



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

Proyecto de Innovación y Mejora de la Calidad Docente N° 80

Convocatoria 2014

Página web para el aprendizaje autónomo de Petrología Ígnea: Atlas de Rocas Ígneas

Responsable del proyecto: David Orejana García

Facultad de Ciencias Geológicas

Departamento de Petrología y Geoquímica

1. OBJETIVOS PROPUESTOS

El presente proyecto de innovación docente es la continuación de otro previo concedido en la convocatoria de 2013 (PIMCD-51) titulado "Página web para el aprendizaje autónomo de Petrología Ígnea". A continuación se enumeran los objetivos planteados en la convocatoria de 2014, encaminados a proseguir con la realización y la mejora de la página web, completando aspectos o apartados que no se llevaron a cabo con el anterior PIMCD.

1) Un objetivo general de este proyecto ha sido el de generar contenidos relativos a las rocas ígneas accesibles a través de internet y en castellano, en el contexto de la página web iniciada con el PIMCD-51 (imagen 1 de los anexos; ATLAS DE ROCAS ÍGNEAS: <http://petroigne.wordpress.com>). A través de estos contenidos, principalmente imágenes, diagramas y textos explicativos acompañantes, se pretende facilitar el aprendizaje por parte de los alumnos de conceptos fundamentales de la Petrología Ígnea.

2) Se propuso diseñar una nueva sección dentro de la página web donde se ampliaran los contenidos previos. Estos se habían centrado en aspectos relacionados con la clasificación de rocas ígneas, visualización de los distintos tipos rocosos en muestra de mano y al microscopio petrográfico, así como en la caracterización de los principales minerales y las texturas y estructuras más relevantes que se pueden encontrar en las rocas ígneas. La nueva sección, titulada FORMAS DE YACIMIENTO, se estructuraría en varias subpáginas con el objeto de recoger los aspectos más destacables que pueden ayudar a la identificación y a comprender la génesis de las intrusiones plutónicas, los depósitos volcánicos y las formas hipoabisales como diques o sills.

3) Se pretendía, al mismo tiempo, ampliar puntualmente los contenidos en páginas ya existentes, dado que muchos apartados de la web admiten ser ampliados o completados con más imágenes a diferentes escalas o desde puntos de vista distintos. Éstas pueden mostrar características petrológicas no mencionadas previamente. En algunos casos la adición de este material nuevo pretendía incluir aspectos de más detalle del inicialmente expuesto, o avanzar respecto a los conceptos más básicos, que son los que se desarrollaron de forma prioritaria en el proyecto anterior.

4) Finalmente, se ha pretendido continuar trabajando en la mejora y actualización de toda la página web. Esto se ha hecho mediante la corrección de errores encontrados en el funcionamiento de la página, así como la ampliación máxima posible de los marcadores o enlaces internos que proporcionan un notable dinamismo y agilidad a la hora de navegar en la página web y facilitan la búsqueda de contenidos.

2. OBJETIVOS ALCANZADOS

El proyecto ha logrado cumplir todos los objetivos inicialmente propuestos. A continuación se detalla brevemente el grado de cumplimiento en cada caso.

1) *Diseño, estructuración y contenidos de la página web.* Con la incorporación de la subpágina sobre las "formas de yacimiento" se ha conseguido que la página web, en su conjunto, esté dotada de un mínimo de contenidos sobre aspectos básicos y prácticos de la Petrología Ígnea, enfocados fundamentalmente a través de imágenes comentadas. Este fue un objetivo general tanto en la convocatoria actual de Proyectos de Innovación y Mejora de la Calidad Docente, como en la pasada. Así, mientras que en el proyecto desarrollado en la convocatoria de 2013 se trabajó en aportar materiales donde se pudiese visualizar características de las rocas a microescala y a mesoescala (muestras de mano, identificación de minerales y texturas mediante microscopio petrográfico, estructuras de afloramiento, etc.), en el presente proyecto se han incluido recursos que ayudan al alumno a visualizar y comprender la disposición de las rocas ígneas a mesoescala y macroescala. Considerada en su conjunto, la página web consigue así cubrir un amplio conjunto de aspectos básicos relacionados con las rocas ígneas, así como ilustrar de forma somera los procesos que se encuentran detrás de las características observables.

2) *Nueva sección: Formas de Yacimiento.* La subsección de "formas de yacimiento" incorpora un total de 113 imágenes (fotos, diagramas, esquemas o mapas), organizadas en 14 subpáginas nuevas. Con ella se ha conseguido ilustrar aspectos sobre las rocas ígneas que no se hallaban entre las características expuestas en las secciones previas. En general se trata de mostrar cuál es la disposición en la que las rocas ígneas se encuentran en la Tierra, que en gran medida aporta información sobre la forma en la que los cuerpos de fundido ascienden desde su área fuente y se emplazan (entre otras rocas o en la propia superficie terrestre).

Siguiendo la subdivisión clásica expuesta en la literatura, se han establecido dos grandes grupos de yacimientos: las formas plutónicas (intrusivas) y las formas volcánicas (extrusivas). El gran tamaño de las primeras, tanto en superficie como en su dimensión vertical, convierte a los cuerpos plutónicos en un objeto difícilmente representable en fotografías. No obstante, sus características más relevantes se pueden ilustrar mediante mapas cartográficos y esquemas. En este sentido, las subpáginas dedicadas a los plutones y los batolitos se basan fundamentalmente en ejemplos de mapas geológicos o imágenes de satélite donde su forma, tamaño y estructura pueden ser visualizables. En aquellos contenidos de este tipo que se encuentran protegidos por derechos de autor, los datos sobre autoría o propiedad han sido incluidos en las imágenes. En el caso de las formas volcánicas, así como en la mayoría de las imágenes de intrusiones menores (diques y sills), se ha empleado material obtenido por los miembros del grupo de trabajo.

3) *Ampliación de contenidos.* Al tiempo que se trabajaba en la confección de la nueva pestaña sobre "formas de yacimiento", se ha revisado el resto de la página web con la intención de estimar si otras subpáginas de apartados incorporados durante la convocatoria del año 2013 podrían ser susceptibles de mejora. Así, se han añadido

más imágenes y sus correspondientes textos en los apartados sobre tipos rocosos, minerales y texturas. La adición de material nuevo es siempre posible dado el carácter básico de la página web. En la medida de las posibilidades del grupo de trabajo, está previsto que se puedan seguir incorporando nuevos contenidos de forma indefinida, a lo cual ayuda la estructura abierta y ampliable de la web actual y también la capacidad de almacenamiento de contenidos en el servidor wordpress (actualmente superior al 75%).

4) *Corrección y actualización del trabajo previo.* Una revisión sistemática de los materiales que se incorporaron en el anterior proyecto (convocatoria de 2013) ha permitido detectar errores en los textos, en el propio diseño de algunas subpáginas, así como la escasez de enlaces internos. Durante la presente convocatoria se han corregido todos los errores detectados y se han establecido numerosos enlaces nuevos que permiten una navegación más ágil usando enlaces directos en forma de marcadores en palabras del texto.

3. METODOLOGÍA EMPLEADA EN EL PROYECTO

La metodología de trabajo que se ha seguido durante el desarrollo del proyecto ha consistido en lo siguiente:

1) *Diseño y estructuración de la nueva subsección (formas de yacimiento)*. En primer lugar los miembros del grupo de trabajo han acordado la estructura interna de la nueva sección, con la intención de hacerla lo más intuitiva y didáctica posible para el alumno. En este punto, también, se ha hecho el reparto de tareas de acuerdo con la diferente especialización de los miembros del grupo con vistas a la generación de los contenidos que se incluirían en la nueva pestaña.

2) *Generación de contenidos*. En la nueva sección de "formas de yacimiento" se han incorporado varios tipos de imágenes: fotografías, mapas, diagramas, esquemas y fotos de satélite. Cada una de las nuevas imágenes ha llevado asociada uno o varios textos explicativos. La mayor parte de este material ha sido específicamente generado para este proyecto y consiste en fotografías realizadas en el campo y diagramas dibujados mediante programas de ordenador especializados, como CorelDraw o Adobe Photoshop. Por otro lado, algunos aspectos que se ilustraban mejor a través de materiales ya existentes en otras páginas web han sido utilizados incorporando en las imágenes información suficiente sobre los derechos de autor. Se trata, en este caso, de fotografías y, en mayor medida, mapas geológicos publicados en libros u otro tipo de publicaciones científicas, e imágenes de satélite (extraídas de las plataformas Google Maps o Bing Maps).

3) *Nuevas imágenes de microscopio*. En aquellos casos en los que se ha ampliado alguna de las secciones previas mediante la incorporación de nuevas imágenes de microscopio, éstas han sido obtenidas a partir de la colección de láminas delgadas del departamento de Petrología y Geoquímica de la Facultad de Ciencias Geológicas (UCM), así como de material proveniente de las investigaciones de los miembros del grupo. Las fotografías se han hecho con las cámaras digitales Zeiss AxioCam ICc 1 y Olympus DP12 acopladas a los microscopios petrográficos Carl Zeiss Axioscope y Olympus BX51, respectivamente.

4) *Plataforma Wordpress*. La nueva sección y su correspondiente estructura ha sido añadida al menú de la página web mediante la plataforma *on-line* Wordpress. Así mismo, todos los contenidos nuevos generados han sido incorporados al servidor de dicha plataforma y, junto con los textos acompañantes, han sido cargados y maquetados de forma homogénea en las diversas subpáginas creadas. Con este programa también se han creado los enlaces internos que relacionan las diversas subpáginas entre sí.

4. RECURSOS HUMANOS

El grupo de trabajo está integrado por nueve miembros: dos catedráticos de universidad (*Eumenio Ancochea* y *Carlos Villaseca*), dos profesores titulares (*Pilar Andonaegui* y *María José Huertas*), tres profesores contratado doctor (*Cristina de Ignacio*, *David Orejana* y *Cecilia Pérez-Soba*) y dos estudiantes de doctorado (*Ángela Claro* y *Enrique Merino*). Todos ellos poseen una dilatada y variada experiencia en el campo de la Petrología Ígnea, con carreras científicas y docentes que en algún caso pueden llegar a alcanzar los 38 años. En este sentido, la capacitación del grupo para generar contenidos didácticos en la materia en la que se ha centrado el proyecto es muy alta.

Como ejemplo de la variedad de temas que se han podido aportar a la página a través de las investigaciones científicas de los miembros del grupo, siempre dentro del campo de la Petrología Ígnea, podríamos señalar la naturaleza, origen y evolución de las islas oceánicas a través de la descripción e interpretación de las heterogéneas asociaciones de rocas volcánicas y plutónicas presentes (*Eumenio Ancochea*, *María José Huertas*, *Cristina de Ignacio* y *Ángela Claro*), con un claro predominio de series geoquímicas alcalinas, o el estudio detallado de rocas plutónicas de composición variada (básica, intermedia y ácida) asociadas a un contexto orogénico de colisión, donde predominan la series geoquímicas calco-alcalina y peraluminica (*Carlos Villaseca*, *Pilar Andonaegui*, *Cecilia Pérez-Soba*, *David Orejana* y *Enrique Merino*).

Además de la mencionada experiencia en el campo de la Petrología Ígnea, tanto docente como científica, los miembros del grupo de trabajo llevan desarrollando desde hace años una variada actividad en el campo de la divulgación y la innovación educativa, reflejada en la participación en congresos o cursos formativos ligados a la docencia, la realización de publicaciones en revistas centradas en la educación universitaria, el desarrollo de actividades divulgativas (*Geología*, *Semana de la Ciencia*) y el diseño y puesta en funcionamiento de proyectos de innovación y mejora de la calidad docente.

5. DESARROLLO DE LAS ACTIVIDADES

El desarrollo de las actividades del proyecto ha girado en torno a cinco aspectos: 1) el diseño de la nueva pestaña o página que se ha añadido a la web y el reparto de tareas, 2) la generación de los contenidos en forma de fotografías, esquemas o diagramas y mapas, 3) la redacción de los textos que acompañan al material gráfico, 4) la incorporación de todos estos contenidos a la página web y la generación de enlaces internos, y 5) la revisión tanto de las nuevas páginas como de las partes previas de la página web desarrolladas en el anterior proyecto de innovación (PIMCD-51, 2013).

El diseño de la nueva sección pretende guiar de forma sencilla al alumno hacia aquellos aspectos relacionados con las formas de yacimiento de las rocas ígneas que puedan reflejarse mediante material gráfico y que ilustren conceptos básicos que los profesores abordan durante la enseñanza de las asignaturas ligadas a la Petrología Ígnea. Así, las formas de yacimiento se han dividido en dos grandes campos: el de las formas plutónicas intrusivas y las formas volcánicas extrusivas. Las primeras engloban cuerpos de formas y tamaños muy variados, pero se han agrupado en dos categorías para mayor simplificación: la de las intrusiones de forma tabular y volumétricamente menos importantes (diques y sills) y la de intrusiones de mayor tamaño que suelen dar formas superficiales con tendencia circular o alargada (plutones). La mayor complejidad estructural y genética que puede observarse en los cuerpos plutónicos nos ha llevado a incluir varias subpáginas dentro del apartado de plutones donde se tratan aspectos específicos relevantes. En cuanto a los materiales extrusivos, hemos diferenciado tres aspectos. El primero está directamente relacionado con la construcción de edificios volcánicos u otras formas asociadas, mientras que los otros dos puntos se centran en los dos grandes grupos de depósitos producidos durante la actividad volcánica: las coladas de lava y los depósitos piroclásticos. Como en el resto de la página web, el acceso a los contenidos se puede hacer a través de la barra de menú, estructurada en tres niveles (imagen 2 de los anexos). Ahora bien, pinchando en cualquier apartado de los presentes en el menú se accede a imágenes que enlazan con las mismas subpáginas que se encuentran subordinadas en el menú principal (imagen 3 de los anexos).

Una vez acordado el diseño de la nueva sección se repartieron las tareas relativas a la producción de contenidos, que puede considerarse la parte más compleja y laboriosa del proyecto. Éstos podemos dividirlos en los siguientes tipos: 1) fotografías de microscopio, 2) fotografías de campo, 3) esquemas o diagramas, 4) mapas, y 5) imágenes de satélite. Las fotografías de microscopio representan una parte muy pequeña de las nuevas adiciones a la web y han estado encaminadas a reforzar y completar algunos apartados que se generaron en el pasado proyecto (convocatoria de 2013). Se obtuvieron utilizando las cámaras digitales Zeiss AxioCam ICc 1 y Olympus DP12 acopladas a los microscopios petrográficos Carl Zeiss Axioscope y Olympus BX51, respectivamente. Las fotografías de campo representan la mayoría de los nuevos contenidos gráficos y eran una de las partes prioritarias entre los objetivos del proyecto (imagen 4 de los anexos). Para obtenerlas, varios miembros del grupo se desplazaron a zonas relativamente próximas a Madrid donde existen

interesantes cuerpos ígneos de naturaleza plutónica y volcánica y donde se pueden encontrar afloramientos de gran valor a la hora de ilustrar muchos de los aspectos que se pretendía mostrar en la página web. Ejemplos de estos lugares son la Sierra de Guadarrama, donde afloran diversos cuerpos plutónicos y filonianos, y la región de Campos de Calatrava, que es una de las pocas regiones con volcanismo reciente en la Península Ibérica. No obstante, un nutrido grupo de fotografías sobre rocas volcánicas adquiridas con anterioridad por los miembros del grupo de trabajo, proceden de las Islas Canarias. Las fotografías obtenidas durante el presente proyecto se han hecho con la cámara digital compacta Canon PowerShot SX500 que se obtuvo con la financiación del pasado proyecto. Un pequeño número de fotografías han sido extraídas de otras páginas web, al ilustrar aspectos relevantes que el material del que dispone el grupo no podía reflejar, así como por la imposibilidad de acceder a cierto tipo de afloramientos en el marco del presente proyecto. La mayoría de los diagramas y esquemas (imagen 5 de los anexos) son originales y se han elaborado mediante programas de dibujo (por ejemplo CorelDraw). Por otro lado, los mapas han sido obtenidos casi siempre de trabajos científicos (revistas o libros), y las imágenes de satélite se han extraído de plataformas accesibles a través de internet como Google Maps y Bing Maps (imagen 6 de los anexos). En todos los casos, aquellos materiales protegidos por derechos de autor muestran de forma explícita la autoría y la pertenencia de los derechos en cada uno de ellos. Cada miembro del grupo se encargó de la redacción del texto acompañante al material gráfico que había generado.

Una vez reunido este material gráfico y de texto, se procedió a incorporarlo a la página web. Las imágenes son cargadas en el servidor gratuito de Wordpress, que tiene una capacidad de almacenaje de 3.072 Mb, encontrándose actualmente ocupado sólo el 21% (640 Mb). Con las páginas ya creadas y estructuradas según el diseño acordado al principio del proyecto, se fueron añadiendo a las mismas las imágenes de forma aislada, por parejas o en forma de galerías. Debajo, o al margen, de cada imagen o grupo de imágenes se pegó el texto correspondiente. En aquellas páginas que presentaban cierta abundancia de contenidos se procuró incluir pequeños menús de enlace debajo del título de la página con la intención de facilitar el acceso rápido a la información deseada (imagen 7 de los anexos). Igualmente, este tipo de páginas también poseen enlaces directos a la parte superior de la web (inicio de la página y barra de menú).

Finalmente, los miembros del grupo revisaron los nuevos contenidos para localizar y corregir errores y comprobaron la funcionalidad de los menús y enlaces internos, de tal manera que a la finalización de este proyecto se han alcanzado la mayoría de los objetivos propuestos en este y el anterior proyecto de innovación docente.

Por otro lado, la estructura abierta y la capacidad de almacenamiento que conserva la página web permiten su futura ampliación y mejora.

6. ANEXOS

En este apartado se incluyen imágenes extraídas de la página web creada gracias a los proyectos de innovación y mejora de la calidad docente PIMCD-51 (convocatoria de 2013) y PIMCD-80 (convocatoria de 2014), que están citadas en el texto del presente informe.



Imagen 1. Aspecto de la página de inicio del espacio web ATLAS DE ROCAS ÍGNEAS, desarrollado en el marco de los proyectos de innovación docente de la Universidad Complutense de Madrid PIMCD-51 (2013) y PIMCD-80 (2014).



Imagen 2. Despliegue del menú de la nueva sección incorporada en este proyecto (Formas de Yacimiento): la imagen superior muestra los distintos niveles partiendo de las formas plutónicas, y la imagen inferior partiendo de las formas volcánicas.



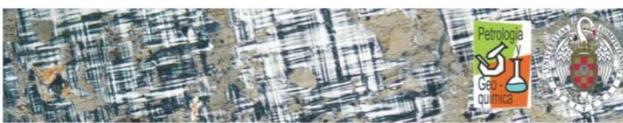
Imagen 3. Ejemplo de las imágenes de enlace que se incluyen dentro de todas las páginas que se abren a partir del menú. Cada imagen enlaza con los contenidos subordinados.



Los diques pueden presentar **zonalidad** de borde a centro del conducto por variaciones en el tamaño de los cristales (incrementando hacia el interior del conducto), como es el caso de los **bordes de enfriamiento**, o por crecimiento en sucesivos pulsos. Si presentan texturas **inequigranulares porfídicas**, los fenocristales pueden definir una **foliación magmática** paralela a las paredes del conducto. El **nivel de emplazamiento** de los diques puede ser muy variado, como se puede ver en la galería de imágenes superior de **diques básicos**. En la imagen izquierda (1) se puede ver un dique de unos 30 cm de potencia, atravesando un **depósito piroclástico (emplazamiento epizonal)**. El **contacto** es neto y rectilíneo. Se puede apreciar cierta zonality que quizás se relacione con diferentes pulsos de relleno (isla de San Miguel, Islas Azores, Portugal). En la imagen central (2) de la galería se puede ver un dique básico (potencia aprox. 1 m) intrusivo en **zonas profundas de la corteza** ya que aparece atravesando un complejo **migmatítico** (área de fusión). El dique tiene contacto neto y rectilíneo pero su intrusión debió de ser tardía (y no completamente posterior) respecto a la migmatización, ya que hay diquecillos y venas de fundidos graníticos atravesando dicho dique (cantera de Kaihiankylä, Islandia). La imagen derecha (3) muestra un dique básico atravesando una intrusión **sienítica**, en donde se aprecia claramente el escalonamiento ligado al típico mecanismo de intrusión de magmas básicos. El contacto es neto y, aunque escalonado, lineal (sienitas del dique anular de las Peñitas, Fuerteventura).

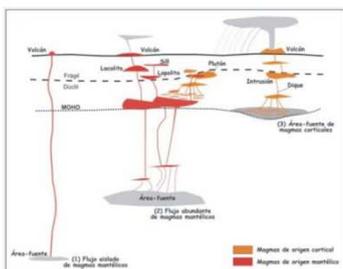
Imagen 4. Ejemplo de los contenidos creados para la sección de Formas de Yacimiento con fotografías realizadas por los miembros del grupo de trabajo, y debajo el texto explicativo. También se pueden ver remarcadas en negrita y color verde las palabras que enlazan a otros contenidos de la misma página web.

INICIO TIPOS ROCOSOS MINERALES ESTRUCTURAS Y TEXTURAS **FORMAS DE YACIMIENTO**





FORMAS DE YACIMIENTO



Los magmas cambian de **forma de yacimiento** según van moviéndose hacia la superficie. En el **área-fuente** de magmas, donde el magma se origina porque la roca funde parcialmente, los fundidos se van segregando y llegan a definir un reticulado o entramado complejo de banditas claras de magma (como son los leucosomas de **áreas migmatíticas corticales**), que indican permeabilidad y flujo de magma a través de una matriz metamórfica sólida de alto grado. Los magmas siempre son más ligeros (de menor densidad) que la roca sólida de la que proceden, por lo que tienden a subir hacia la superficie por su flotabilidad (o "boyancia"). Otros factores (expansión volumétrica, presiones dirigidas) pueden colaborar para que su fuerza de ascenso supere el grado de resistencia elástica del material rocoso inmediato y tengan una fuerza hidrostática o de empuje que les aleje significativamente del

Imagen 5. Ejemplo de los contenidos creados para la sección de Formas de Yacimiento con un diagrama realizado por los miembros del grupo de trabajo, y al lado el texto explicativo.

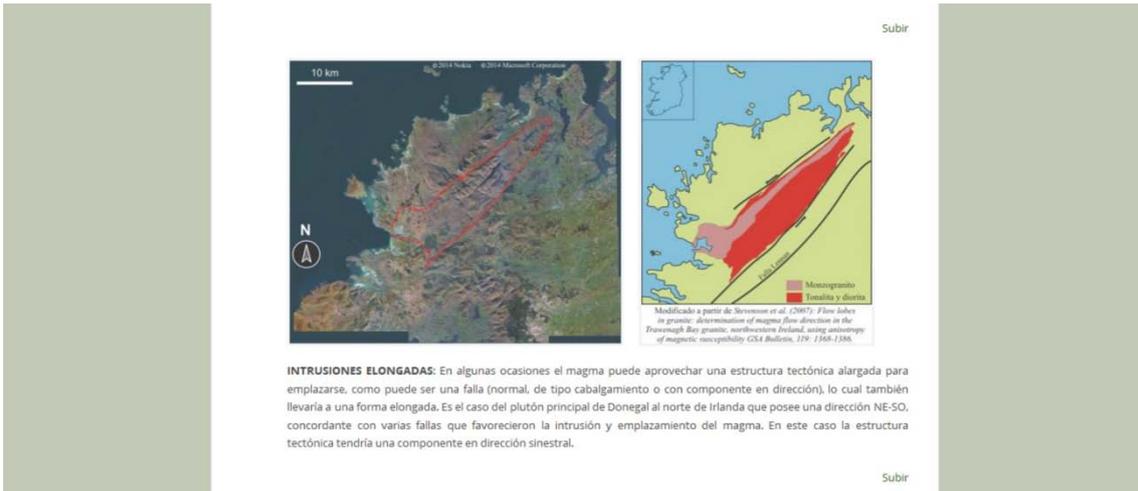
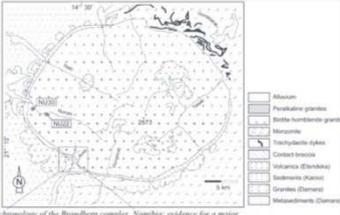


Imagen 6. Ejemplo de los contenidos creados para la sección de Formas de Yacimiento con mapas e imágenes de satélite extraídas de internet o de fuentes bibliográficas, incluyéndose siempre en dichos materiales una referencia sobre los derechos de autor.

PLUTONES: RELACIONES CON EL ENCAJANTE

Las estructuras y relaciones de contacto que se pueden establecer entre una intrusión ígnea y los materiales que han actuado a modo de encajante aportan información muy útil acerca, por ejemplo, del nivel de emplazamiento, de las condiciones reológicas de la corteza en el momento de la intrusión o las relaciones con deformaciones regionales previas o coetáneas al emplazamiento.

1. AUREOLA DE CONTACTO.
2. INTRUSIONES PRETECTÓNICAS.
3. INTRUSIONES SINTECTÓNICAS.
4. INTRUSIONES POSTTECTÓNICAS.

Mapa extraído de Scheiss et al. (2000). *Perovskite and Fe²⁺ in granulites of the Brandberg complex, Namibia: evidence for a major mantle contribution to metalmeltonic and peralkaline granites*. *Journal of Petrology* 41: 1207-1219.

AUREOLA DE CONTACTO: En niveles medios o superiores de la corteza los magmas se emplazan en materiales con los que poseen un marcado contraste de temperatura. Cuando el volumen de magma es lo suficientemente grande, dicho contraste térmico puede provocar la recristalización parcial de la roca que entra en contacto con el fundido, lo cual conlleva la formación de un tipo de rocas metamórficas que suelen denominarse **corneanas**. El término **"pizarra mosqueada"** se emplea también para rocas metamórficas de

Imagen 7. Ejemplo de página en la que se incluye un listado o menú inicial que enlaza directamente a los contenidos expuestos dentro de esa misma página.