratorio de radiactividad natural de la Universidad de Coimbra).

Contemplando la influencia de la arquitectura de las viviendas en relación con las concentraciones de radón en su interior, en la figura 6 se aprecia que hay una dependencia de la superficie de los cimientos en contacto con el suelo en relación con la entrada de radón, así, a más superficie en contacto mayor probabilidad de entrada de radón.

Las medidas más efectivas y más económicas para prevenir la acumulación de radón en el interior de las viviendas son las que se toman en fase de construcción. En la mayoría de los casos, mediante una correcta ventilación se controla la concentración de gas en el interior de las viviendas, pero hay casos en los que las concentraciones son muy altas y la aireación no es suficiente, en estos casos se puede recurrir a la impermeabilización de suelos y paredes, y/o instalación de sistemas de drenaje o de aireación forzada.

- CONTENIDO EN ASBESTO DE ALGUNAS PIEDRAS NATURALES

Algunas rocas presentan en su mineralogía fases fibrosas, comúnmente denominadas asbesto o amianto. Sin embargo, no todos los asbestos parecen ser problemáticos en lo que concierne a la salud humana. Algunas fibras son flexibles (por ejemplo, el crisotilo) y otras son rígidas (por ejemplo, todos los anfíboles fibrosos). Son estos últimos los que parecen tener consecuencias fatales y es nuestra obligación, como profesionales de la Geología y la Ingeniería Geológica, caracterizar apropiadamente las rocas que pudieran contener minerales fibrosos, como es el caso de las serpentinitas, para evitar problemas sociales y de salud. (<http://www.mesotheliomaexpert.org/tag/thomas-feininger/>)

Hace años este mineral se consideró inocuo en un principio, incluso se uso en la pasta de dientes, pero se ha convertido en uno de los más temidos contaminantes para las personas. Hace unas décadas, surgieron las primeras dudas con respecto a sus efectos sobre la salud, se inició una comprobación de la existencia de asbesto en edificaciones, ya que sus fibras, al pasar al sistema respiratorio se adhieren a los pulmones creando tumores. El asbesto tiene como característica que es un mineral del grupo de los silicatos, que se separa con facilidad en fibras delgadas, fuertes, a veces flexibles, resistentes al calor e inertes desde el punto de vista químico. El asbesto fue muy usado para fortalecer cemento, como aislante de casas, calderas y tuberías.

- IMPORTANCIA ECONÓMICA DE LA CARACTERIZACIÓN CORRECTA DE LAS ROCAS

La clasificación de la roca ornamental en muchos casos atiende más a aspectos estéticos que a composicionales, hay rocas que están clasificadas dentro de un mismo grupo pero su mineralogía es totalmente diferente. Por ejemplo, la serpentinita se incluye

erróneamente dentro del grupo de los mármoles en terminología comercial, pero es una roca de procedencia ígnea, no metamórfica. En la actualidad, el término comercial de mármol en el entorno de la cantería y de rocas ornamentales se aplica a cualquier roca susceptible de admitir pulido y ser usada en decoración, aunque no sea de procedencia carbonatada ni de origen metamórfico, algunas rocas a las que se les aplica este término son: el alabastro, la serpentinita y en ocasiones el granito.

Por una parte tenemos la clasificación comercial de las rocas que no coincide con la clasificación petrológica de las mismas, y por otra parte tenemos rocas que en composición son iguales pero difieren en sus características físico-mecánicas.

Atendiendo a estas rocas, tenemos que en los últimos años el mercado de la piedra natural ha sufrido una internacionalización como resultado de la globalización, es decir, se ha unificado el mercado de la piedra natural a nivel mundial. De esta manera, las rocas que se usan en ciertos lugares pueden ser importadas de países donde la extracción es más barata o donde existe una mayor cantidad de materia prima explotable. Pero hay que llevar un control de estas rocas, vigilar su procedencia y realizar los análisis pertinentes para comprobar si presentan las características necesarias para el uso específico final que se les va a dar. En general, la explotación de la piedra natural quedará determinada por las tendencias del mercado.

El uso de un determinado tipo de roca viene marcado por la tendencia socio-económica del momento y por los distintos materiales con los que tenga que rivalizar en el mercado. El empleo de un material pétreo concreto, está relacionado con la facilidad de obtención, elaboración, calidad y aspecto final del mismo.

Actualmente se ha establecido un gran mercado de piedra natural a nivel mundial, con rocas que a veces no tienen las características deseadas que prometen, pero que son más económicas.

4.2. Caracterización físico-mecánica de las rocas

Las características físico-mecánicas de las rocas quedan determinadas por su mineralogía, su estructura y su composición.

A continuación se citan algunas características físico-mecánicas de diferentes rocas:

- Se puede afirmar que generalmente las rocas con elevados contenidos en sílice junto con bajos valores de porosidad y bajos coeficientes de absorción capilar, son características de rocas de alta dureza poco proclives a alteración.
- Los minerales feldespáticos y micáceos, se deterioran en presencia de dióxido de carbono.
- Las rocas carbonatadas se ven dañadas en ambientes ácidos y por la presencia de gases sulfurados.
- Las rocas sedimentarias presentan un índice de poros generalmente alto, con un alto valor de absorción, lo que hace que estas rocas se vean dañadas por ciclos de hielo/deshielo.
- Las rocas graníticas presentan un coeficiente de desgaste 5 veces inferior a las calizas y 4 veces menor que algunas areniscas.

Se realizó una visita al Centro Tecnológico INTROMAC, que entre otras actividades se encarga de ensayar y testar rocas de construcción y ornamentales (figura 7), así como también hormigones, morteros o mezclas bituminosas entre otros materiales, para determinar sus características tecnológicas. Algunas de las características tecnológicas que se especifican para la piedra natural son:

- Peso específico
- Coeficiente de absorción
- Resistencia a la compresión
- Resistencia a la flexión
- Resistencia al desgaste
- Resistencia al impacto
- Resistencia a la heladicidad
- Porosidad
- Choque térmico
- Microdureza Knoop
- Acabado



Figura 7: Diferentes muestras preparadas para ensayos. Imágenes tomadas en INTROMAC (Cáceres).

Este centro tecnológico también ofrece servicio y asesoramiento técnico para el estudio y conservación del Patrimonio Cultural, mediante la investigación de las características y propiedades de los diferentes materiales de construcción, así realiza:

- Análisis de materiales.
- Estudios y determinación de patologías tanto a nivel estructural como de materiales.
- Propuestas de actuaciones paliativas.
- Planes de mantenimiento.

En nuestra visita a este centro quedaron resaltadas las características que teníamos que tener en cuenta a la hora de utilizar los materiales pétreos en el desarrollo de nuestra labor como profesionales de la Ingeniería Geológica. Así mismo se nos mostró el comportamiento de determinadas rocas utilizadas en la construcción del patrimonio arquitectónico de Cáceres y su relación con el mayor o menor grado de preservación.

5. LA PIEDRA EN EL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO. DURABILIDAD DE LA PIEDRA NATURAL, ENSAYOS Y CONSERVACIÓN DE MONUMENTOS.

La toma de conciencia del aumento de los daños en los monumentos de piedra junto con la amenaza de la pérdida, en algunos casos irreparable, del Patrimonio Cultural ha impulsado la unión de esfuerzos para la conservación de monumentos. Una amplia sección del curso IP se dedicó a analizar:

- las distintas causas de deterioro de la piedra natural,
- la situación actual de los edificios históricos (tanto los que se vieron durante el curso como otros ejemplos utilizados a nivel mundial para ilustrar los distintos agentes de deterioro), y
- las propuestas de conservación.

Las rocas no duran eternamente, se ven dañadas por procesos y agentes que la deterioran. La durabilidad de las rocas de construcción queda determinada por procesos como el envejecimiento acelerado, producido por la cristalización de sales y/o hielo especialmente.

La piedra natural sufre un deterioro originado por el impacto ambiental y humano. Los impactos ambientales están definidos por los procesos naturales y éstos a su vez vienen determinados por: la temperatura, la humedad (precipitación, niebla y agua en el suelo), el hielo, las sales y las poluciones naturales. Como impacto humano, se pueden citar: el aumento en la contaminación atmosférica, los actos de vandalismo y las guerras que ocasionan la destrucción del Patrimonio Cultural, como estamos viendo de manera cotidiana.

5.1 Causas de alteración de los materiales pétreos

La alteración y descomposición de los materiales pétreos depende de factores tanto intrínsecos como extrínsecos:

- **Factores intrínsecos:** composición, estructura, textura, porosidad, cambio de grano y capilaridad. Son factores que quedan determinados por la propia naturaleza del material pétreo.

- **Factores extrínsecos:** clima, localización, viento, temperatura, agua, sales, agentes biológicos y agentes antrópicos.

5.1.1 Contaminantes atmosféricos

Los contaminantes atmosféricos son significativos, ya que reaccionan con la roca produciendo alteraciones en la misma. Estos contaminantes esenciales se encuentran en los compuestos del azufre, nitrógeno y carbono. La gran mayoría de los contaminantes antropogénicos son subproductos de los procesos de combustión y éstos son responsables del ennegrecimiento de las fachadas.

Nombrando alguno de los principales gases contaminantes del aire tenemos: óxidos de carbono como dióxido de carbono y monóxido de carbono; óxidos de azufre que se generan con la combustión de carbón y petróleo, el más importante es el dióxido de azufre (SO₂), que se oxida en la atmósfera formando trióxido de azufre (SO₃); y óxidos de nitrógeno, como el monóxido de nitrógeno (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂).

Los óxidos de azufre son generadores de la lluvia ácida. El trióxido de azufre (SO₃) combinado con humedad origina sulfatos perjudiciales para la piedra. Las calizas y dolomías se ven especialmente afectadas por el anhídrido sulfuroso (SO₂).

Los cloruros reaccionan con la roca por medio del ácido clorhídrico sobre rocas ricas en carbonato cálcico, dando como resultado sales solubles que se encargan de degradar la roca. Se ven afectadas por los cloruros las calizas, los mármoles y las areniscas.

El nivel de contaminación atmosférica está en relación directa con la cantidad de contaminantes emitidos al aire, a la vez que también depende de las condiciones atmosféricas. El viento dispersa los contaminantes, mientras que la radiación solar y la humedad atmosférica promueven que éstos reaccionen agravando así sus efectos nocivos.

- EL SMOG

El término “smog” es un anglicismo resultado de las palabras “smoke” (humo) y “fog” (niebla) que comenzó a utilizarse a principios del siglo XX en Inglaterra para denominar a una espesa niebla cargada de hollín y azufre, consecuencia de la contaminación

atmosférica provocada por la combustión del carbón. En Londres se define el tipo de “smog” de invierno o reductor y en Los Ángeles el tipo de verano o fotoquímico.

El “smog” de Los Ángeles se produce porque los óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles reaccionan en presencia de la luz solar. Los causantes de la emisión de estas sustancias son principalmente el tráfico y las centrales eléctricas en menor medida. Este tipo de “smog” se describió por primera vez en Los Ángeles en los años 40. Sus consecuencias se agravan especialmente en grandes ciudades con mucho tráfico, soleadas y con poco movimiento de aire. Tiene como resultados: partículas en suspensión y ozono a nivel del suelo, causan enfermedades respiratorias y producen corrosión menor en las rocas. Es especialmente significativo en ciudades con costa o cercanas a ella, como Los Ángeles o Tokio, y también en grandes urbes situadas en amplios valles, como la Ciudad de México. El verano es la peor estación para este tipo de polución. En Europa afecta especialmente a la región mediterránea.

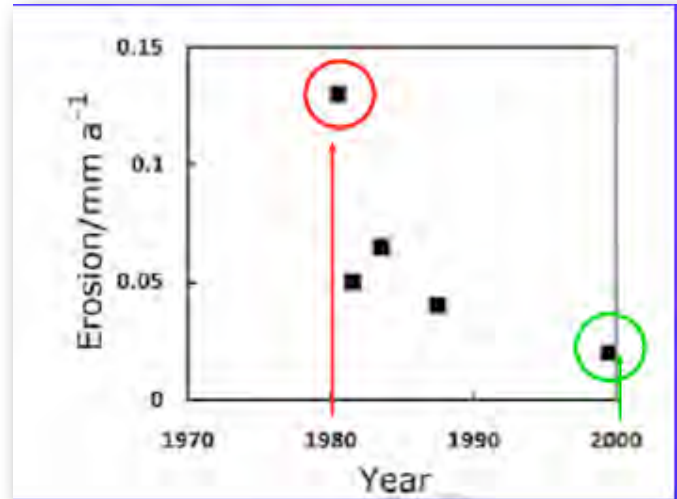
El “smog” de Londres se produce por las emisiones de los vehículos, humo y otros gases, más una temperatura de inversión (el aire caliente se sitúa por encima del aire frío y evita la circulación de aire ascendente). Se forma a bajas temperaturas cuando las concentraciones de dióxido de azufre aumentan. Las consecuencias son que se crean en el ambiente finas partículas que dispersan la luz solar, reducen la visibilidad y provocan enfermedades respiratorias.

El “smog” de Londres tuvo consecuencias devastadoras a principios de diciembre de 1952, la ciudad sufrió una caída de las temperaturas superior a lo normal lo que llevo a quemar más carbón de lo habitual, quedando la contaminación generada atrapada por una capa de aire frío. Se produjo una inversión térmica, que impidió que los gases contaminantes se dispersasen a la atmósfera. Como resultado aumentó la contaminación en el aire, empeorando el problema, ya que el carbón que se quemó poseía un alto contenido en azufre.

Las emisiones antropogénicas y naturales de gases como óxidos de carbono, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, que pasan a la atmósfera y allí se combinan con oxígeno, agua y dióxido de carbono, producen ácido sulfúrico, ácido carbónico, ácido nítrico y ozono, que vuelven al suelo como productos gaseosos y lluvia ácida. La lluvia ácida afecta al patrimonio construido, principalmente al construido en piedra caliza. Como ejemplos

tenemos la Catedral de St. Paul en Londres, el Taj Mahal en la India, el Coliseo en Roma y la Acrópolis en Grecia (<http://www.eluniversal.com.mx/ciudad/99782.html>).

Figura 8: Velocidad de erosión en la Catedral de St. Paul, Londres, entre los años 1970 y 2000. (Brimblecombe and Camuffo 2003).



La erosión se acelera cuanto más contaminación hay en el ambiente. Un ejemplo es la Catedral de St. Paul (Londres), que en el año 2000 vió disminuido su deterioro a la mitad respecto a la década de los 80 (figura 8), debido a un descenso en la concentración de dióxido de azufre por la reducción masiva de la industria pesada. Esto es un claro ejemplo de descenso de contaminación asociado a una disminución de deterioro sobre el patrimonio construido.

En general, la degradación de las rocas ornamentales se ha visto acentuada en los últimos años por el aumento de la contaminación ambiental y la lluvia ácida.

5.1.2. Temperatura

En relación con la temperatura cabe destacar que las rocas usadas en exteriores sufren variaciones térmicas en su superficie, por ejemplo, durante un día soleado de verano en un clima continental, las temperaturas varían en un rango de entre 40-50 °C.

Los cambios de temperatura, tanto diurna como anual, tienen efectos en las rocas, en general esto depende del tipo de roca y de la franja horaria en la que nos encontremos.

La mayor expansión térmica diferencial la presentan el cuarzo y la calcita, asunto que se debe tener en cuenta en ciertas construcciones por las dilataciones que estos minerales pueden experimentar.

Los cambios de temperatura también influyen en la tendencia de desplazamientos de las grietas, ya que en verano, cuando los materiales llegan a su máxima dilatación, las grietas pueden experimentar un cierre, mientras que durante el invierno se pueden abrir.



Figura 9: Expansión térmica diferencial en un aplacado de mármol. (Fuente: www.unizar.es)

En la figura 9, se hace referencia al caso del edificio de AMOCO, en Chicago, en el que el pandeo de las placas de mármol de Carrara hizo que se desmontase toda la fachada (por problemas también de seguridad) y se tuviera que cambiar por aplacado de granito de colores claros, para no variar mucho el tono de la fachada del rascacielos, que se había convertido en un símbolo arquitectónico. El fallo en el comportamiento de la roca supuso una inversión multimillonaria para la empresa, tanto por desmantelar la fachada de mármol como para volver a colocar las placas de granitos. Y eso teniendo en cuenta que AMOCO es una empresa relacionada con los estudios de Recursos Naturales.

5.1.3. Agua

Otro factor extrínseco es el agua, que es el principal agente de alteración de las rocas participando en casi todos los procesos de alteración físicos, químicos y biológicos. Es un compuesto químico solvente, se encarga de transportar y eliminar los productos que reaccionan con la piedra y sufre variaciones de volumen con los cambios de temperatura aumenta un 9% su volumen al pasar de estado líquido a sólido.

Como curiosidad, la presión ejercida por hielo a -22° en el interior de un poro varía entre 150 y 180 MPa, datos que en comparación con los valores de un granito promedio con una resistencia a flexión de 15 MPa y una resistencia a compresión de 100 MPa, llevan a la deducción de que la presión ejercida en el poro es alta.

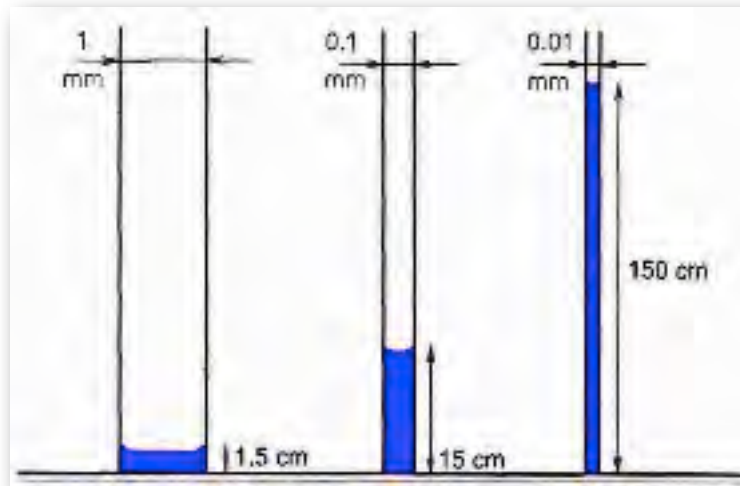


Figura 10: Ascenso capilar en función del diámetro del capilar. (Fuente: Mamillan 1981).

El agua puede penetrar en la roca por capilaridad. La capilaridad es la capacidad que presenta un líquido para infiltrarse y ascender por los poros de un material. Cuanto menor diámetro presenten los poros de la roca mayor facilidad tendrá el agua para ascender por ellos y penetrar en la roca, como se observa en la figura 10.

Relacionando la absorción de agua frente a la porosidad en rocas, tenemos que cuanto más porosa sea la roca más agua absorbe. De este modo los granitos no superan el 1% en porosidad, las dolomías pueden presentar hasta un máximo de un 9.3% de porosidad con un 2% de absorción máxima, las calizas con una porosidad del 20% tienen una absorción del 7% e incluso más y para areniscas con un 27% de porosidad muestran un 14% de absorción máxima aproximadamente.

Enlazando estos datos con la desintegración de la roca en construcción, se destaca que los zócalos son la parte de los edificios más propensa a desarrollar fenómenos de absorción capilar con el consiguiente deterioro.

5.1.4 Precipitación de sales

Generalmente el agua se encarga de transportar las sales, que producen un efecto visual en la piedra, en la que se observa una superficie blanquecina. La cristalización de sales lleva asociado un proceso mecánico de cristalización, que provoca un aumento de presión en los poros de la roca. Y también genera cambios químicos de hidratación, ya que se produce una composición-descomposición en la formación y disolución de las sales.

Las sales pueden aparecer en las rocas cristalizadas en superficie, denominándose eflorescencias, o en el interior de los poros denominándose subflorescencias. Las eflorescencias se definen como capas o agregados cristalinos de sales solubles blanquecinas y débiles, que aparecen en la superficie de la roca como causa de fenómenos de migración y evaporación de agua con sales solubles.

La cristalización de sales en muchos casos está relacionada con la proximidad a un río o al mar. Así, las sales que cristalizan en las rocas pueden provenir de los cloruros del spray marino y/o de la sal para la nieve y el hielo que se echa sobre el asfalto en invierno. Estas sales se fijan a las piedras y se redisuelven penetrando en los poros de la roca y cuando cristalizan en los poros generan roturas.



Figura 11: Precipitación de sales en la Casa Lis.

En Salamanca podemos observar la cristalización de sales (figura 11) en la Casa Lis (Museo Art Nouveau Art Déco) en la parte más cercana al río, las sales aparecen como eflorescencias salinas en la arenisca de Villamayor. En Ávila también se pueden observar eflorescencias salinas en los granitos silicificados de la Catedral.

También hay que tener en cuenta que en zonas de heladas extremas se suele echar sal por las calles para evitar que las personas resbalen con el hielo. Estas sales terminan disolviéndose en el agua y siendo absorbidas por la piedra natural de los zócalos de los edificios. Si ésta tiene un coeficiente de absorción por capilaridad muy alto, el efecto puede ser muy destructivo.

5.1.5. Biodeterioro

Otra forma de deterioro en las rocas es la producida por la acción de organismos, denominada biodeterioro. Este proceso conlleva modificaciones en las propiedades físico-químicas y mecánicas de los materiales pétreos. Existen microorganismos capaces de desarrollarse y habitar en las rocas creciendo en su superficie (figura 12), en las fisuras o capaces de penetrar mm o cm en el interior de la roca.

El biodeterioro es producido generalmente por flora, detritus y bacterias. Como flora tenemos algas, líquenes y mohos, que provocan un deterioro lento. Los detritus, como excrementos de aves, pueden llegar a presentar concentraciones de ácido fosfórico en un 2%, causando degradación ácida y favoreciendo el desarrollo de microorganismos en el material pétreo. Las bacterias se ocupan de oxidar el dióxido de azufre a sulfatos y el amoníaco a ácido nitroso y nítrico.



Figura 12: Colonización biológica en granito de Martinamor, Catedral Nueva.

No todos los microorganismos degradan la roca. Algunos se pueden usar en restauración mediante biomineralización. Así, los microorganismos pueden actuar formando películas pétreas de recubrimiento de superficies o como pegamentos pétreos. Hay algunos que se encargan de cerrar la porosidad de la roca a través de la creación de esqueletos carbonatados.

Investigaciones recientes sugieren que la biomineralización tiene el potencial de ofrecer una tecnología adicional en lo que concierne a trabajos de restauración de superficies de piedra en los edificios patrimoniales (Webster y May, 2006).

6. EL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO DE LA CIUDAD DE SALAMANCA

6.1 ROCAS CARACTERÍSTICAS EN LA CONSTRUCCIÓN DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO

6.1.1 Granito de Martinamor

La roca caracterizada como leucogranito turmalínífero se denomina “granito de Martinamor” (figura 13). Su nombre local es "Piedra Pajarilla" y se utilizó como nombre común en toda la comarca para referirse los canteros a cualquier tipo de granito (Pereira y Cooper, 2011). Presenta dureza, consistencia y escasa alterabilidad debido a su alto contenido en cuarzo y a la escasez de minerales máficos y cálcicos con apenas plagioclasa cálcica; tienen valores bajos de porosidad y de coeficiente de absorción capilar (López Plaza et al, 2007).

Sus canteras se localizan en las cercanías de Martinamor, localidad que dista unos 20 km al sur de Salamanca, por eso recibe el nombre de “piedra de Martinamor”. Su explotación se fue abandonando y quedó limitada a los pueblos de los alrededores.



Figura 13: Piedra pajarilla o granito de Martinamor, se aprecian los nódulos de turmalina. La roca se ha visto afectada por la acción del agua, y por ciclos de hielo/deshielo.

Su período de utilización data de tiempos de los romanos, pero está documentada desde inicios del siglo XVI hasta 1932. Es importante resaltar que los grandes arquitectos de la Edad Moderna, como Juan de Sagarvinaga, Juan de Álava y Alonso de Covarrubias (Portal Monge, 1988), insistieron siempre en el uso del “buen granito de Martinamor”. Por ello, cuando la torre de la Catedral Nueva de Salamanca se vió afectada por el terremoto de Lisboa (1755), se usó dicho granito en la restauración para reforzar los zócalos. Los efectos del terremoto aún se pueden apreciar en el interior de la Catedral Nueva (figura 14). Muchos de los edificios históricos de Salamanca presentan en sus zócalos este granito y hay que destacar que son precisamente estos edificios los mejor preservados en comparación con aquellos en los que se han empleado otros materiales, como arenisca de Salamanca.



Figura 14: Efectos del terremoto de Lisboa en el interior de la Catedral Nueva.

El granito de Martinamor se usó en combinación con la arenisca de Villamayor en muchos de los monumentos y edificios históricos de Salamanca. El granito se utiliza en los zócalos porque presenta menor porosidad y por tanto una menor absorción de agua que la arenisca. Los granitos presentan bajos índices de porosidad y por lo tanto bajos coeficientes de absorción capilar (como ya se indicó en el apartado 5.1.3.); por esto es por lo que son idóneos para zócalos, ya que es donde más se deteriora la roca por absorción capilar y humedades.

6.1.2. Arenisca de Villamayor

También conocida como “piedra franca” y como “piedra dorada” de Salamanca, esta última denominación la recibe debido a las tonalidades que adquiere cuando sobre ella incide el sol. Las canteras de esta arenisca se encuentran en Villamayor de Armuña (Salamanca). Ha tenido un uso continuado y es de obligado uso en los proyectos de construcción y restauración de los edificios del centro histórico de la ciudad.



Figura 15: Entrada a la exposición Ieronimus, torre de la Catedral Nueva. Se aprecia la combinación de la arenisca de Villamayor (parte superior) con el granito de Martinamor (inferior). Y el deterioro de la arenisca debido a la acción del viento y el agua.

En la figura 15, se observa el deterioro de algunas piezas de arenisca, ampliado en la figura 16, debido a la composición con más o menos matriz arcillosa, y a la presencia de nódulos de manganeso, que aceleran los procesos de degradación de la roca cuando se alteran.



Figura 16: Alteración en la arenisca de Villamayor, producida por capilaridad, ya que se encuentra sobre el granito que es impermeable y la pequeña lámina de agua que queda sobre el granito cuando llueve es absorbida por la arenisca.

6.1.3. Granito de Los Santos

El granito de Los Santos se extrae de una localidad de nombre homónimo, situada a 50 km al sur de Salamanca. El área de las canteras se cruza con la Cañada Real de la Plata y con la Cañada Real Soriana Occidental, lo que refleja las excelentes vías de comunicación que presentó y presenta actualmente. Estas canteras aún se encuentran activas.

Algunos de los edificios históricos de la ciudad que presentan granito de Los Santos son el Colegio de Fonseca y las Escuelas Menores entre otros, siempre alternado con otras litologías, como es la arenisca dorada acorde con la monumentalidad de Salamanca. Este granito se ha empleado y se emplea principalmente como material de restauración del basamento ya deteriorado. No obstante, debería de considerarse la restricción de uso en restauración, ya que sus características visuales son muy diferentes a las de la “piedra pajarilla”. El granito de Los Santos se ha seguido utilizando en pavimentos y elementos decorativos de muchas calles y plazas.

6.1.4. Conglomerado silicificado o arenisca de Salamanca

Las canteras de la arenisca y conglomerados silicificados, constituían el subsuelo de la ciudad de Salamanca y los alrededores al sur del Tormes. Algunas de estas canteras estaban en Arapiles o Calvarrasa y podrían considerarse canteras históricas.



Figura 17: Arenisca de Salamanca o conglomerado silicificado. Fue usado en un principio en los zócalos, ya que presenta menos porosidad que la piedra de Villamayor. A esta roca se la ha denominado comúnmente “piedra

tosca” y está caracterizada por granos de cuarzo y cuarcita en un cemento de ópalo CT, con matriz de caolinita (Nespereira et al., 2010). Se ha usado desde la época pre-romana hasta la actualidad, fundamentalmente en el basamento de los edificios (figura 17).

Los bloques de arenisca o de conglomerado del basamento se reemplazaban por granito de Martinamor a finales del siglo XIX y comienzos del XX y a partir de ahí le toma el relevo el granito de Los Santos.

6.1.5. Vaugnerita

Las vaugneritas son rocas dioríticas micáceas de tamaño de grano grueso, con una asociación mineralógica de anfíbol, biotita, plagioclasa, con escaso cuarzo y feldespato potásico intersticial, así como abundantes cristales de apatito (López Plaza, 2006).

Las canteras de vaugnerita se sitúan en Calzadilla del Campo, cerca de Ledesma, a 40 km al noroeste de Salamanca.

La vaugnerita también ayudó a solventar el problema de la alterabilidad de la arenisca de Villamayor en el basamento de los monumentos y se usó para reforzar el Puente Romano.

También se encuentra vaugnerita en las plazas de: los Bandos, Colón y la Libertad.

En general, las vaugneritas son más resistentes que otros granitoides a la meteorización.

6.2. CANTERAS

Es importante mencionar las canteras de las que se extraía el material para construir los edificios históricos en Salamanca. Algunas de ellas ya no existen, otras pueden considerarse como canteras históricas, con la posibilidad de establecer una figura de protección de las mismas, para salvaguardar el patrimonio en peligro de desaparecer.

En Salamanca se inició una explotación de las canteras cercanas a la ciudad, que finalizó rápidamente. Como ejemplo tenemos las canteras de arenisca de Peñuelas de San Blas (Del Arco, 2010). Otro tipo de canteras son las que fueron usadas en el pasado pero su actividad ha cesado definitivamente, como en el caso de las canteras de vaugnerita de Ledesma y las de granito de Martinamor.

Un último tipo de canteras lo componen aquellas en las que se inició la actividad en el pasado y aún continúan activas, cambiando la disposición del área de explotación debido

a la introducción de nuevos métodos de explotación y a la expansión urbana; aquí destacamos las canteras de granito de Los Santos y las de arenisca de Villamayor.

Sería de gran interés establecer una figura de protección para las canteras históricas, para el posible uso de bloques en el caso de restauración obligada de monumentos protegidos. Actualmente han surgido diversas redes a nivel nacional e internacional (por ejemplo, la red nacional CONSTRUROCK y la internacional Heritage Stone Task Group, dependiente de la Unión Internacional de las Ciencias Geológicas IUGS) cuyos objetivos se basan esencialmente en proteger estas canteras históricas y dar valor a la piedra natural que se uso en la construcción del patrimonio arquitectónico de las ciudades.

6.3. PROTECCIÓN Y RESTAURACIÓN DEL PATRIMONIO CONSTRUIDO

La protección de la superficie externa de un monumento comienza por mantenerla libre de suciedades y elementos extraños, ya que mantener las fachadas limpias retarda los procesos de alteración de la piedra.

A la hora de realizar una restauración es necesario e imprescindible realizar una serie de estudios preliminares, tanto teóricos como prácticos, para un adecuado conocimiento del material a restaurar. Éstos estudios son importantes para garantizar una restauración con éxito e imprescindibles para los casos en los que la restauración no se pueda llevar a cabo con la piedra original y se deba intervenir con una sustitución. Conociendo las rocas sobre las que se va a actuar será más fácil emplear otras de características similares, porque las garantías de éxito dependen del uso de los mismos materiales u otros de características similares.

Las técnicas y los métodos para la restauración de piedra son:

- Diagnósis: consiste en conocer las características históricas, técnicas de realización y sucesos que han tenido lugar desde el origen de la construcción hasta el presente.
- Análisis no destructivos e información gráfica: para detectar el grado, naturaleza y origen de la alteración, así como también el grado de humedad y demás particularidades que estén en relación con la alteración.

- Análisis químicos y microscópicos: de importancia para conocer la composición y las características de las rocas para seguir las medidas de restauración que mejor se adapten a la roca.

Antes de llevar a cabo la restauración se realizan estudios en un laboratorio para determinar la eficacia y la durabilidad de los tratamientos que queremos dar a la roca. Para materializarlo se realiza una simulación sometiendo a la roca a los mismos procesos a los que se verá sometida en el ambiente final, reproduciendo las patologías observadas en la piedra de los monumentos y las mismas condiciones ambientales que han sido las generadoras de esos procesos de deterioro.

Una declaración de la UNESCO afirma: "mantener limpias las fachadas no es sólo una necesidad estética sino, sobre todo, una condición técnica de conservación de los materiales pues retarda los procesos de alteración. La eficacia de la limpieza sólo es real cuando se aplica a tiempo, antes de que el ataque sea profundo, y se debe repetir periódicamente lo que acentúa la importante noción del cuidado cotidiano de los monumentos".

Es importante contar en las restauraciones con un arqueólogo y un historiador, ya que se encargarán de dejar registro del desarrollo de la restauración y de los métodos empleados. La labor de estos profesionales es y ha sido importante a lo largo del tiempo para una mayor comprensión de las distintas operaciones de transformación del edificio. Antes de realizar las restauraciones también son de ayuda las fuentes gráficas como las estampas y las litografías. Las fuentes gráficas como pinturas o fotografías también son de gran utilidad a la hora de ver la evolución de un paisaje (Jungerius, 2012).

6.4. EJEMPLOS DE DETERIORO ESTUDIADOS EN SALAMANCA

A pesar de que existen numerosos ejemplos de deterioro de los edificios históricos en el centro de Salamanca, sólo se usará un ejemplo visto en el curso IP y las patologías presentes en las figuras 18 y 19.



Figura 18: Liebre situada en la Puerta de Ramos (Catedral Nueva), sobre el cuál la gente pasa la mano, ya que se ha extendido el rumor de que es un elemento de buena suerte, así lo denominan “conejo de la suerte”. Aquí se observa un claro desgaste con adherencia de suciedad, ejemplo de deterioro antrópico.



Figura 19: Cueva de Salamanca, se presentan signos claros de eflorescencias salinas y de desgaste, probablemente causa de la percolación de agua de la parte superior.

6.4.1 El Puente Romano

El Puente Romano se cree que fue construido en tiempos del emperador Trajano (98-118 d. C.), sin embargo, también se le atribuye un origen prerromano (Vaca Lorenzo et al., 2005). Ha sufrido diversas reconstrucciones y restauraciones como resultado de las grandes crecidas del río Tormes.

Se pueden diferenciar dos partes en el puente:

- La primera, de época romana, se corresponde con los 15 primeros arcos más próximos a la ciudad, está caracterizada por el empleo de areniscas y granitoides, como el granito porfídico biotítico de Los Santos (López-plaza et al., 2009). El relleno de estos arcos se realizó con piedra arenisca y fragmentos de pizarra, para ajustar las juntas de los sillares graníticos. Estas pizarras procedían de Mozárbez, pueblo situado a 15 km de la ciudad tomando la carretera de Béjar, que coincidía con la Ruta de la Plata.
- La segunda, comprende los diez arcos de la parte sur. Esta parte ha sufrido diversas reconstrucciones que quedan reflejadas por el uso de argamasa y las incorporaciones de diferentes tipos de rocas. Destaca el uso de la piedra vaugnerítica de Ledesma con la arenisca de Salamanca pre-eocénica o conglomerado silícico pre-eoceónico y el granito de Martinamor (Jiménez Fuentes y Martín de Jesús, 1992; Íñigo et al., 2005; López-Plaza et al., 2007a; López-Plaza et al., 2007b).

6.5. EJEMPLOS ESTUDIADOS EN OTRAS CIUDADES DE ESPAÑA

6.5.1 La Catedral de León

La catedral está construida con piedra caliza procedente de las canteras de Boñar, localizadas en el norte de la provincia de León. Esta caliza se ve afectada por el mal de la piedra, es una roca muy débil y una de las principales causas de la ruina de la catedral que aún en la actualidad presenta problemas de deterioro. Se han ejecutado varias restauraciones a lo largo de la vida de la catedral y también se han limpiado los canalones por los que discurre la lluvia, ya que se obturan y provocan crecimiento de hierbas, que se asocia a un aumento de humedad y erosión de la piedra. Las agresiones fundamentales de la piedra provienen de las heladas y de las sales originadas por la contaminación.

La Catedral de León desde sus inicios arrastra una serie de deficiencias, relacionadas con problemas en la cimentación, con los materiales utilizados y con defectos de construcción, que son la causa principal de su deterioro. La declaración de la catedral de León como Monumento Nacional en 1840 favoreció el inicio de algunas obras de restauración.

6.5.2. La ciudad de Cáceres

Entre las ciudades declaradas Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO, tenemos: Alcalá de Henares, Ávila, Cáceres, Córdoba, Cuenca, Ibiza, Mérida, Salamanca, San Cristóbal de la Laguna, Santiago de Compostela, Segovia, Tarragona y Toledo. Este nombramiento tiene como finalidad la protección, la conservación y la difusión de lugares de importancia natural o cultural que deben ser protegidos por constituir parte de la herencia de la Humanidad.

En la visita a la ciudad de Cáceres, se tomaron las fotografías que ilustran las figuras 20, 21 y 22. En la figura 20 se observa la placa acreditativa de Patrimonio Cultural de la Humanidad. Este distintivo lo presentan todas las ciudades que han obtenido este reconocimiento por parte de la UNESCO. En la figura 21 y 22 se contemplan diferentes patologías en las rocas de la ciudad antigua, como cristalización de sales, deterioro de zócalos y biodeterioro.



Figura 20: Placa acreditativa de Patrimonio Cultural de la Humanidad a la ciudad antigua de Cáceres. Posee este título desde noviembre de 1986.



Figura 21: En la parte derecha de la imagen se observan eflorescencias salinas. En la izquierda, se observa como la parte baja de la pared, se encuentra más deteriorada que la parte superior de la misma.



Figura 22: En esta calle de Cáceres se pueden observar mohos en ambos lados de la calle; el agua ha ascendido por capilaridad, ya que el granito que forma el enlosado de la calle peatonal es un material muy impermeable que no deja salir el agua subterránea que discurre por los bajos de la ciudad, ni filtrar el agua de lluvia que baje por la calle (Pereira y Cooper, en revisión).

Es muy importante el reconocimiento como ciudad o lugar Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO, pues se establece un protocolo de actuaciones de obligado cumplimiento para que los núcleos reconocidos como tales se preserven, no se deterioren y no pierdan la entidad de patrimonio.

Aparte de las ciudades citadas anteriormente, también han sido declaradas Patrimonio de la Humanidad: la Alhambra de Granada, las cuevas de Altamira, el Palacio de Versalles, la Acrópolis de Atenas, el centro histórico de Roma, la Abadía de Westminster, la ciudad vieja de La Habana, las Cataratas del Iguazú y las Islas Galápagos entre otros.

Se incluye el enlace de la UNESCO con el listado de lugares declarados Patrimonio de la Humanidad: <http://whc.unesco.org/en/list>.

La Lista del Patrimonio Mundial incluye 936 propiedades que forman parte del Patrimonio Cultural y Natural, de las cuales son: 725 culturales, 183 naturales y 28 mixtos.

7. LOS RIESGOS NATURALES Y SU RELACIÓN CON LA DESTRUCCIÓN DEL PATRIMONIO

Riesgo geológico natural es cualquier condición geológica, proceso o suceso potencial que suponga una amenaza para la salud, seguridad o bienestar de un grupo de personas o para las funciones o para la economía de una región determinada. Los desastres naturales dependen de la dinámica natural del planeta, se presentan riesgos naturales de tipo geológico, atmosférico y biológico; están relacionados indirectamente con la intervención humana en la medida que modificamos los efectos y la magnitud de los daños.

La superficie de la Tierra se ve modificada por una combinación de procesos de superficie que esculpen los paisajes y por los procesos geológicos que provocan el levantamiento tectónico y el hundimiento. Estos procesos pueden ser fluviales, eólicos, de ladera, glaciales, tectónicos, ígneos y biológicos.

Los riesgos naturales muchas veces se ven agravados por los humanos, ya que somos la especie natural que más desastres genera, eliminando especies, modificando el medio como más nos conviene, inventando sustancias tóxicas, aislando elementos radiactivos e iniciando guerras. Los riesgos generados por las personas y derivados de su interacción con el medio se denominan riesgos antrópicos.

Hay que resaltar que las áreas más activas, sísmicamente y vulcanológicamente, del planeta, brindan unas mejores condiciones para la actividad de las personas, como ejemplo están las superficies volcánicas que generan buenos suelos para los cultivos, los deltas, las zonas costeras y las llanuras de inundación en valles. Es por ello que muchos colectivos han decidido instalarse tradicionalmente en estas zonas, con el riesgo que ello supone.

Se trata de procesos naturales que sólo son peligrosos cuando las personas habitan en lugares donde más probabilidad existe de que éstos tengan lugar.

Estos riesgos geológicos se deberán analizar para ver en qué medida pueden llegar a afectar al patrimonio y las repercusiones que pueden tener sus efectos, para llevar a cabo unas adecuadas medidas de prevención.

A continuación se enumeran una serie de etapas a considerar en el estudio de riesgos naturales, tal y como se presentaron durante el curso IP y resumidas de los contenidos de las asignaturas referidas a esta temática, siempre indicando a su relación con la conservación del patrimonio:

- **Previsión.** En la fase de previsión y usando como ejemplo el maremoto de diciembre de 2004 en Sumatra, cabe destacar que los animales libres instintivamente se refugiaron en zonas altas, mientras que las personas se lanzaron a la playa seducidos por la retracción del mar. Si se hubiera observado y tomado nota del comportamiento de los animales se podrían haber salvado más vidas. No obstante, lo ideal sería invertir en investigación para desarrollar protocolos que ayuden a prever catástrofes naturales en el tiempo.

- **Predicción.** Los fenómenos desencadenados por los riesgos geológicos son previsibles pero casi imposibles de modelizar, ya que son fenómenos en los que intervienen diversas variables, algunas de las cuales no se pueden controlar. En general, no sabemos el tiempo exacto en el que se va a producir el peligro y a menudo es difícil comprender plenamente el peligro potencial de los procesos de la Tierra que funcionan con ráfagas de intensa actividad, separados por años, décadas, siglos o incluso milenios de relativa quietud.

- **Prevención.** Tiene como fin evitar, impedir o disminuir daños que pueda ocasionar un fenómeno natural o antrópico, a través de la planificación y de una adecuada gestión del territorio, mediante mapas de riesgos y actuaciones de carácter estructural y no-estructural. Un ejemplo de carácter preventivo es diseñar y construir una edificación en un lugar adecuado, teniendo en cuenta los estudios del suelo, amenazas de riesgos y conforme a unas medidas sismoresistentes.

- **Mitigación.** Considera todas aquellas medidas correctivas que se toman debido a la presencia con anterioridad de elementos que incrementan el nivel de riesgo, su propósito es tomar acciones orientadas a disminuir el impacto de un evento generador de daños en la población y en la economía.

- **Prevención para nuevos casos.** Hay que destacar que con cada desastre se aprenden cosas nuevas o se toman en consideración aspectos que anteriormente se habían pasado por alto. Cada desastre es diferente por sus causas y por los diferentes modos de abordarlo. Como ejemplo se destaca el terremoto en Japón, que llevó asociado un tsunami y generó problemas en la planta nuclear de Fukushima. La isla de Japón ha desarrollado buenas normas de construcción antisísmicas de obligado cumplimiento en todas sus construcciones, pero no llegaron a prever los riesgos asociados al terremoto como fue el tsunami.

7.1. PERCEPCIÓN Y EVALUACIÓN DE RIESGOS NATURALES

La percepción y evaluación de riesgos es fundamental para la evaluación individual y subjetiva de los riesgos naturales para predecir como deberá ser nuestro comportamiento durante el evento y ante las situaciones peligrosas que desencadene, servirá para la creación de medidas preventivas y/o de protección.

La primera etapa y también la más eficaz ante la prevención de riesgos, consiste en la eliminación de los mismos. Como ejemplos sencillos de aplicar, habría que prohibir edificar en áreas clasificadas con riesgo de inundación. Sin embargo, el afán por construir urbanizaciones ha hecho que incluso en Salamanca existan edificaciones en zonas de posible riesgo de inundación, como es la urbanización de La Fontana y alrededores, situada en la llanura de inundación del río Tormes. Hay que comprender que en algunos casos el riesgo no se puede evitar y hay que asumirlo, esto se define como riesgo aceptable.

Las técnicas de teledetección son de utilidad para la identificación de peligros y la evaluación de riesgos. Mediante los datos obtenidos con esta técnica se puede reconstruir la historia reciente de la superficie terrestre y es valiosa en la predicción de los riesgos, como por ejemplo en inundaciones y deslizamientos de tierra.

7.1.1. Mapas de riesgos para evitar desastres naturales

Los mapas de riesgos determinan el grado de exposición de las personas, actividades económicas e infraestructuras de un territorio a determinados peligros naturales, como pueden ser inundaciones, deslizamientos, sismicidad, vulcanismo, etc. Se elaboran estableciendo unos criterios numéricos para estimar objetivamente la vulnerabilidad y la peligrosidad. Estos mapas pueden resultar muy útiles, pues permiten conocer el riesgo de una determinada zona. Asimismo, la ciudadanía puede reclamar en caso de un desastre si no se han tenido en cuenta estos mapas. Los mapas de riesgo son una mejora notable para la prevención de desastres.

Los mapas de riesgo de inundación dividen las posibles zonas de inundación en tres franjas, una de baja probabilidad (eventos extremos), una de probabilidad media (eventos con un período de retorno de 100 años) y otra de alta probabilidad (eventos que se pueden dar con más asiduidad).

- MAPAS DE RIESGO EN ESPAÑA

Los mapas de riesgo no han sido de obligada realización y consulta hasta la llegada de la Ley del Suelo de 2008. La anterior ley (1998), fue modificada a raíz del desastre del camping de Biescas (1996).

Hay algunas comunidades que a raíz de inundaciones acaecidas, han elaborado mapas oficiales de riesgo y ahora son de obligada consulta cuando se van a desarrollar nuevos usos y actividades en su territorio.

7.2. TIPOS DE RIESGOS NATURALES

7.2.1. Riesgos gravitacionales

Se producen por procesos geodinámicos externos y afectan a la superficie terrestre con distinta velocidad y magnitud. Existen dos grandes grupos:

- **movimientos de ladera**: son reajustes del terreno que intentan estabilizar o equilibrar los materiales superficiales ante un cambio en las condiciones ambientales.
- **hundimiento y subsidencia**: son movimientos con componente principal en la vertical. Los hundimientos son movimientos repentinos y rápidos, que se dan sobre todo en cavidades subterráneas. Mientras que las subsidencias son movimientos muy lentos de materiales poco cohesivos que generalmente se dan por extracción de recursos.

7.2.1.1 Caso de la Alhambra de Granada

La integridad de la muralla-palacio de La Alhambra (Granada), monumento Patrimonio de la Humanidad, se ve en peligro por el avance del Tajo de San Pedro (figura 23). La Alhambra está construida sobre una colina, rodeada en su parte norte por el río Darro. El Tajo de San Pedro es un diedro de 65,5 m de altura, que corta la colina de La

Alhambra y se encuentra a 23,8 m de ella. Este elemento ya estaba presente antes de la construcción de este palacio, ya que es un accidente natural creado por la interacción del río.



Figura 23: Tajo de San Pedro.

Como causas del deterioro del Tajo, tenemos la erosión y la existencia de un régimen tectónico de extensión que relaja el terreno e impulsa los desprendimientos. También hay que destacar la existencia de varias fallas activas normales en los alrededores del monumento (Justo et al., 2009).

A modo de preservación de este monumento, se ha propuesto la solución de colocar una malla de alambre postensada de alto límite elástico y una revegetación autóctona. En 1520, ya se intentó dar una solución a este problema por medio de un relleno de tierras al pie del escarpe. En 1524, un fuego destruye la vegetación de restauración del Tajo de San Pedro, lo que provocó deslizamientos en el mismo al quedarse el suelo desprotegido.

El Tajo es un elemento que se quiere conservar por ser un fenómeno geológico singular y un elemento positivo en el paisaje de la zona. Si se preserva, va a evolucionar de un momento a otro, de manera que todo se venga abajo. Para solventar este problema, se tiene que buscar una solución que no modifique los elementos fundamentales del paisaje urbano y que tenga un impacto ambiental muy bajo manteniendo en la medida de lo posible el escenario actual sin alterarlo. En conclusión, se busca estabilizar el Tajo en su situación

actual, interviniendo con algún elemento que mantenga su forma como elemento integrador del paisaje, evitando que progrese y avance hacia la muralla de La Alhambra.

Para la protección de taludes, lo más común es el uso de mallas metálicas ancladas. Así se pretende dar solución al problema que presenta el Tajo mediante la creación de terraples o un muro de tierra armada en la base con drenes californianos. Para protegerlo de las crecidas del río, se colocará una malla de triple torsión para favorecer el crecimiento de vegetación. Por último, como medida de prevención se prohíbe el riego del bosque de La Alhambra.

Un aspecto que se ha tenido en cuenta es la abertura de la malla metálica de alto límite elástico, que se ha tomado lo suficientemente pequeña como para evitar la erosión del conglomerado y mantener un impacto visual aceptable. Hay un impacto visual mínimo, ya que la calle está a 40 m del Tajo, y la iglesia de San Pedro y San Pablo se encuentra delante del Tajo, lo que hace difícil distinguir la malla. Como extra, la malla se coloreará para mimetizarla con el terreno. Contra lo que no se puede luchar es contra los desplazamientos de las fallas normales que ya han dañado parte de la muralla que delimita La Alhambra.

Un ejemplo de malla metálica para evitar desprendimientos, en relación y similar a la malla que se pretende colocar en Tajo de San Pedro, lo encontramos en los alrededores de la Facultad de Ciencias, en la formación “Peña Celestina” (figura 24).

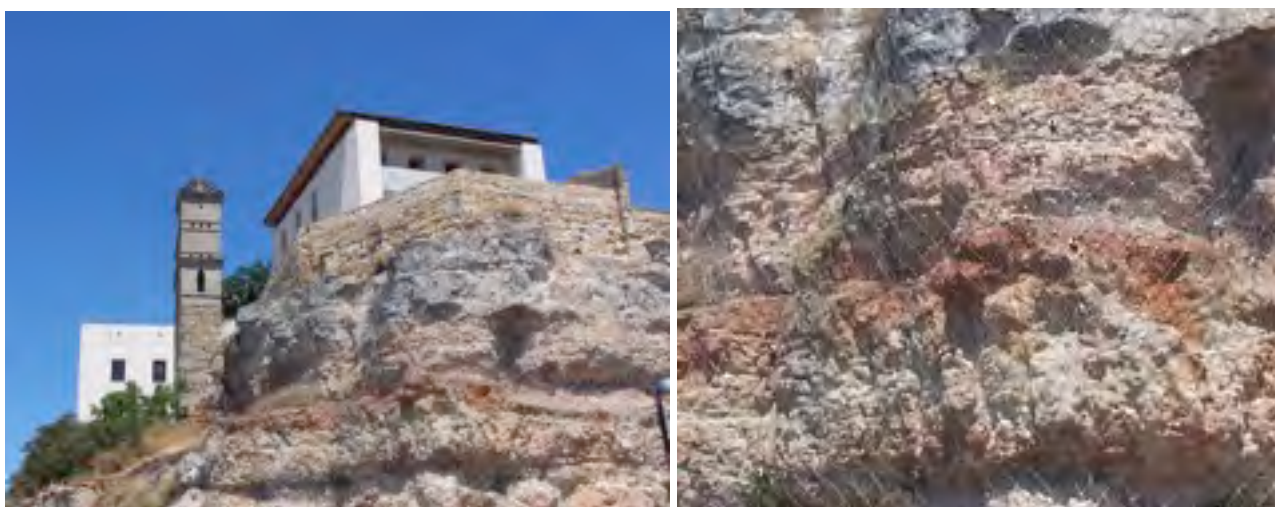


Figura 24: Formación Peña Celestina, por debajo de la Facultad de Ciencias, donde se observa la presencia de una malla metálica para evitar desprendimientos.

Otro ejemplo de la necesidad de preservación de un caso de riesgo, esta vez por motivos turísticos, es la Torre de Pisa, que ha atraído a millones de visitantes a esa ciudad. Al igual que la inclinación de la Torre de Pisa, el Tajo de San Pedro se quiere mantener por ser una formación característica de la zona. La construcción de esta torre se inicia hacia el año 1173, los cimientos no fueron los adecuados para el suelo sobre los que se asentaban, lo que provocó su inclinación tras la edificación de los primeros pisos.

7.2.1.2. Deslizamientos rotacionales

Durante el curso IP se visitaron las localidades palentinas de Tariego de Cerrato, Hontoria de Cerrato y Reinoso de Cerrato, en las que se observaron deslizamientos rotacionales que forman parte de los grandes deslizamientos rotacionales del centro de la cuenca del Duero. La cuenca del Duero es una cuenca intraplaca situada en la región noroeste de la Península Ibérica.

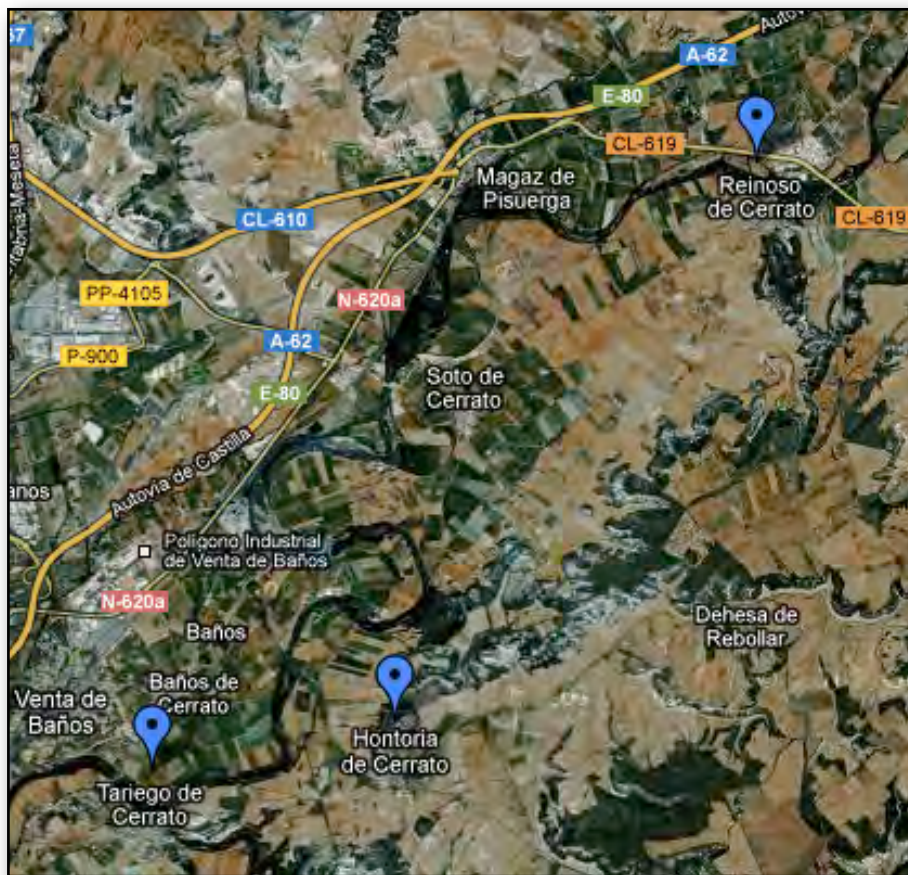


Figura 25: Localización de los pueblos visitados.

El Cerrato (figura 25) es una extensión palentina que sufre fuertes deslizamientos de tierra en una zona denominada ‘los valles del río Pisuerga’. Estos deslizamientos representan una evolución geológica que definen el sur de la provincia de Palencia.

Los deslizamientos son sucesos naturales que comprenden movimiento de masas de suelo y/o rocas por una pendiente, es decir, capas de terreno que se desplazan hacia zonas más bajas dando lugar a planos de corte en el terreno. Se han observado deslizamientos rototranslacionales, los cuales son una combinación de dos de los principales tipos de deslizamientos: a la cabeza del deslizamiento el movimiento es de rotación, mientras que a los pies es translacional y se produce una acumulación de sedimentos. Estos deslizamientos son comunes en las cuencas terciarias de la Península Ibérica (Duero, Ebro y Tajo). (Yenes et al., 2008).

Conocer el progreso de estos deslizamientos es esencial en el momento de elaborar planes de planificación y ordenación del territorio. El desarrollo de estos deslizamientos es objeto de estudio por personal de la Universidad de Salamanca, que han seguido la evolución de los deslizamientos mediante GPS. Según estos estudios, los movimientos registrados han sido escasos y se han limitado a reactivaciones de algunos deslizamientos relacionados con las crecidas del Pisuerga y a erosiones de cuencas fluviales. Los movimientos han sido limitados debido a las escasas precipitaciones en el período de estudio. Estos deslizamientos son el resultado de la erosión de los ríos y producen laderas de gran pendiente (Yenes et al., 2008).

- Deslizamiento de Tariago del Cerrato

Afecta a una columna de más de 150 m de espesor. No es un deslizamiento activo, ya que no afecta a la llanura de inundación y que con posterioridad a su formación se ha desarrollado una terraza. El meandro se ha visto modificado por el deslizamiento. Se encuentra estabilizado, por lo que no presenta ningún riesgo (figura 26). (Monterrubio et al. 2004).



Figura 26: Tariego del Cerrato.

- Deslizamiento de Reinoso de Cerrato

Este deslizamiento se ha reactivado presentando una evolución importante en la última década, por lo que se ha reforzado su vigilancia. Afecta a una columna de más de 160 m de espesor y a la llanura de inundación, debido a esto se interpreta como un deslizamiento actual (Yenes et al., 2008).

Se observó in situ la ausencia de terreno, que quedaba en evidenciada por un poste de luz suspendido en el aire (figura 27).



Figura 27: Reinoso del Cerrato.

Afectó a la antigua carretera de Baltanás, la cuál sufrió un nuevo trazado. En la figura 28 se contempla parte de la antigua carretera afectada por el deslizamiento.



Figura 28: Reinoso del Cerrato. Carretera cerrada afectada por el deslizamiento.

- Deslizamiento de Hontoria de Cerrato

Afecta a una columna de más de 170 m de espesor y a la llanura de inundación, presenta abundantes cicatrices internas y morfologías inestables (pequeños endorreismos), por lo que es un deslizamiento activo. No entraña ningún riesgo.

Se puede observar la clara relación del deslizamiento con el meandro del Pisuerga (figura 29). (Monterrubbio et al. 2004).



Figura 29: Hontoria del Cerrato.

Los deslizamientos están relacionados con los ríos de la siguiente manera:

- Si el deslizamiento afecta a la llanura de inundación se deduce que es un deslizamiento actual.
- Si se observa la formación de terrazas, éstas se han formado después del deslizamiento, éste no es activo.
- Los meandros pueden modificar su trazado debido a los deslizamientos.

Respecto a las observaciones que se pueden hacer sobre el propio deslizamiento, si existen cicatrices internas y morfologías inestables se puede deducir que es un deslizamiento activo. Los factores que han determinado la generación de los deslizamientos actuales en la cuenca del Duero han sido: el nivel de erosión del río, la fuerte pendiente creada por la progresiva erosión lateral de las orillas del río, la baja resistencia al corte en los niveles de arcilla de la Facies Dueñas y los eventos ocasionales de precipitaciones intensas. Antes de ver in situ los deslizamientos se realizó una práctica de fotografía aérea. A través de ella se interpretaron los rasgos del paisaje.



Figura 30: Grieta de tracción en el borde del páramo en Hontoria.

Es importante que la comunidad en la que se está estudiando un deslizamiento colabore observando y realizando un seguimiento de los procesos de la pendiente, para generar una cooperación con el estudio y con las posibles evacuaciones.

Los deslizamientos forman parte del ciclo natural del terreno, donde la erosión y la gravedad actúan constantemente transportando materiales de las zonas altas hacia zonas más bajas. La modificación antrópica del terreno mediante la creación de taludes en carreteras o caminos, también pueden ser causas desencadenantes de deslizamientos. Las primeras

evidencias de la formación de un deslizamiento consisten en la apertura de grietas en la ladera original a lo largo de lo que se convertirá en el escarpe de rotura (figura 30).

Las litofacies definidas en esta zona, son típicas de la zona de Castilla más cercanas al río Duero. El día de campo que se observaron todos los deslizamientos anteriores, se tuvo la oportunidad de ver la secuencia litoestratigráfica típica de la cuenca del Duero, según se subía a un páramo. También se tuvo la ocasión de observar una choza (figura 31), constituida por calizas del páramo (facies Cuestas). Esta construcción sencilla es parte del Patrimonio Cultural de la zona y es importante su conservación. Así, se definen de abajo hacia arriba las facies litoestratigráficas de la cuenca del Duero, que son:

- Facies Dueñas: niveles de arcillas, arcillas margosas, margas y yeso macrocristalino son las litologías predominantes.

- Facies Tierra de Campos: limos, arenas y arcillas, con algunos niveles de arena y grava. Su color ocre es fácilmente reconocible entre los colores gris, verde y blanco de la otras litologías.

- Facies Cuestas: consiste en margas, arcillas margosas, yeso, piedra caliza, y dolomías, llegando a más de 80 m de espesor.

- Calizas del Páramo: estos materiales están compuestos por calizas y margas. Son los niveles de carbonato que constituyen las plataformas calcáreas del "páramo".



Figura 31: Choza o refugio de pastores y tierra de labranza o pedregal. El chozo o refugio de pastores, está realizado con margas y calizas del páramo.

Los principales factores que generan inestabilidad son:

- La actividad humana, que ocupa terrenos que son totalmente inadecuados para la ubicación de poblaciones. Se ocupa la tierra realizando excavaciones en pendientes pronunciadas y labrando cultivos inadecuados.
- Excavaciones producidas por las corrientes en las orillas de los ríos.
- Actividad sísmica.

7.2.1.3. Ejemplos de subsidencia

Una superficie puede experimentar un hundimiento por varias causas. Los ejemplos que se van a presentar están relacionados con la subsidencia o hundimiento del terreno por sobreexplotación de acuíferos y por falta de respeto geotécnico.

Muchas ciudades alrededor de todo el mundo, están experimentando una subsidencia como consecuencia de la sobreexplotación de las aguas subterráneas.

Mientras los hundimientos sean regulares (toda la estructura asiente por igual), no existe mayor problema para la estructura del edificio, pero sí que hay que tomar medidas cuando se producen asentamientos diferenciales que pueden desestabilizar la estructura.

Se han documentado los casos de China y la ciudad de México, y durante el curso IP se utilizaron como ejemplos de la importancia de un buen sistema de información y comunicación de riesgos desde la comunidad científica hacia la sociedad para poder prevenir algunos efectos de las catástrofes naturales. Pero en este apartado nos ceñimos a los estudiados en Europa, para relacionarlos con el objetivo del Trabajo de Fin de Carrera, por su relación con el deterioro y conservación del patrimonio.

- Venecia (Italia)

El norte de Italia, se ha visto afectado por el fenómeno de subsidencia a lo largo de la costa adriática, de Rimini a Venecia, en especial en las inmediaciones del Delta del Po y en los alrededores de ciudades como Milán, Bolonia y Módena. Este fenómeno es debido al hundimiento natural del área, pero se ha visto agravado por la extracción de gas natural con un alto contenido en agua.

Venecia es una ciudad única en el mundo. En realidad es un conjunto de 118 pequeñas islas, unidas por puentes. Se edificó sobre un suelo arenoso y fangoso, lo que desencadenó un hundimiento gradual con el tiempo. A esto se le unen las inundaciones frecuentes que padece, que se acentúan con el aumento del nivel del mar. Debido a estos fenómenos, el casco histórico de Venecia descendió 23 centímetros en el siglo pasado.

Para frenar estas inundaciones, se está llevando a cabo un proyecto llamado ‘Mose’, Módulo Experimental Electromecánico, que consiste en un conjunto de compuertas submarinas que se activan cuando la marea supera los 1,10 metros, cerrando temporalmente las vías que conectan la laguna veneciana con el mar. Este sistema de compuertas deberá usarse con precaución, ya que se corre el riesgo de que las aguas queden estancadas, con el peligro de insalubridad que ello supone.

Antes de poner este proyecto en marcha ya se habían llevado a cabo otras soluciones para evitar las inundaciones, una de las cuales fue elevar los pavimentos de las calles y los edificios hasta donde fuera posible. Otro proyecto para solventar este problema se presentó en 2005 y consistía en elevar la ciudad excavando pozos en torno a la urbe e introducir durante un determinado periodo de tiempo agua bajo Venecia. Se supone que con esto se conseguiría un levantamiento de la ciudad de 30 centímetros.

Como parte del patrimonio arquitectónico afectado por las inundaciones, encontramos la Basílica de San Marcos, un ejemplo de arquitectura bizantina, que se encuentra a 74 cm. sobre el nivel del mar y se ve afectada con regularidad por el ‘acqua alta’. El fenómeno denominado ‘acqua alta’ o ‘marea alta’, se da en primavera y otoño, dos veces al día, situación en la que la plaza San Marcos queda superficialmente anegada (Cassiani y Zoccatelli, 2000).

- Lorca (España)

En España destacamos la población de Lorca, que posee la tasa de hundimiento más rápida de Europa y una de las mayores del planeta con valores que oscilan entre los 6 y los 15 centímetros por año y que afectan a una extensión de unos 690 kilómetros cuadrados. Desde 1995 hasta 2010, la superficie del municipio de Lorca ha sufrido un descenso de 1,5

metros aproximadamente. Para el estudio de este fenómeno hay que tener en consideración los períodos de sequía que tuvieron lugar entre 1992 y 1995, que aceleraron el hundimiento. Se registró un descenso de 15 centímetros anuales entre 1996 y 1997, después se pasó a 6 centímetros por ejercicio.

Lorca se sitúa en una región semiárida con recursos hídricos limitados que desde mediados de los años 60 se vio obligada a extraer el agua de los acuíferos para regadío. Cuando la explotación del agua subterránea es muy superior a las recargas, se origina un descenso en las reservas de los acuíferos a la vez que se reduce la presión interna de los materiales del acuífero, por lo que los materiales se compactan y pierden volumen, lo que se traduce en un descenso de la superficie del terreno.

Otra ciudad española que sufre subsidencia es la ciudad de Cáceres, problema generado por la sobreexplotación de los acuíferos.

7.2.2. Riesgo de erosión

La erosión es un proceso geológico natural que forma parte del ciclo geológico externo, está regulada por la gravedad y condicionada por factores geológicos, climáticos y antrópicos. El suelo es un recurso renovable, pero en comparación con la duración de una vida humana, se considera como un recurso no renovable, ya que para formar un centímetro de suelo se necesitan al menos 100 años.

En la actualidad existen áreas extensas de tierras afectadas por procesos de degradación irreversibles como: erosión acelerada, desertificación, compactación, endurecimiento, acidificación, reducción en el contenido de materia orgánica, disminución de la biodiversidad genética y agotamiento de la fertilidad natural del suelo.

Los países costeros industrializados tienen en cuenta el problema de la erosión costera, ya que en las últimas décadas debido al uso de grava y arena como áridos para construcción, muchos ríos han visto disminuida la tasa de transporte de sedimentos del río a la playa, lo que se refleja en un retroceso de la costa, que ha llegado cerca de áreas edificadas obligando a su abandono.

7.2.3. Riesgo de inundación

Para la prevención y evaluación de las inundaciones, se deben realizar observaciones de las características físicas, el uso y ocupación del suelo, así como las formas de mitigación de riesgos y prácticas estructurales y no estructurales.

Una forma de prevenir las inundaciones es mediante mapas de riesgos de inundación, en los que se distinguen tres áreas:

- Alta: con un período de retorno de menos de 10 años.
- Media: con un período de retorno de entre 10 a 100 años.
- Baja: período de retorno mayor de 100 años.

Desde el punto de vista geológico, las inundaciones son consecuencias naturales en un medio en continua evolución. La cantidad de precipitación que cae en cualquier cuenca de drenaje varía con los días, años y siglos. Hay temporadas secas y húmedas.

En lo que se refiere al hombre y su interacción con el medio, hay que destacar que a menudo no se respetan los dominios naturales de las referencias en el río, por ejemplo cuando se construye en las llanuras de inundación.

Una de las inundaciones más conocidas tal vez sea la relacionada con la presa del Vajont (Italia), acontecida en 1963. Este desastre es un claro ejemplo de la ausencia de un trabajo conjunto entre profesionales de la ingeniería y de la geología.

En la primera prueba de llenado de la presa hubo desprendimientos y 3 años después, en un relleno se produjo un gran deslizamiento que desplazó el agua haciendo que sobrepasase la presa, destruyendo totalmente un pueblo y los alrededores. La presa no sufrió daños de importancia y aún sigue en pie. Hubo avisos de geólogos y periodistas alertando de los peligros del llenado de la presa y su relación con los deslizamientos.

Una similitud con la presa del Vajont, la tenemos en el embalse de Yesa (Navarra), donde se puede repetir el desastre, porque se han producido movimientos de ladera y han aparecido grietas en las inmediaciones.

Hay que tener en cuenta que muchas veces los desastres producidos por este tipo de riesgos podrían ser evitados. Sin embargo, no siempre se atienden a las características naturales del

terreno. Es el caso de algunas de las urbanizaciones nuevas levantadas en los alrededores de la ciudad de Salamanca, construidas en las llanuras de inundación de los ríos.

7.2.3.1. Embalse del Yesa

El embalse del Yesa se sitúa entre las provincias de Navarra y Aragón y pertenece a la cuenca hidrográfica del Ebro. En los últimos años se ha dado paso al proyecto de recrecimiento de la presa para aumentar la capacidad del embalse con la gran controversia que esta generando en los pueblos de la zona. Actualmente, la presa presenta riesgos de deslizamientos, fenómeno que se vería agravado si se lleva a cabo un aumento de su capacidad. Ante condiciones de saturación de agua (llenado del embalse, sucesivos llenados y vaciados) y/o movimientos sísmicos, la estabilidad de la ladera puede verse afectada, y con ello la estabilidad de la presa.

La localidad de Sangüesa es muy vulnerable a las inundaciones, en caso de producirse problemas de estabilidad de laderas, la localidad se vería fuertemente afectada. El estudio detallado y el análisis de los riesgos geológicos son herramientas fundamentales para la prevención de catástrofes, sobre todo en proyectos de obras públicas, que se pueden ver afectados por fenómenos que intervengan en su estabilidad y resistencia.

La investigación de las catástrofes acontecidas en una comarca geográfica mediante técnicas geológicas, históricas y paleogeográficas, es una de las metodologías más importantes para la determinación de los futuros riesgos, sobre todo cuando los períodos de recurrencia de los mismos sobrepasan la duración de una vida humana. Asimismo, la investigación geológica y geomorfológica indica las pautas que siguen los movimientos de ladera y la evolución de vertientes a la escala de decenas o centenares de años.

En el entorno del embalse afloran rocas sedimentarias y existe la presencia de un afloramiento de facies flysch. La facies flysch está formada por depósitos turbidíticos en una alternancia de areniscas y lutitas, muy propensas a deslizamientos a favor de planos de estratificación y que presentan anisotropías debidas a la estratificación que junto con la existencia de fracturación plana y curva hace que los valores de cohesión sean muy bajos o prácticamente nulos.

Otro problema asociado a la presa es el de la sismicidad inducida. La sismicidad inducida se genera en un gran número de presas, en concreto en aquellas con una columna de agua de más de 50 metros aunque no estén construidas sobre zonas sísmicamente activas. Este fenómeno se produce cuando se realiza el llenado de la presa y su frecuencia varía en la forma en la que lo hace el agua. La magnitud de los terremotos inducidos, ha llegado a alcanzar los 6,2 grados en la escala Richter en las presas de Deccan (India), 5,7 en Oroville (California) y 5,3 en Aswan (Egipto).

Cuando se producen las avenidas los embalses actúan como elementos reguladores aumentando el nivel de las aguas rápidamente si hay grandes crecidas, esto favorece la desestabilización de los materiales susceptibles de deslizar hacia el embalse. El riesgo más grave que presenta el embalse de Yesa es la existencia de deslizamientos, que se vería agravado si se ejecuta un recrecimiento del mismo.

La realización del recrecimiento dañaría al patrimonio de varias localidades: villas romanas, ermitas, poblados medievales, necrópolis, la iglesia románica de San Esteban, el hospital de Santa Ana del siglo XVI, baños termales de época romana que quedarían inaccesibles y una parte del Camino de Santiago.

7.2.4. Riesgo sísmico

En este caso nos ceñimos a los ejemplos de riesgos sísmicos en Europa, dados los últimos acontecimientos. Los terremotos más destructivos ocurridos en los países mediterráneos, especialmente Grecia, Italia y Turquía, se encuentran en la zona de colisión entre las placas euroasiática y la corteza africana.

El terremoto de Lisboa, también conocido como el Gran Terremoto de Lisboa (1755), afectó a Portugal y a parte de España. Fue seguido de varios incendios y un tsunami, que causó la casi total destrucción de Lisboa y de las zonas próximas. Parte de las ciudades y aldeas costeras del Algarve sufrieron graves daños, a excepción de Faro que estaba protegido por los bancos de arena de la Ría Formosa. Este terremoto afectó a una parte importante de la península, incluida Salamanca. El terremoto afectó a la Torre de la Catedral Nueva, daño que ya se expuso en el apartado 6.1.1.

La zona atlántica frente al Cabo de San Vicente (suroeste de Portugal), es una de las zonas de mayor actividad sísmica del mundo, aunque los efectos dañinos de los seísmos que allí se generan quedan minimizados por los centenares de kilómetros que separan esa zona de las costas portuguesa y española. En ella se localiza un denominado "punto triple", un lugar en el que contactan y friccionan las placas euroasiática, africana y atlántica.

El sureste español, con Granada, Almería, Murcia y el sur de la provincia de Alicante, son las zonas de más peligrosidad sísmica dentro de España. Murcia es una de las zonas sísmicamente más activas de España por la presencia de fallas activas. Ha sufrido terremotos en 1999, de 5,2 grados en la escala Richter, en 2002 de 4,5 y en 2005 de 4,6. El más reciente tuvo lugar en Lorca en mayo de 2011, de 5,1 grados, que arrasó parte su patrimonio, pero que se está reconstruyendo en el marco del Plan Director de Recuperación del Patrimonio Cultural de Lorca. La intervención ha sido llevada a cabo por el Instituto del Patrimonio Cultural de España.

En Arenas del Rey (Granada), se produjo el último terremoto de gran intensidad en España, con una magnitud de entre 6,5 y 6,7 grados en la escala Richter. En 1829, aconteció en Torrevieja (Alicante), un terremoto de 6,9. Por lo general los terremotos en España son de baja intensidad, no superan magnitudes de 5 grados en la escala Richter.

Los efectos de los terremotos pueden ser bastante minimizados a través de medidas eficaces de prevención y reducción de la vulnerabilidad. No se puede obtener una predicción temporal de un terremoto pero sí predicciones espaciales, ya que se puede saber qué áreas son más propensas a sufrir un terremoto. No sabemos en qué momento se va a originar un terremoto, pero se recurre a la estadística histórica para hacer una aproximación, ya que los eventos catastróficos se repiten con espacios de tiempo determinados.

Un adecuado método de prevención en el caso de Lorca hubiera sido construir de acuerdo a normas antisísmicas, establecidas según las características de riesgo de la zona. En Japón está regulado el diseño antisísmico de las construcciones. Así un terremoto de magnitud 9 en escala Richter apenas provoca daños. Pero España no tiene un pasado sísmico tan fuerte como Japón.

- MÉTODOS DE PREDICCIÓN DE SISMOS

La predicción de estos fenómenos constituye un problema aún sin resolver. Se sabe que los terremotos se producen en zonas concretas y con regularidad cada cierto número de años. La predicción temporal se realiza a través de estadísticas realizadas a partir de datos del pasado.

Otro método eficaz de predicción es la localización de las fallas activas, ya que el 95% de los seísmos se producen como resultado del movimiento de las placas litosféricas, que se desplazan a una velocidad de 1 a 10 cm por año. Las fallas situadas en los límites de las placas se mueven con una frecuencia determinada, liberando de forma súbita la energía acumulada cada cierto número de años. A este espacio de tiempo se le denomina intervalo de recurrencia o período de retorno.

Los fenómenos sísmicos que ocurren en el interior de los continentes son más difíciles de prever, porque su intervalo de recurrencia suele ser superior al milenio y su desplazamiento varía entre 1 mm y 10 mm por año, siendo más pequeñas las fallas que los causan, la profundidad de su foco y las áreas afectadas.

7.2.4.1. Terremoto en la Emilia-Romaña (Italia)

El 21 de mayo de 2012, un terremoto de 5,9 grados de magnitud en la escala Richter, sacudió la región de la Emilia-Romaña (norte de Italia). El patrimonio histórico del país se ha visto fuertemente dañado por una catástrofe natural, un terremoto que ha provocado daños incalculables en el patrimonio histórico del país. Las provincias más afectadas por el terremoto han sido Módena y Ferrara.

Ha afectado a monumentos medievales, algunos con más de mil años de antigüedad, como castillos de época, iglesias y palacios italianos del renacimiento, siendo estos últimos los más afectados por el sismo.

El epicentro se situó a 26 kilómetros al norte de Bolonia, entre las provincias de Módena y Ferrara, en una zona casi despoblada, por lo que no causó tantos daños como los de L'Aquila (2009), en el cuál el epicentro estaba en la misma ciudad.

Tuvo réplicas, una de 5,1 grados y otras que no superan los 4 grados. Y la sacudida principal fue precedida por otros dos movimientos sísmicos de intensidad 4,1 y 2,2 respectivamente. Cuando se producen terremotos de gran intensidad se genera una sacudida principal, seguida de otras que se denominan ‘de asentamiento’.

No hubo daños graves entre la población, pero si muchos daños en edificios históricos e iglesias, por citar algunos ejemplos:

- La iglesia de San Felice sul Panaro (Módena), ha perdido el campanario.
- En la ciudad de Ferrara, cuyo centro histórico es Patrimonio de la Humanidad desde 1995, se ha visto afectado el castillo de los Este, construido a partir de 1385.
- En Finale Emilia (Módena), se ha derrumbado parcialmente la Torre del Reloj del siglo XIII.

Este seísmo fue de igual magnitud que el que tuvo lugar en Los Abruzos (centro de Italia) en abril de 2009, con graves daños en edificios y viviendas, destruyendo el centro histórico de L’Aquila.

7.2.5. Erupciones volcánicas

Algunas erupciones históricas, tanto dentro como fuera de Europa, han sido:

- La erupción del Vesubio en el año 79, destruyó Pompeya.
- En 1902 el Monte Pelée, en la isla francesa de las Indias Occidentales de la Martinica, causó la muerte de toda una ciudad de 30.000 habitantes con solo una sola explosión.

Algunas de las erupciones volcánicas que seran recordadas por su gran magnitud son: Santa María (Guatemala, 1902), Krakatoa (Indonesia, 1883) y Katmai (Alaska, 1912).

7.2.5.1. Predicción de erupciones volcánicas

En las técnicas de predicción de erupciones volcánicas deben valorarse todos los factores posibles y luego interpretarlos a la luz de la experiencia geológica. Los factores que se deben tener en cuenta son, las estadísticas de las erupciones ocurridas a lo largo de la historia y la reconstrucción de estas erupciones pasadas mediante datación y cartografía geológica.

La predicción de la peligrosidad de un volcán, se puede realizar mediante cartografía geológica, dataciones y con un estudio de los materiales eruptivos. Los volcanes, deberían de recibir una atención básica y ser vigilados con instrumentación adecuada. Para una buena predicción hay que conocer los volcanes, la zona en la que se encuentran y que tipo de erupciones se originan.

8. EDUCACIÓN, CONSERVACIÓN, ORDENACIÓN DEL TERRITORIO Y ACTIVIDAD TURÍSTICA DE SITOS GEOMORFOLÓGICOS Y ACCIDENTES GEOGRÁFICOS

En la comunidad de Castilla y León existen espacios naturales reconocidos y protegidos. Durante el desarrollo del curso IP se visitó el espacio natural de Las Arribes del Duero, un espacio de gran valor natural, paisajístico y faunístico, situado al oeste de la penillanura salmantino-zamorana. La división territorial de este espacio está marcada por el río Duero, que coincide con la frontera entre Portugal y España. Está caracterizado por unos cañones y valles con un microclima mediterráneo, en contraste con el clima continental de la meseta.

España y Portugal forman parte del mismo espacio natural, pero el paisaje es diferente a un lado y a otro; el cultivo en bancales se ve incrementado en la parte portuguesa, mientras que en la española se ha abandonado en la mayoría de las zonas. A excepción de la zona de bancales de la localidad de Vilvestre (figura 33), que está bien conservada, siendo un ejemplo de patrimonio paisajístico que merece la pena conservar, porque nos muestra los usos de los suelos, pero también el uso de la piedra natural para construir los muros de mantenimiento de las terrazas (Recio 2009, Pereira et al. 2010).



Figura 33: Parte española de Las Arribes.

El abandono de los cultivos está dando lugar a una pérdida de diversidad paisajística, encontramos cubierta matorral donde antes había vides, almendros, olivos y frutales. Esto

no sólo afecta a la desaparición de patrimonio paisajístico y de actividades tradicionales, sino que supone un aumento de los riesgos que pueden afectar al terreno, ya que se pueden dar deslizamientos de ladera, al desaparecer los árboles y ser arrastrados los muros de contención, e incendios, debido al abandono de los terrenos, que se cubren de matorral y en verano son pasto fácil de las llamas.



Figura 34: Parte portuguesa de Las Arribes del Duero, ejemplos de cultivo en bancales.

El cultivo en bancales es característico de la zona de Las Arribes (figura 34). Este tipo de cultivo se sitúa sobre el sustrato metamórfico y consiste en romper la pendiente natural del terreno mediante la construcción de muros de piedras, con lo cual se consigue una reducción de los efectos de la erosión hídrica. Por esto, se deben conservar los muros de piedra que forman los bancales, ya que sino se desaprovechará todo el sustrato productivo acumulado durante años.

La forma de cultivo en bancales ha dado lugar a un paisaje ecocultural de gran riqueza y valor cultural, ya que es consecuencia de la adaptación de la evolución histórica en un

medio con unos límites naturales característicos (Pereira et al. 2010). La población del lugar se vio obligada a buscar una forma de explotación adecuada a las características del suelo. El cultivo en bancales es una herencia cultural que ha ido perdiendo importancia debido a:

- el movimiento de la población hacia las ciudades,
- la mala accesibilidad a los valles de elevada pendiente y
- la escasa productividad del suelo.

8.1. PATRIMONIO GEOLÓGICO DE LAS ARRIBES DEL DUERO



Figura 35: Punto de información al inicio del camino hacia la Peña Redonda.

El patrimonio geológico hay que considerarlo como una parte inseparable del patrimonio (natural y cultural) del espacio natural de Arribes del Duero. El patrimonio geológico (Durán, et. al. 2005), se define por todos aquellos recursos naturales, ya sean formaciones superficiales, rocosas, estructuras, acumulaciones sedimentarias, paisajes, yacimientos minerales, paleontológicos y todos los elementos geológicos de significado valor científico, cultural, educativo y/o de interés recreativo cuya exposición y contenido es especialmente adecuado para reconocer, estudiar o interpretar la historia y la evolución geológica de un determinado ámbito, región o territorio.

La red de Espacios Naturales de Castilla y León, presenta en todos los recorridos a puntos de interés de la zona, carteles informativos con las diferentes rutas, dificultad del recorrido y tiempo de realización aproximado del mismo. En la figura 35 se observa el cartel situado antes de iniciar el camino de la Peña Redonda.

8.1.1. Relieves residuales o montes isla: “La Peña Redonda”

Este relieve residual es típico de "montes islas" y es anterior a la destrucción de la superficie del mismo. El granito presente ha resistido la nivelación, ya que sufrió alteración hidrotermal (episienitización), que transformó la composición granítica, perdiendo gran parte del cuarzo y adquiriendo un color rojizo debido a las microinclusiones de óxidos e hidróxidos de hierro.

Durante el proceso de producción del relieve, el granito previamente cortado por fracturas se vio alterado por fluidos hidrotermales y agua. Procesos aéreos y subaéreos afectaron el granito, dando lugar al aspecto que presenta hoy, dejando relieves graníticos que destacan sobre la penillanura.



Figura 36: Peña Redonda (La Fregeneda).

La acción del agua ha producido una alteración reciente diferencial de tipo químico y mecánico, que ha originado alteraciones que generan cavidades de tipo alveolar o “taffoni” en la roca. El término "taffoni" se aplica a hendiduras producidas por meteorización en las paredes inclinadas (figura 36). Este mismo efecto se observa en algunas rocas de edificios históricos, de ahí que la observación de la roca en el campo pueda servir de análogo natural para su comportamiento una vez emplazada en la construcción.

La penillanura esta caracterizada por una amplia llanura granítica, en la que destacan grandes relieves negativos producidos por la acción del río y varios relieves positivos aislados graníticos, como la Peña Redonda (figura 36), en la Fregeneda, La Peña, en el pueblo del mismo nombre, y otros muchos ejemplos que aparecen en la zona.

Pero además, en otros sitios del mundo esta alteración selectiva a dado lugar a paisajes considerados Patrimonio de la Humanidad. En 1983, los paisajes formados por los granitos rojos en la isla de Córcega entraron a formar parte de la lista de Patrimonio Universal.



Figura 37: Calanques de Piana (Fuente: <http://www.france-voyage.com>).

En la figura 37 se observa el paisaje de Calanques de Piana, que forma parte del Parque Natural Regional de Córcega. Calanques de Piana, junto con el golfo de Porto y la Reserva de Scandola, integran este bien natural de paisajes graníticos rojos de la isla de Córcega.

8.2. GEODIVERSIDAD

La geodiversidad son las variedades de materiales de la tierra y la forma, formas y procesos que la constituyen.

Como resultado de la geología y los procesos naturales, se tienen diferentes accidentes geográficos y una gran variedad de tipos de suelo, que influyen en el uso del suelo (como hemos visto anteriormente con el cultivo en bancales), la distribución y la naturaleza de los hábitats, el carácter y la ubicación de nuestras poblaciones.

Los volcanes guardan relación con la riqueza de los suelos y esto hace que la historia de un pueblo a veces esté relacionado con su historia geológica.

Los geomorfositos son formaciones geomorfológicas que han adquirido un valor científico, cultural, histórico, estético, social y económico, debido a la percepción humana o de la explotación (Panizza, 2001).

Los geoparques son estructuras adecuadas para la conservación y la promoción de los geomorfositos, y pueden aumentar la conciencia pública de los valores del patrimonio geológico.

8.2.1. El Mar Muerto

Existen lugares de interés geológico y turístico muy interesantes, como es el mar Muerto, un lago endorreico hipersalino y el lugar más bajo de la tierra. Se encuentra 416 metros bajo el nivel del mar, delimitando Israel, Palestina y Jordania. Es un lugar único en el mundo. Tiene unos 80 km de largo y una anchura máxima de 16 km, cuenta con una superficie de 810 km cuadrados aproximadamente. El mar Muerto es once veces más salado que el océano, por lo que se flota con facilidad, característica que lo ha hecho mundialmente popular. Sin embargo, este sitio emblemático está en peligro de desaparecer.

Principalmente recibe aportes del río Jordán. Las aguas de este río se han destinado en los últimos años a los regadíos de la zona, con lo que el mar Muerto ha visto reducidas sus aportaciones.

Es rico en minerales que se extraen en grandes cantidades. Las empresas dedicadas a la extracción se sitúan en la parte sur del mismo. En el proceso de extracción se evapora artificialmente el agua en piscinas de desecación, obteniendo el agua de la parte norte, hecho que colabora con la bajada del nivel de las aguas y que ha tenido como consecuencia la desconexión de la parte norte y la parte sur del lago. El nivel de agua del mar Muerto desciende a un ritmo de un metro por año, lo que podría llevar a su desaparición en cuatro décadas.

Una estrategia de conservación de este lugar característico se basa en conseguir que la UNESCO lo declare Patrimonio de la Humanidad. Para esta región de Oriente Medio, perder este lugar tendría repercusiones económicas, porque perdería uno de los destinos turísticos más importantes de la región.

En relación con el mar Muerto se presenta el caso del mar de Aral, otro mar interior que ya casi se ha perdido por completo. Era el cuarto lago más grande del mundo, con unos 66.000 kilómetros cuadrados, habiéndose reducido su extensión en un 75% en 2004 a causa de la agricultura intensiva y de los desacuerdos de uso del agua entre los países colindantes. Este es el final de algunos sitios de gran interés si no se acometen las medidas de protección necesarias.

9. LUGARES HISTÓRICOS: PATRIMONIO CULTURAL

El último aspecto a tratar en el curso IP en relación con el Patrimonio Cultural tuvo que ver con las construcciones fronterizas: castillos y fortalezas en la frontera entre España y Portugal, algunas de las cuales están consideradas como bienes de interés cultural y nos han servido para estudiar la utilización de la piedra natural como material de construcción desde la Edad Moderna, su conservación y el deterioro relacionado con la actividad antrópica así como las propuestas de restauración por parte de las instituciones públicas y privadas.

Se han visitado las siguientes fortificaciones fronterizas (figura 38): Ciudad Rodrigo, Fuerte de La Concepción o Fortaleza de Aldea del Obispo y Almeida.

Se caracterizan por tener muros elevados y almenas construidas con grandes bloques de piedra. La misión de las fortalezas era la de proteger la ciudad, ya que se consideraba la mejor manera de evitar la invasión del enemigo por su localización estratégica y por el carácter inexpugnable que les conferían los muros pétreos.

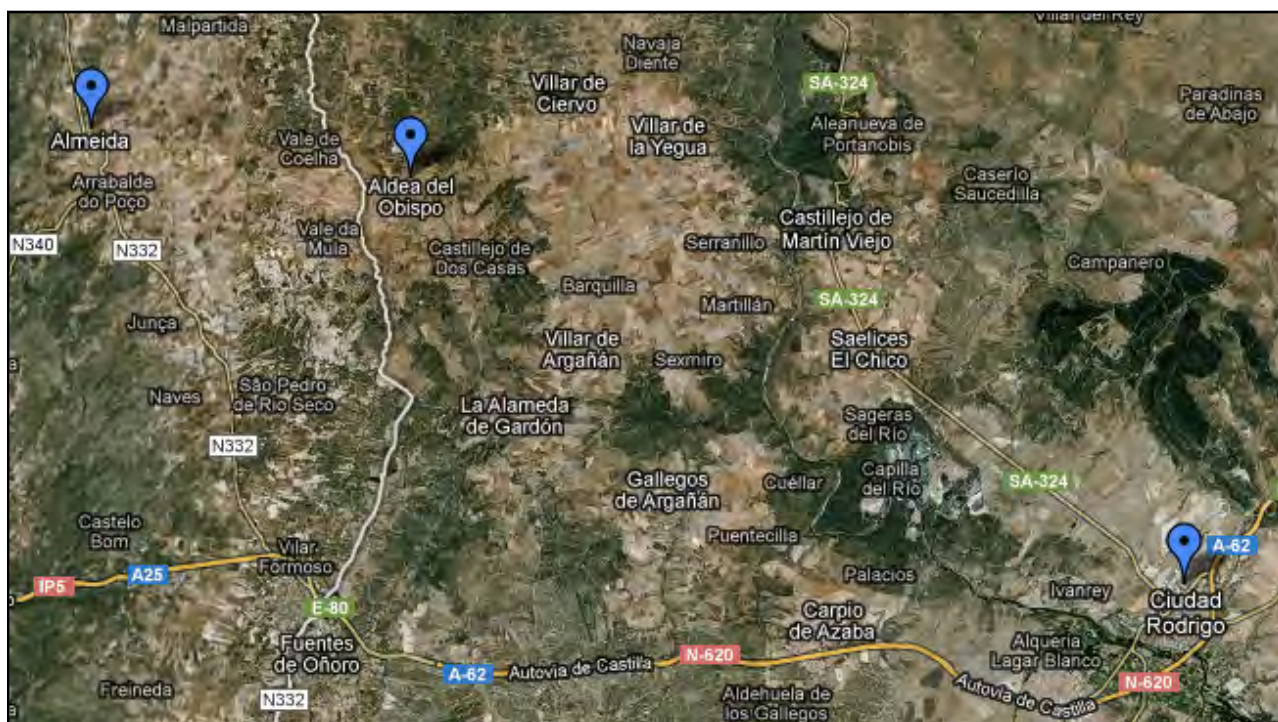


Figura 38: Localización de los pueblos visitados.

La arquitectura militar española está llena de castillos medievales que evocan la lucha entre cristianos y musulmanes durante más de 700 años, pero casi no quedan ejemplos de los tres siglos que constituyen la Edad Moderna (1492 - 1812).

La preservación de estos edificios históricos supone un alto coste para las instituciones públicas, por eso ciertos monumentos como fortalezas y conventos abandonados, están siendo adaptados para convertirse en lugares de turismo rural.

9.1 CIUDAD RODRIGO

La fortificación de Ciudad Rodrigo es de la época romana. El castillo es hoy Parador Nacional de Turismo y recuerda la rivalidad castellano-leonesa con Portugal en la época medieval.



Figura 39: Murallas.

Los muros de la ciudad son de 1.500 metros de largo y están contruidos con piedra cortada. En general, las fortificaciones consistían en una pared principal y una exterior, la pared principal era de 10 metros de altura por 9 metros de ancho (figura 39).

En la fachada norte de la catedral de Ciudad Rodrigo (figura 40) se pueden observar claramente las marcas de los impactos de balas de cañón, testigo de los enfrentamientos de las guerras napoleónicas. La ciudad se vió asediada en 1810 por el ejército de Napoleón, con el propósito de invadir Portugal posteriormente. Y en 1812, por el ejército británico al mando de Lord Wellington.

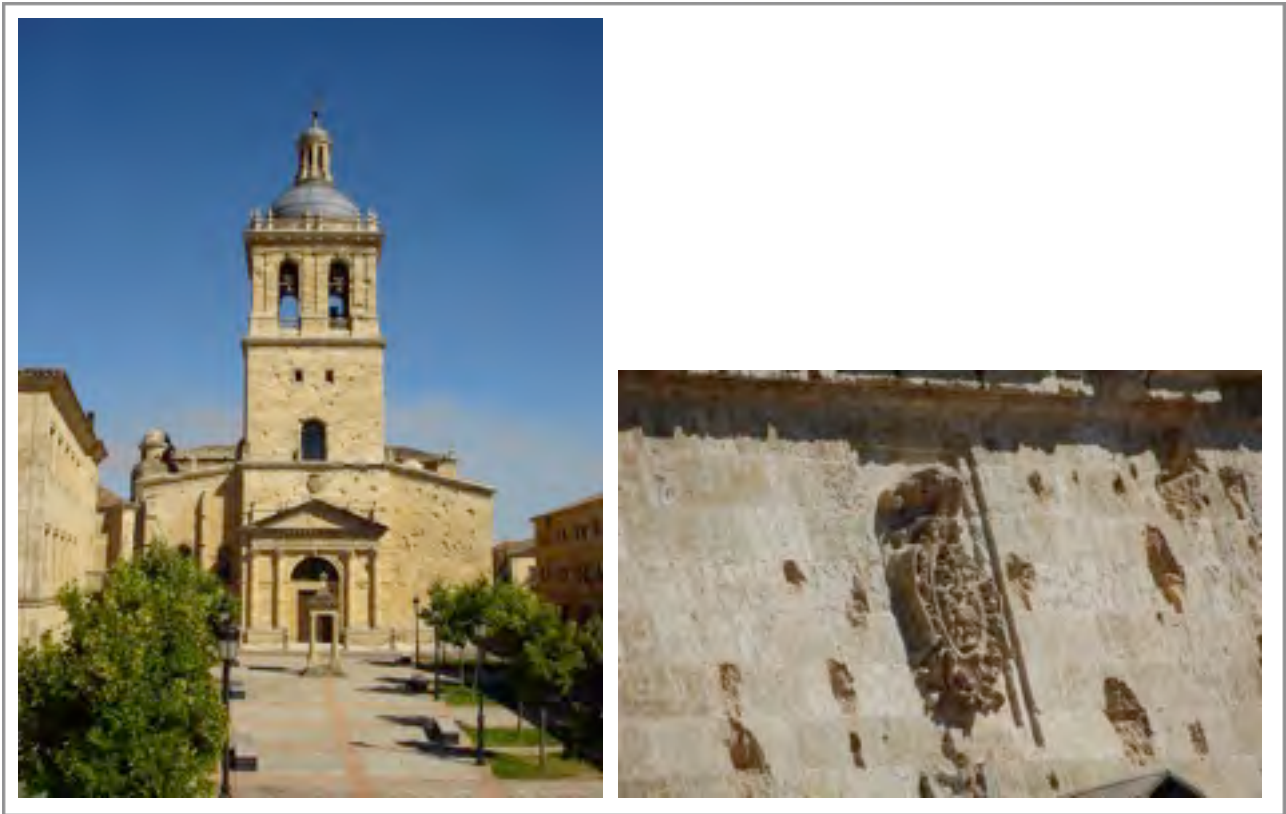


Figura 40: Marcas de los impactos de las balas de cañón, en la fachada norte de la catedral, testigo de las guerras napoleónicas.

Este es un claro ejemplo de como riesgos antropogénicos, en este caso una guerra, pueden ser cauce de pérdida y/o deterioro del patrimonio arquitectónico. Esto mismo se puede observar en otros ejemplos a nivel mundial: en la puerta de Sión (Jerusalén), hay marcas de la Guerra de la Independencia (1948), enfrentamiento entre árabes e israelitas.

En 2008 la puerta fue restaurada parcialmente; sin embargo, se decidió que quedasen expuestas algunas de las marcas de los impactos de las balas para dejar constancia de aquel suceso (figura 41). La ciudad vieja de Jerusalén se encuentra amurallada y cuenta con varias puertas de acceso a la parte vieja de la ciudad, la puerta de Sión representa una de las entradas sur a la ciudad.

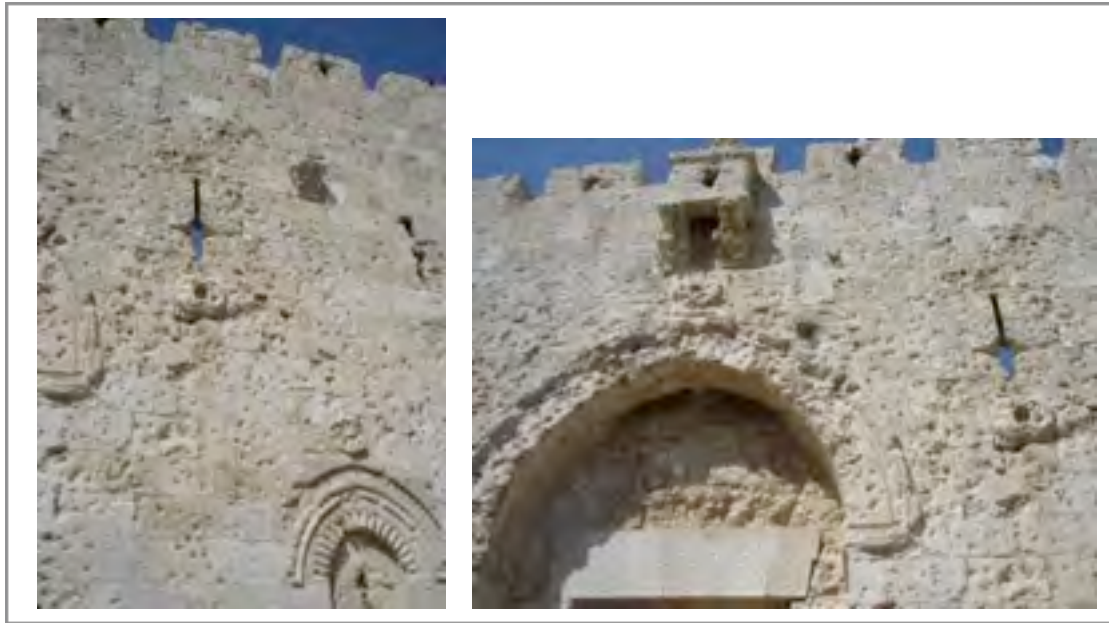


Figura 41: Puerta de Sión (Jerusalén) con marcas de impacto de balas.

9.2 FUERTE DE LA CONCEPCIÓN O FORTALEZA DE ALDEA DEL OBISPO

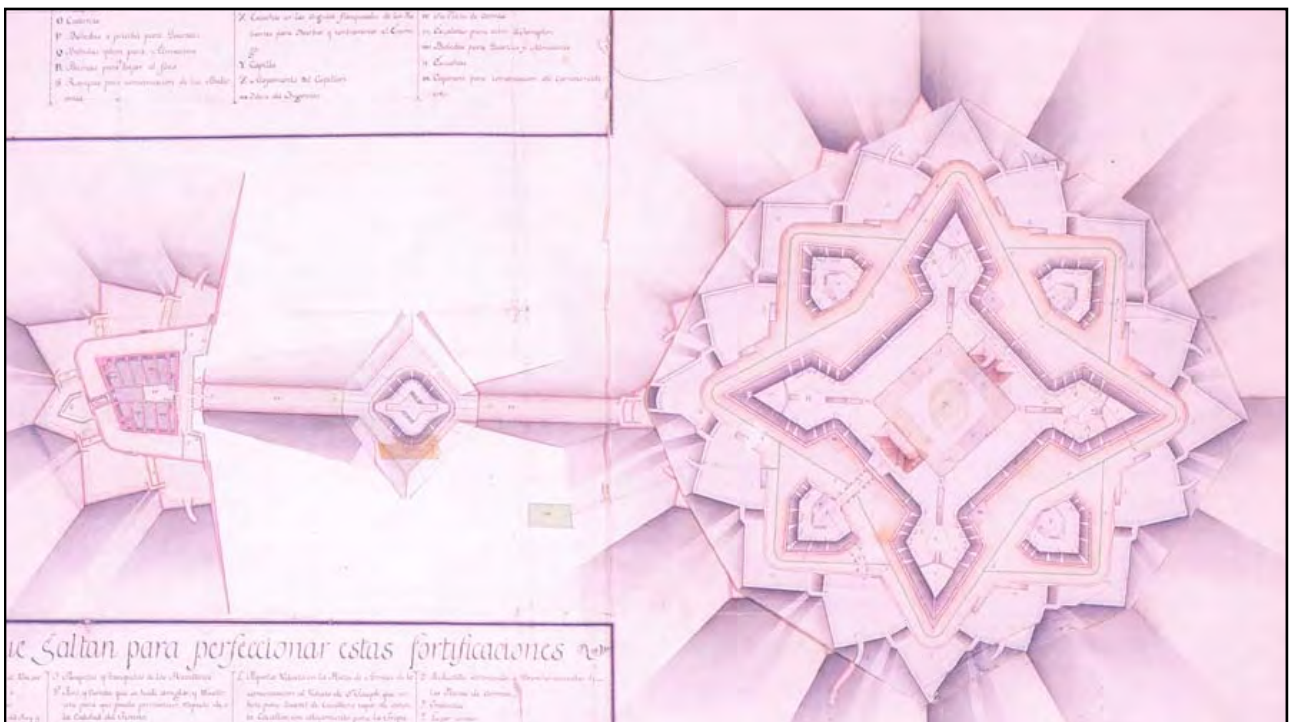


Figura 42: Estructura del fuerte. (Fuente: <http://www.ingenierosdelrey.com>)

En la figura 42 se contempla de izquierda a derecha, el fortín de San José o reducto San José, las caballerizas a mitad de camino entre el fuerte y el fortín, y el fuerte. Estos tres espacios se comunicaban por medio de un camino cubierto.

El fuerte de la Concepción era una fortaleza española en forma de estrella construida en la frontera con Portugal y destinada exclusivamente a contener una guarnición para la protección de las llanuras de Argañán. Fue diseñada para albergar a 2.000 soldados con los alimentos necesarios para subsistir durante 50 días. Fue construida enteramente en granito de mampostería.

Fue volado por el ejército de Lord Wellington el 20 de julio de 1810, en plena Guerra de la Independencia Española, para evitar que los franceses, que se iniciaban en la invasión de Portugal, lo aprovecharan en sus objetivos bélicos. Los muros presentan fuertes impactos de bala de cañón pero preservan su fisonomía, indicio de las buenas características de construcción que presentaba.

Ha estado abandonado durante muchos años (figura 43). Fue propiedad privada, pero sin ningún tipo de protección, de manera que daba cobijo al ganado de la zona y además los habitantes de los alrededores han usado sus ruinas como cantera, por el buen corte de las piedras, para construir sus casas.



Figura 43: Vista de lo que queda del Fuerte.



Figura 44: Caballerizas



Figura 45: Una de las entradas a las caballerizas.

Las caballerizas (figuras 44 y 45) se sitúan entre el edificio principal y el fortín, constan de dos plantas, la planta baja, que se aprecia en la foto, era el cobertizo para los caballos y la parte superior era el alojamiento para los soldados.

La construcción se inició en 1730, porque era necesario establecer una línea de fortificaciones para contrarrestar las fortalezas portuguesas fronterizas, una de las cuales era Almeida, que se describe posteriormente. En la actualidad, la fortaleza está siendo adaptada para convertirse en un complejo de turismo rural. En relación con los demás fuertes de Europa, está considerado como uno de los mas perfectos de su época. En la figura 46 se

aprecia el grosor de los muros y el deterioro de los muros de contención por el paso del tiempo.

La piedra que se está usando para su restauración procede de empresas portuguesas. Esto, puede dar lugar a un contraste con los materiales utilizados en origen, pero al mismo tiempo es una mala práctica porque no favorece la economía local. El protocolo deseable hubiera sido el uso de material original, procedente de las canteras de los alrededores, que deberían ser estudiadas por profesionales de la Geología y de la Ingeniería Geológica.



Figura 46: En la primera imagen se observa un muro en el que se aprecia su grosor y en la segunda se contempla un muro de contención deteriorado.

En la figura 47 se observa la puerta principal del fuerte, en buen estado de conservación, y los restos del fortín San José, del que sólo se conserva la estructura exterior que se aprecia en la imagen.

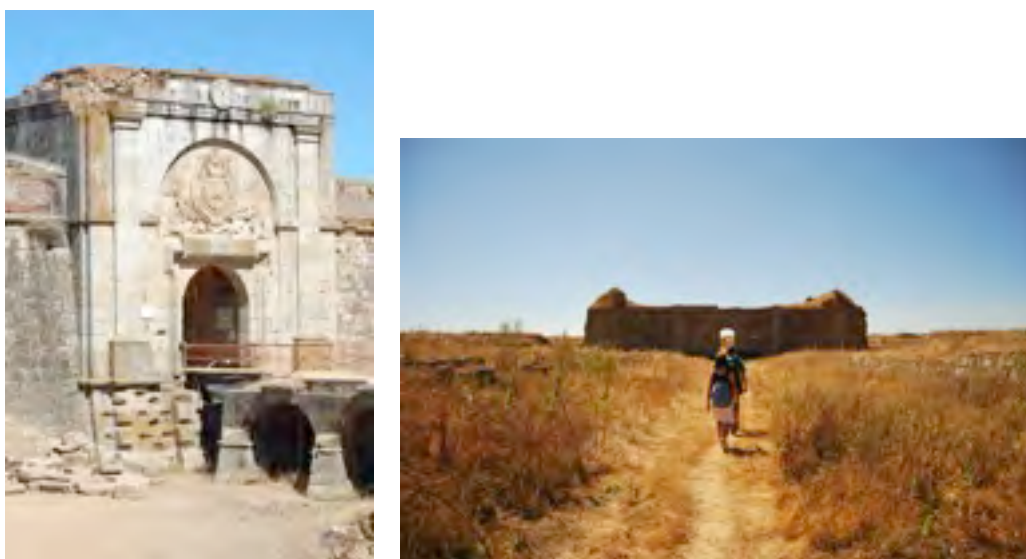


Figura 47: Puerta principal del fuerte y el fortín de San José.

9.3 FUERTE DE ALMEIDA (PORTUGAL)

Se sitúa entre la fortaleza de Ciudad Rodrigo y el fuerte de La Concepción. Su misión principal era proteger los cruces del río Coa, que forman una barrera natural entre Portugal y España.



Figura 48: Estructura de la fortaleza de Almeida. (Fuente: www.megaconstrucoes.net)

Se construyó una fortaleza en forma de estrella de doce puntas (figuras 48 y 49), con una longitud total de 1.500 metros y una superficie de 650.000 m². Al interior de la fortaleza se accede por dos puertas, San Antonio y San Francisco, cuyo diseño garantiza un alto nivel de seguridad. Es una fortaleza característica, ya que alberga una ciudad en su interior. Los cuarteles tienen techos a prueba de bombas de la época y cuarteles en los que se resguardaba la población en caso amenaza. En 1927 cesó su actividad como tal.



Figura 49: Vista aérea de la fortaleza de Almeida. (Fuente: www.megaconstrucciones.net)

Presenta torres de vigilancia en todos los ángulos de la muralla. Se encuentra rodeada de un foso con una doble funcionalidad, por una parte servía como medio de defensa y por otra como cuenca de drenaje de las aguas residuales de la fortaleza.



Figura 50: Se aprecia el suelo original en la primera imagen, empedrado. En la imagen de la derecha se observan las placas de granito, situadas por encima del suelo original como medio de conservación del mismo.

La fortaleza se encuentra en muy buen estado de conservación porque se ha efectuado un proceso de restauración, conservando sus elementos característicos. Además, el espacio se ha convertido en museo, con explicaciones audiovisuales del significado de la fortaleza. Para la protección del suelo original se han colocado unas pasarelas de granito en el interior del museo (figura 50).

Se puede observar una pequeña alberca, para la recogida de agua de lluvia y para impedir la inundación del recinto, ya que éste se encuentra unos metros bajo el nivel del suelo. Este método de recogida de aguas residuales forma parte del sistema de drenaje de la fortaleza (figura 51). Las diferentes puertas que se aprecian en la figura 52 daban paso a las casamatas, que son pequeñas estancias donde la población se refugiaba en tiempos de guerra.



Figura 51: Sistema de drenaje de la fortaleza.



Figura 52: Patio interior de los cuarteles, ahora parte del museo.

Elementos característicos de esta fortaleza son las casamatas con sus techos de granito (figura 53), los cuales también han sido restaurados en parte, lo que se observa en el diferente corte de las piedras. En la figura 54 se aprecia que las casamatas están excavadas, para su mejor protección. Otro elemento que cabe destacar es la bóveda de granito (figura 55), que se sitúa en la entrada del museo.

Figura 53: Techos de granito de las casamatas, a prueba de bombas de la época.



Figura 54: Casamatas, situadas bajo el nivel del suelo, que se observa en la parte más alta del muro.

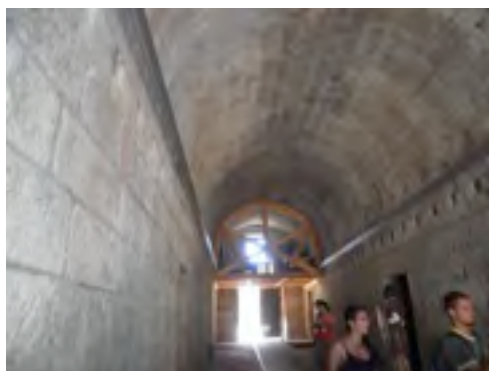
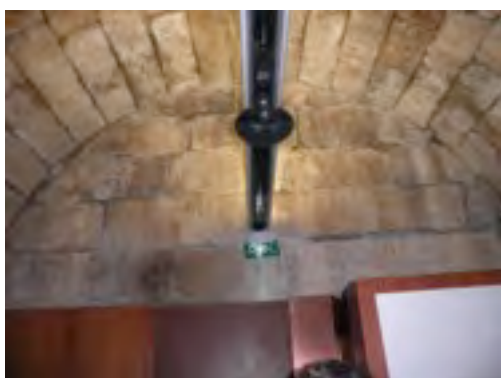


Figura 55: Bóveda de granito, siendo lo más común en la época construirla de ladrillo.

Esta ciudad fortaleza presenta dos puertas de entrada, la de San Francisco y la de San Antonio (figura 56).

En la visita a este emplazamiento, se observó que las restauraciones se habían centrado en la parte interior de la fortaleza, mientras que algunos elementos estructurales como los muros más exteriores mostraban signos de degradación (figura 57). El deterioro se debe principalmente a la acción del agua y al biotoderioro por el crecimiento de plantas.



Figura 56: Puerta de San Francisco y puerta de San Antonio.



Figura 57: Degradación de los muros de contención de la fortaleza.

10. DIFUSIÓN DE PATRIMONIO

En este punto se pretenden dar a conocer las ventajas de una difusión del patrimonio, sea del tipo que sea, ya que la mejor forma de conservarlo es darlo a conocer. Existen diversas formas de promocionar el patrimonio. A continuación se expone una que nos ha parecido efectiva y original, y otra que se considera de interés en el contexto actual.

10.1. DIFUSIÓN DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO POR LA FÁBRICA NACIONAL DE MONEDA Y TIMBRE

La Fábrica Nacional de Moneda y Timbre está acuñando y emitiendo desde el año 2005 monedas de 2 euros con la principal finalidad de la difusión cultural y la conmemoración de importantes acontecimientos.

Entre las monedas cuya principal finalidad es la difusión cultural, se destacan las acuñadas y emitidas para conmemorar el patrimonio arquitectónico, las cuales se enumeran a continuación y se observan en la figura 58:

- **El Centro histórico de Córdoba**, emitida en 2010, que corresponde a la primera moneda de una serie anual dedicada a los sitios en España incluidos en la Lista del Patrimonio Mundial de la UNESCO. En ella se muestra una imagen del interior de la Mezquita Catedral de Córdoba, uno de los más antiguos y mejores ejemplos del arte islámico en Europa.
- **La Alhambra, Generalife y Albaicín de Granada**, que se puso en circulación en 2011, y corresponde a la segunda moneda de la serie anual dedicada a los sitios en España incluidos en la Lista del Patrimonio Mundial de la UNESCO. En su reverso se muestra una reproducción del Patio de los Leones de la Alhambra. La fortaleza de La Alhambra fue declarada Patrimonio Mundial de la UNESCO en 1984.
- **La Catedral de Burgos**, que se ha puesto en circulación este año, hace honor a uno de los monumentos más representativos del arte gótico en el país, que obtuvo el título de Patrimonio de la Humanidad en 1984. Esta es la tercera moneda de la serie anual dedicada a los sitios en España incluidos en la Lista del Patrimonio Mundial de la UNESCO.



Figura 58: Monedas de 2 euros en curso legal con motivos de patrimonio arquitectónico en el reverso. (Fuente: <http://www.fnmt.es/>)

En el B.O.E. de 2009, consta que: “los bienes pertenecientes al patrimonio mundial son un legado del pasado que se transmitirá a generaciones futuras. Estos bienes pertenecen a todos las personas del mundo; son universales, independientemente del lugar en que estén localizados. La pertenencia a esta lista significa que los bienes estarán protegidos y que se preservarán.

España desea rendir tributo a los bienes y lugares inscritos en la lista del Patrimonio Mundial de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) con la emisión anual de una moneda conmemorativa de 2 euros.

La cara nacional de estas monedas llevará diseños de los distintos bienes o lugares incluidos en la Lista del Patrimonio Mundial de la UNESCO.”

10.2. PATRIMONIO CULTURAL Y NUEVAS TECNOLOGÍAS

Las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (TICs) llevan a enfocar el Patrimonio Cultural desde otras perspectivas de vista a su difusión. No deben entenderse como una mera “tecnologización” sino como un acercamiento de la Ciencia al público no entendido, con sus implicaciones económicas, políticas, sociales y educativas. Las posibilidades de compartir nuestros conocimientos a través de las TICs, permite que la información llegue a más personas y en el caso del patrimonio, que pueda incorporarse a espacios interactivos y recibir retroalimentación de personas con interés en el tema y que puedan ofrecer información complementaria. Se podrían establecer redes de conocimiento mediante las tecnologías.

Las redes sociales representan una buena apuesta publicitaria económica e inmediata, de gran calado entre las nuevas generaciones. Después de la gran importancia que las redes sociales están adquiriendo en nuestro mundo, una buena forma de difundir el patrimonio es a través de ellas. Por ejemplo, en *facebook* hay varias páginas a las que se las puede “seguir” de forma sencilla, y así estar al día de novedades relacionadas con exposiciones, museos, excursiones y cualquier actividad que nos interese. Algunos ejemplos de estas páginas son: <https://www.facebook.com/pages/Tierra-de-Dinosaurios/>; <http://colectivosalas.blogspot.com.es/>; <https://www.facebook.com/canalpatrimonio> y <http://www.museoscastillayleon.jcyl.es/>.

Los teléfonos inteligentes, o *smartphones*, están cada vez más extendidos entre la población. Éstos pueden representar un buen medio para la difusión del patrimonio, ya sea cultural, histórico o arquitectónico. Por ello, y aprovechando el próximo 500 aniversario del inicio de la construcción de la Catedral Nueva de Salamanca, se ha elaborado una aplicación mediante App Inventor, con información de este edificio histórico, desde su historia de construcción, su afectación por el terremoto de Lisboa en 1755, los materiales pétreos utilizados y las patologías que afectan a la piedra. Se propone que esto mismo se realice con los edificios del centro histórico de la ciudad, aprovechando que en unos años se celebrarán los 800 años de la Universidad y puede ser un evento que atraiga turismo a Salamanca.

10.2.1. Aplicación de android para smartphones

Se ha creado una aplicación básica mediante el programa App Inventor. Para el desarrollo de aplicaciones con este programa, no se requieren conocimientos previos de programación. Mediante esta aplicación se ha incorporado información sobre la Catedral Nueva de Salamanca, su historia, el material pétreo utilizado, sus patologías y las canteras. Con ello se pretende facilitar la difusión del conocimiento del patrimonio arquitectónico, relacionándolo con diferentes aspectos de Geología e Ingeniería Geológica. Hemos aprovechado el insertar información de la Catedral Nueva para este trabajo, pero es nuestra intención ir subiendo a la aplicación información sobre más edificios históricos del centro de Salamanca, para después ponerla a disposición de los usuarios que la quieran descargar.

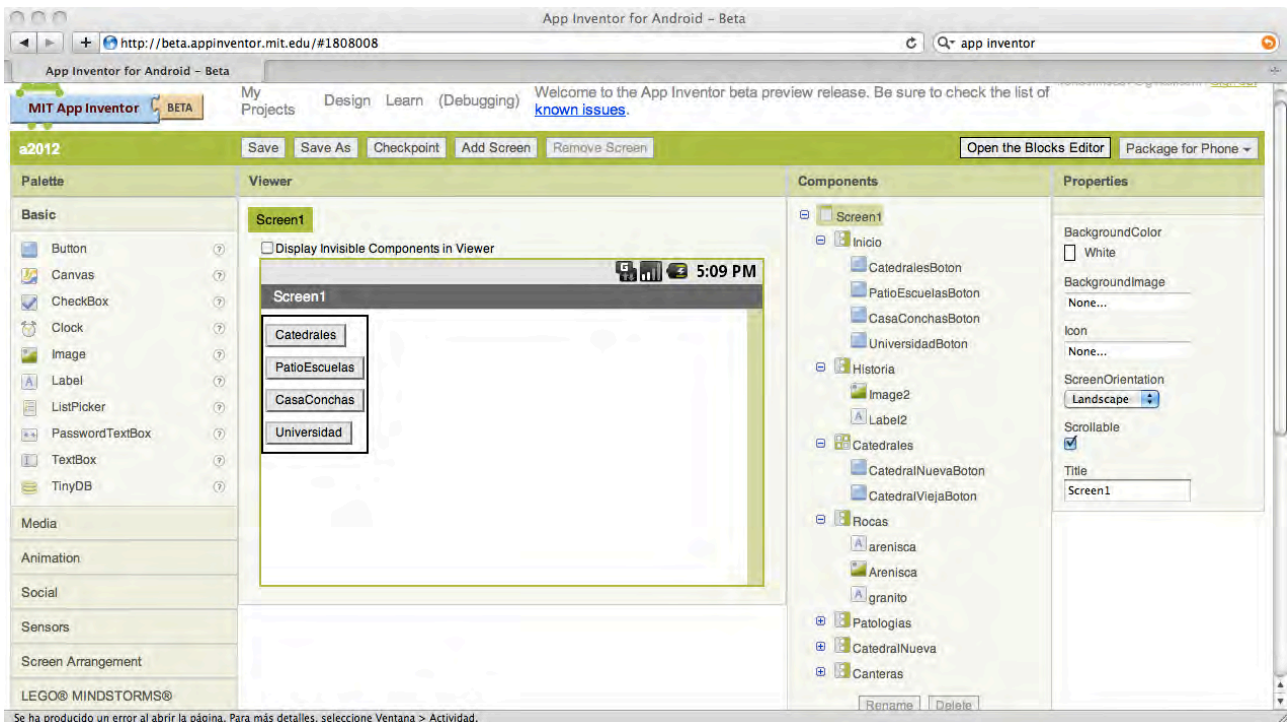


Figura 59: App Inventor Designer, ventana para diseñar la aplicación.

En la ventana App Inventor Designer (figura 59) se agregan los componentes que se necesitan para crear la aplicación, como botones, imágenes, etiquetas, elementos estructurales y cuadros de texto.

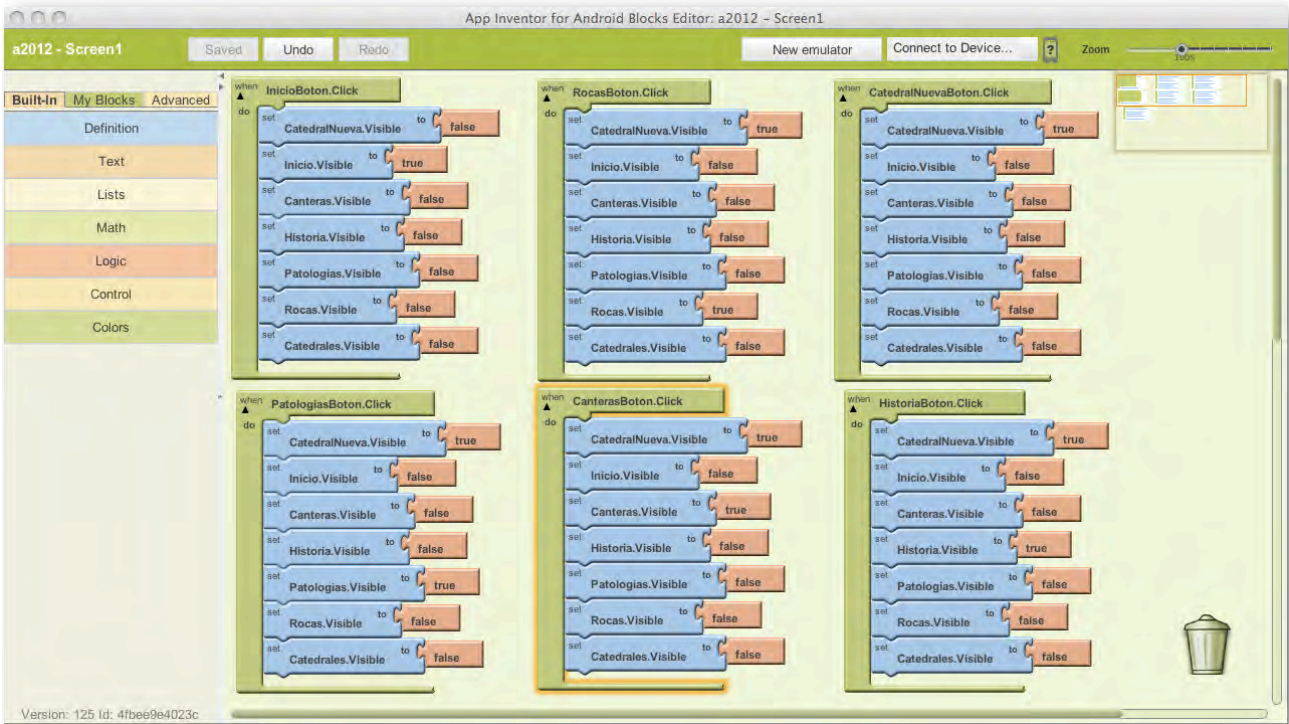


Figura 60: App Inventor Blocks Editor, ventana para editar el comportamiento de los componentes agregados a la aplicación en la pantalla anterior.

En la ventana App Inventor Blocks Editor (figura 60) se desarrolla el comportamiento de la aplicación mediante la creación de un puzzle con los componentes previamente añadidos en la ventana anterior, App Inventor Designer.

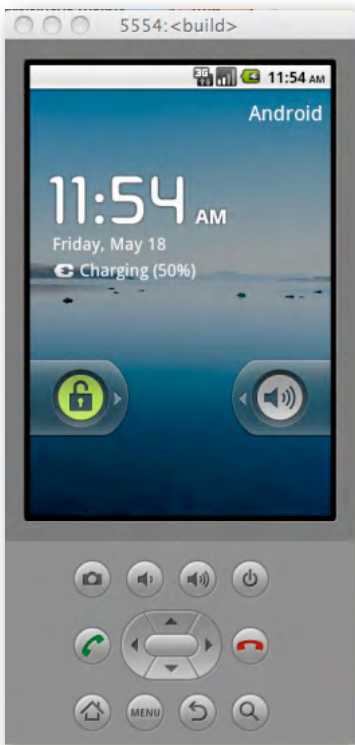


Figura 61: Android Emulador, emulador de android.

Con este emulador (figura 61) se puede ver el comportamiento de la aplicación sin necesidad de conectar el dispositivo móvil.

Capturas de la aplicación creada para la Catedral Nueva de Salamanca, con los apartados de historia (figura 62), patologías (figura 63), canteras (figura 64) y rocas (figura 65).

Figura 62: Apartado dedicado a la historia de la Catedral Nueva.



Figura 63: Apartado dedicado a las patologías de las rocas de la Catedral Nueva.



Figura 64: Apartado dedicado a las canteras.



Figura 65: Apartado dedicado a las rocas de la Catedral Nueva.

11. CONCLUSIONES

Para la realización de este trabajo nos propusimos aunar los objetivos de las distintas materias del plan de estudios de Ingeniería Geológica que tratan el Patrimonio Global: su estado de conservación, la prevención de su deterioro y su restauración. Se aprovecharon los contenidos de un ERASMUS Intensive Programme, realizado en el verano de 2011 y cuyos objetivos convergían con los nuestros. He aquí una enumeración de conclusiones que podemos establecer al terminar el trabajo:

- El Patrimonio Global puede estudiarse desde diferentes puntos de vista, pero es la transversalización de los mismos lo que nos acerca a entender su verdadero significado.
- El patrimonio arquitectónico, paisajístico y geológico pasa por determinados eventos desde su creación, ya sea natural o antrópica, hasta su desaparición debida también a agentes naturales o antropogénicos.
- Los riesgos naturales pueden ocasionar importantes pérdidas de patrimonio. Por ello debemos ser conscientes de nuestro papel como profesionales de la Ingeniería Geológica en la salvaguarda del mismo. Los eventos acaecidos en los últimos meses en la región de Emilia-Romaña en Italia, ponen en evidencia las terribles consecuencias de una falta de información de los habitantes en zonas de alto riesgo sísmico, así como la irresponsabilidad por parte de las autoridades que no valoraron el alto índice de riesgo de la zona.
- El estudio de las construcciones históricas de defensa pone en evidencia la gran profesionalidad de los arquitectos de la época, que conjugaban materiales y estructuras con el fin de conseguir una fortaleza que perdurara en el tiempo.
- La mejor forma de conservar el patrimonio es darlo a conocer. La difusión del mismo a través de información rigurosa de calidad es un aval para que las edificaciones no se degraden. Respecto a las que ya están degradadas, se pueden restaurar conforme a unos criterios profesionales. Así, los monumentos geológicos pueden servir como análogo natural del comportamiento de los materiales pétreos en las construcciones, de tal forma

que las tradiciones y los paisajes permanezcan en el tiempo para que las generaciones futuras tengan la posibilidad de estudiar también sus raíces.

- La transversalidad en el estudio del Patrimonio Global es una garantía de éxito y es compatible con un modelo capaz de integrar la conservación de los valores culturales y naturales con la dinamización económica de los medios urbanos y rurales.
- A través de nuestro estudio concluimos que los estudios de Ingeniería Geológica son parte de la apuesta por un desarrollo sostenible.

12. BIBLIOGRAFÍA

BRIMBLECOMBE P. , CAMUFFO D. (2003): Long term damage to the built environment in P. Brimblecombe (Ed) *The Effects of Air Pollution on the Built Environment*, Imperial College Press, pp. 1-30.

CASAS SAÍNZ, A. M.; RÍCO HERRERO, M. (1999): Estabilidad de laderas y riesgo de deslizamientos e inundación en el emplazamiento de Yesa. Universidad de Zaragoza. Departamento de Ciencias de la Tierra.

CASSIANI, G.; ZOCCATELLI, C. (2000): Subsidence risk in Venice and nearby areas, Italy, owing to offshore gas fields; a stochastic analysis. *Environmental & Engineering Geoscience*. V.6, no.2, pp.115-128.

COMANESCU, L.; NEDELA, A.; DOBRE, R. (2011): Evaluation of geomorphosites in Vistea Valley (Fagaras Mountains-Carpathians, Romania). *Geomorphology-Pedology Department, Faculty of Geography, Bucharest University, 010041, No 1. N. Balcescu Avenue, Bucharest, Romania. International Journal of the Physical Sciences Vol. 6(5), pp. 1161 -1168.*

CONCU, G.; DE NICOLO B. (2009): Non-destructive methods as a tool in the assessment of monumental buildings condition. Department of Structural Engineering, Cagliari University, Italy. *Structural Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture XI*, pp. 349 - 358.

DECKER, R. W.; DECKER, B. (1981): The Eruptions of Mount St. Helens. *Scientific American* 244 (3): pp. 68-80.

DEL ARCO BALLESTEROS, A.I.; CASTRO SANTAMARÍA, A. (2010): Canteras y canteros en la provincia de Salamanca: siglos XVI-XXI. Tesis de Grado. Universidad de Salamanca (España). Facultad de Geografía e Historia.

DE WAELE J., DI GREGORIO F., MELIS M.T., EL WARTITI M. (2009): Landscape units, Geomorphosites and Geodiversity of the Ifrane-Azrou region (Middle Atlas, Morocco) Unità di paesaggio, Geomorfofosi e Geodiversità della regione Ifrane-Azrou (Medio Atlante, Marocco). Mem. Descr. Carta Geol. d'It. LXXXVII, pp. 63-76.

DURÁN VALSERO, J.J.; CARCAVILLA URQUÍ, L.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, J. (2005): Patrimonio Geológico: Una panorámica de los últimos 30 años en España. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Sec. Geol.), 100 (1-4), pp. 277-287.

GONZALEZ-VARAS IBAÑEZ, I. (1993): La catedral de León. Historia y Restauración (1859-1901). Capítulo 1. Ed. Lancia, León.

GORMAN, J. (2000): Cathedral has weathered London's acid rain. Science News, vol. 158-11, pp. 165.

HERRANZ, P.; GUTIÉRREZ MARCO, J. C. (2010); Desastres naturales: una visión crítica sobre su entendimiento y gestión. Dendra Médica. Revista de Humanidades 2010; 9(2), pp. 162-175.

ICOMOS-ISCS (2008): Illustrated glossary on stone deterioration patterns Glossaire illustré sur les formes d'altération de la pierre. ICOMOS International Scientific Committee for Stone (ISCS) . Comité scientifique international "Pierre" de l'ICOMOS.

ÍÑIGO, A.C.; LÓPEZ-MORO, F.J.; VICENTE-TAVERA, S. & RIVES, V. (2005): Monitoring of origin and evolution of building stones through their major components. J. Matter. Civil Eng., 17, pp. 440-446.

JONG-JIN, K.; RIGDON, B. (1998): Sustainable Architecture Module: Qualities, Use, and Examples of Sustainable Building Materials.

JIMÉNEZ FUENTES, E. & MARTÍN JESÚS, S. (1992): Sobre el material empleado en la reconstrucción del Puente Romano de Salamanca durante el siglo XVII. I Congreso Historia de Salamanca, 2: pp. 363-365.

JUSTO, J.L.; SAURA, J.; CASTRO, D.; AZAÑÓN, M. (2009): Restauración del Tajo de San Pedro en La Alhambra de Granada. Aspectos de cálculo. Informes de la Construcción, Vol. 61, 514, pp. 81-92.

JUNGERIUS, P.; VAN DER ANCKER, H.; WEVERS, N. (2012): The contribution of Dutch landscape painters to the conservation of geoheritage. Geology Today. Volume 28, Issue 3, May 2012, pp. 95-97.

LESSER ILLADES, J.M.; CORTÉS PÉREZ, M.A. (1998): El hundimiento del terreno en la ciudad de México y sus implicaciones en el sistema de drenaje. Ingeniería Hidráulica en México. Vol. XIII, Núm. 3, pp. 13-18.

LÓPEZ PLAZA, M.; GARCÍA DE LOS RÍOS COBO, J.I.; LÓPEZ MORO, F.J.; GONZÁLEZ SÁNCHEZ, M.; CARLOS IÑIGO, A.; VICENTE TAVERA, S.; JIMÉNEZ FUENTES, E. (2009): La utilización del granito de Los Santos en la ciudad de Salamanca. Studia Geologica Salmantica, 45 (1), pp. 7-40.

LÓPEZ PLAZA, M.; GONZÁLEZ SÁNCHEZ, M.; GARCÍA DE LOS RÍOS COBO, J.I.; CORTÁZAR ESTÍBALIZ, J.; CARLOS IÑIGO, A.; VICENTE TAVERA, S.; LÓPEZ MORO, F.J.(2007a): La utilización de rocas vaugneríticas en los monumentos de Salamanca. Studia Geologica Salmantica, 43 (1), pp. 115-142.

LÓPEZ PLAZA, M.; GONZÁLEZ SÁNCHEZ, M.; CARLOS IÑIGO, A. (2007b): La utilización del leucogranito turmalínífero de Martinamor en los monumentos de Salamanca y Alba de Tormes. Studia Geologica Salmantica, 43 (2), pp. 247-280.

MAMILLAN, M. (1981): Connaissances actuelles des problemes de remontées d'eau par capillarité dans les murs. En: Páginas: The conservation of stone. II. Preprints of the contributions to the international symposium. Ed. Centro per la conservazione delle sculture all'aperto, Bologna, pp. 59-72.

MCKINLEY, J. M. (2011): Building stones explained. Blackwell Publishing Ltd, The Geologists' Association & The Geological Society of London, Geology Today, Vol. 27, No. 3, pp. 114-118.

MONTERRUBIO, S.; YENES, M; CHARLOFÉ J.F.; DELGADO PASCUAL, M.; M; FERNÁNDEZ MACARRO, B.; NESPEREIRA, J.; SANTOS DELGADO, G. (2004): Inestabilidad de laderas al noreste de Cabezón de Pisuerga (Valladolid, Cuenca del Duero Central). *Geo-Temas* 6 (3), pp 301-304.

MONTERRUBIO, S.; YENES, M; SÁNCHEZ, J.; BLANCO, J.A.; FERNÁNDEZ MACARRO, B.; SANTOS DELGADO, G. (2001): Características geotécnicas de las facies Dueñas en el sector central de la Cuenca del Duero y sus implicaciones en la formación de los grandes deslizamientos rotacionales de la zona. V Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables, Madrid. Comunicaciones, I: 149-160.

NESPEREIRA, J. (2006): Estudio, definición y cartografía de unidades geotécnicas en un entorno urbano: Salamanca y su zona de expansión. Tesis doctoral. Universidad de Salamanca.

NESPEREIRA, J.; BLANCO J.A.; YENES, M.; PEREIRA M.D. (2010); Irregular silica cementation in sandstones and its implication on the usability as building Stone. *Engineering Geology*. Vol. 115, pp. 167-174.

PANIZZA, M. (2001): Geomorphosites: concepts, methods and examples of geomorphological survey. *Chinese Science Bulletin*, 46, pp. 4-6.

PEREIRA, D. y COOPER, B.J. (en revisión): Building stone as a part of a World Heritage site: "Piedra Pajarilla". Granite and the city of Salamanca, Spain. Geological Society Special Publication.

PEREIRA, D.; RECIO, S.; GONZALO, J. C. (2010): Evolution of the landscape as a response of a demographic change. A case study in the Duero riverside, Spain. *Local Environment*, vol 15-5, pp. 419-431.

PORTAL MONGE, Y. (1988): La Torre de Las Campanas de la Catedral de Salamanca. Ediciones Universidad de Salamanca.

RECIO CINOS, S. (2009): El patrimonio geológico y las herencias culturales como propuesta de recuperación de una región deprimida; casos de estudio en las Arribes del Duero. Tesis de Grado. Departamento de Geología. Universidad de Salamanca.

REYNARD, E.; PANIZZA, M. (2005): Geomorphosites: definition, assessment and mapping. An introduction, pp. 177-180.

RIOS, D.A.; HERMELIN, E.M. (2004): Prediction of landslide occurrence in urban areas located on volcanic ash soils in Pereira, Colombia. Bulletin of engineering geology and the environment. Volume 63, Number 1, pp. 77-81.

RIVERA Y OTROS (2010): Manual de técnicas artísticas. Ed. Historia 16. Col. Conocer el Arte. Madrid.1997, pp. 43-45.

SANTOS DELGADO, G.; MONTEERRUBIO, S.; DELGADO PASCUAL, M.; CHARLOFÉ J.F.; FERNÁNDEZ MACARRO, B.; YENES, M.; NESPEREIRA, J.; SÁNCHEZ, J.; BLANCO, J.A. (2005): Control de movimientos mediante técnicas GPS en los deslizamientos del Sector Central de la Cuenca del Duero. En: VI Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables, Valencia 2005. Vol I, pp 3-16.

SANTOS DELGADO, G.; MONTEERRUBIO, S.; FERNÁNDEZ MACARRO, B.; YENES, M.; RODRÍGUEZ BOUZO, L.; CHARLOFÉ J.F. (2008): Control de movimientos mediante técnicas GPS en los deslizamientos del sector central de la Cuenca del Duero. Periodo 2005-07. VII Congreso Geológico de España, Las Palmas de Gran Canaria, Geo-Temas, vol .10, pp 903-906.

TARBUCK, E. J.; LUTGENS, F. K.(2009): Una introducción a la geología física. Prentice Hall. Capítulo 2, pp. 44 -45.

VACA LORENZO, A.; GUADALUPE SALAS, I. & GARCÍA MALDONADO, J. (2005): El Puente Romano. La Puente Mayor de Salamanca: sus orígenes. En: Puentes singulares de la provincia de Salamanca (edits. Bonilla, J. A. & Rodríguez Martín, E.). Diputación de Salamanca, pp. 25-56.

VACA LORENZO, A. (2007); El puente romano de Salamanca en la Edad Media. Cuad. hist. Esp. Vol.81, pp. 7-38.

WEBSTER, A.; MAY, E. (2006): Trends in Biotechnology, Bioremediation of weathered-building stone surfaces. Volume 24, Issue 6, pp. 255-260.

YENES, M.; MONTEERRUBIO, S.; FERNÁNDEZ MACARRO, B.; BLANCO, J.A.; SANTOS DELGADO, G. (2001): Inventario de deslizamientos del centro de la Cuenca del Duero. V Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. Comunicaciones, II: pp. 511-523.

YENES, M.; MONTEERRUBIO, S.; NESPEREIRA, J.; SANTOS DELGADO, G (2009): Geometry and kinematics of a landslide surface in tertiary clays from the Duero Basin (Spain). Engineering Geology, 104, 1-2, pp. 41-54.

YENES, M.; MONTEERRUBIO, S.; SÁNCHEZ, J.; BLANCO, J.A. (2002): Deslizamientos rotacionales múltiples en el Valle del Pisuerga (Cuenca del Duero). Curso extraordinario “Laderas y Taludes Inestables”. Ed. Univ. de Salamanca.

YENES, M.; MONTEERRUBIO, S.; SANTOS DELGADO, G.; FERNÁNDEZ CALVO, C.; FERNÁNDEZ MACARRO, B.; CHARLOFÉ J.F.; DELGADO PASCUAL, M.; NESPEREIRA, J.; RODRÍGUEZ BOUZO, L.; MARTÍNEZ GRAÑA, A. (2008): Análisis de las reactivaciones del deslizamiento de Reinoso de Cerrato (Cuenca del Duero, Palencia). Geo-Temas 10, pp. 907- 910.

ZOUROS, N. C. (2007): Geomorphosite assessment and management in protected areas of Greece Case study of the Lesvos island – coastal geomorphosites. Geographica Helvetica, 62(3): pp.169-180.

PÁGINAS VISITADAS DE INTERNET:

Instituto Geológico y Minero de España: <http://www.igme.es/internet/patrimonio/PG/ante.htm> (última visita Marzo 2012)

<http://www.yesano.com/vajont.htm> (última visita Abril 2012)

Instituto tecnológico de rocas ornamentales y materiales de construcción: <http://www.intromac.com> (última visita Febrero 2012)

Red de Espacios Naturales de Castilla y León: <http://www.patrimonionatural.org> (última visita Febrero 2012)

Fábrica Nacional de Moneda y Timbre: <http://www.fnmt.es> (última visita Mayo 2012)

Boletines Oficiales del Estado (última visita Mayo 2012):

<http://www.boe.es/boe/dias/2010/09/02/pdfs/BOE-A-2010-13624.pdf>,

<http://www.boe.es/boe/dias/2009/12/21/pdfs/BOE-A-2009-20495.pdf>,

<http://www.boe.es/boe/dias/2011/10/07/pdfs/BOE-A-2011-15722.pdf>

<http://spanish.peopledaily.com.cn/31614/7794184.html> (última visita Abril 2012)

<http://www.naturalengland.org.uk/ourwork/conservation/geodiversity/important.aspx>
(última visita Febrero 2012)

Páginas referentes a fortificaciones (última visita Abril 2012):

http://www.napoleon-series.org/military/virtual/almeida/c_almeida.html

http://www.napoleon-series.org/military/virtual/c_concepcion.html

http://www.napoleon-series.org/military/virtual/c_ciudad.html

Universidad de Santiago de Compostela. Información general sobre el gas radón, en la página: <http://fpsalmon.usc.es/lar/esp/servicios/servicioradon/inforadon.php> (última visita Febrero 2012)

<http://www.israel-a-history-of.com/gates-of-jerusalem.html#The%20Zion%20Gate> (última visita Abril 2012)

http://www.delaguerra.net/index.php?option=com_content&view=article&id=174:almeida-y-la-concepcion&catid=90:siglo-xviii&Itemid=102 (última visita Mayo 2012)

<http://www.unizar.es> (última visita mayo 2012)

<http://www.ingenierosdelrey.com> (última visita Junio 2012)

[http:// www.megaconstrucciones.net](http://www.megaconstrucciones.net) (última visita Junio 2012)

<http://www.earthend-newbeginning.com> (última visita Junio 2012)

<http://www.unesco.org> (última visita Junio 2012)

<http://es.wikipedia.org/> (última visita Junio 2012)

<http://www.iucn.org/es/> (última visita Junio de 2012)

Se remarca que dado el tema tan actual que comprende el trabajo, se han utilizado con frecuencia artículos de los periódicos: El País, ABC, El Mundo, El Norte de Castilla, Público, El Correo, La Verdad y Diario de Salamanca. Así como también se han consultado artículos virtuales en las páginas: <http://www.mundo-geo.es> y en <http://www.antena3.com>.