

Cronología de la industria de la pizarra: desde el Imperio Romano a la actualidad

Chronology of the slate industry: from the Roman Empire to the present

Víctor Cárdenes^{1*}, Olga García Moreno^{1,2}, Celia Campa Bousoño^{1,3}

¹ Área de Petrología y Geoquímica, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo. Jesús Arias de Velasco s/n, 33005 Oviedo.
<https://orcid.org/0000-0001-5246-7284>

² Centro de investigación en Nanomateriales y Nanotecnología, UO-CSIC-PA. Av. la Vega, 4, 6, 33940 El Entrego (Asturias).
<https://orcid.org/0000-0001-7815-0242>

³ Facultad de educación y psicología, Universidad del Atlántico Medio, Ctra. de Quilmes, 37, 35017 Tafira Baja, Las Palmas.
<https://orcid.org/0000-0002-2631-8821>

*Correspondencia: cardenesvictor@uniovi.es

RESUMEN

Bajo el nombre genérico *pizarra para cubiertas* se enmarca una serie de rocas metamórficas cuya principal característica es poder ser exfoliadas en placas finas y planas, ideales para ser utilizadas como recubrimiento de tejados. Las posibilidades constructivas de estas rocas han hecho que hayan sido empleadas desde la prehistoria, aunque los indicios documentados más antiguos datan del Imperio Romano.

A lo largo de los siglos, la industria de la pizarra moldeó y definió las regiones extractivas. En Europa, el aprovechamiento de estas rocas tuvo gran importancia desde la Edad Media hasta mediados del siglo XX en países tales como Francia, Reino Unido y Alemania. La explotación secular de los yacimientos centroeuropeos llevó a su progresivo agotamiento. A mediados de los años 60 del pasado siglo los yacimientos del noroeste español irrumpieron en el mercado mundial, acaparándolo.

El proceso productivo de la pizarra para cubiertas ha ido incorporando los avances tecnológicos en extracción de roca ornamental de los últimos siglos, aunque sigue siendo relativamente sencillo. La pizarra para cubiertas se extrae del macizo rocoso, se exfolia y se recorta siguiendo unos formatos predefinidos, quedando ya lista para su uso sin mayores modificaciones. El presente trabajo revisa la cronología de este material a nivel mundial. También se definen las características de los distintos tipos de pizarra para cubiertas, así como sus zonas de extracción actuales y el proceso productivo, y se detallan los aspectos aplicados de la didáctica de esta industria en enseñanza secundaria.

Palabras clave: Pizarra para cubiertas; Extracción de pizarra; Industria; Historia

ABSTRACT

The generic name of *roofing slate* is used to describe a series of metamorphic rocks whose main characteristic is that they can be cleaved into thin, flat plates, ideal for use as roof coverings. The construction possibilities of these rocks

Recibido el 25 de diciembre de 2024; Aceptado el 26 de febrero de 2025; Publicado online el 2 de diciembre de 2025

Cómo citar: Cárdenes, V., García Moreno, O. & Campa Bousoño, C. (2025). Cronología de la industria de la pizarra: desde el Imperio Romano a la actualidad. *Estudios Geológicos*, 81(2), 1120. <https://doi.org/10.3989/egeol.45651.1120>

Copyright: ©2025 CSIC. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

have meant that they have been used since prehistoric times, although the oldest documented evidence dates back to the Roman Empire.

Over the centuries, the slate industry shaped and defined the extraction regions. In Europe, the use of these rocks was of great importance from the Middle Ages to the mid-twentieth century in countries such as France, the United Kingdom and Germany. The centuries-old exploitation of the Central European deposits led to their progressive depletion. In the mid-1960s, the deposits in northwestern Spain burst onto the world market, monopolizing it.

The production process for roofing slate has been incorporating the technological advances in the extraction of ornamental rock in recent centuries, although it remains relatively simple. Roofing slate is extracted from the rock mass, exfoliated and cut according to predefined formats, and is then ready for use without further modifications. This paper reviews the chronology of this material worldwide. It also defines the characteristics of the different types of roofing slate, as well as its current extraction areas and production process, detailing the applied aspects of teaching this industry in secondary education.

Keywords: Roofing slate; Slate extraction; Industry; History

Introducción

La parte más importante de un edificio es, sin duda, la cubierta. Tener un techo sobre la cabeza es lo que crea un hogar, un lugar para vivir. La humanidad empezó a construir asentamientos permanentes a partir del Neolítico, entre 6.000 y 4.000 años a.C. Es en ese momento cuando nace y se desarrolla el concepto de vivienda tal y como lo conocemos hoy en día. El uso de las rocas como elementos principales de estas viviendas se generaliza, debido principalmente a su durabilidad, y los yacimientos donde se encuentran rocas de construcción se convierten en fuente de riqueza. De entre todas las rocas ornamentales, la pizarra sobresale debido a su principal característica, la fisibilidad, que permite obtener fácilmente bloques grandes y regulares y, si las condiciones del yacimiento y las características petrológicas lo permiten, pueden obtenerse placas finas y regulares con las que recubrir un tejado.

A lo largo de los siglos, la industria de la pizarra para cubiertas ha dado forma a paisajes, comunidades y estilos arquitectónicos. Ha sido motor económico de zonas de Europa tales como el sur de Gales (UK), Angers (Francia), o Turingia (Alemania), aunque hoy en día el principal productor es España, con alrededor del 80% de la producción mundial. Sin embargo, su importancia histórica y económica no se ve reflejada en el volumen de trabajos científicos que se han escrito sobre ella, en comparación con otras rocas ornamentales (granitos, areniscas o mármoles, por ejemplo) que sí que han sido objeto de numerosos estudios. Esto puede ser debido a la asunción errónea de que la pizarra, al ser muy homogénea, con una composición mineralógica regular (García-Guinea et al., 1997), no presenta grandes desafíos científicos.

El presente trabajo ofrece una visión sobre los aspectos más importantes de la pizarra para cubiertas a nivel nacional e internacional (definición y clasificación, historia, normativa y arquitectura),

Definición y clasificación

A la hora de definir y clasificar la pizarra para cubiertas, es fundamental establecer la diferencia entre dos términos que, a pesar de ser muy parecidos, hacen referencia a conceptos distintos. Por un lado, se encuentra el término “pizarras para cubiertas”, el cual se refiere a una roca natural fisible, empleada como material de construcción, que puede ser exfoliada en placas finas, planas y regulares, adecuadas para ser colocadas en una cubierta. Existen varios tipos de rocas que cumplen esta función: metalutitas, pizarras stricto sensu, filitas y micaesquistos. Desde el punto de vista petrológico, estas rocas forman una secuencia metamórfica de bajo-medio grado (Figura 1). Por otro lado, una pizarra s.s. es una roca, definida por la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS, por sus siglas en inglés) como una roca metamórfica de grano muy fino que presenta clivaje pizarroso. A su vez, el clivaje pizarroso es un “tipo de clivaje continuo en el cual los granos individuales son muy pequeños como para verse a simple vista” (Fettes et al., 2011). Los sedimentos originales, el protolito, que dan lugar a las pizarras son por tanto materiales pelíticos de grano muy fino (arcillas). No es raro encontrar

pizarras en la corteza terrestre, normalmente asociadas a zonas afectadas por metamorfismo regional. Sin embargo, solo en unas pocas localidades es posible extraer y procesar esta roca para producir pizarras para cubiertas. Al mismo tiempo, como ya se ha indicado anteriormente, hay otros tipos de rocas similares que también se pueden trabajar de la misma forma, si bien son mucho más escasas que la pizarra s.s. Debido a ello, la gran mayoría de las pizarras para cubiertas son, ciertamente, pizarras, lo que hace que frecuentemente se tomen ambos términos como equivalentes. La dicotomía se puede explicar de la siguiente manera: no todas las pizarras para cubiertas son pizarras, ni todas las pizarras pueden emplearse como pizarras para cubiertas.

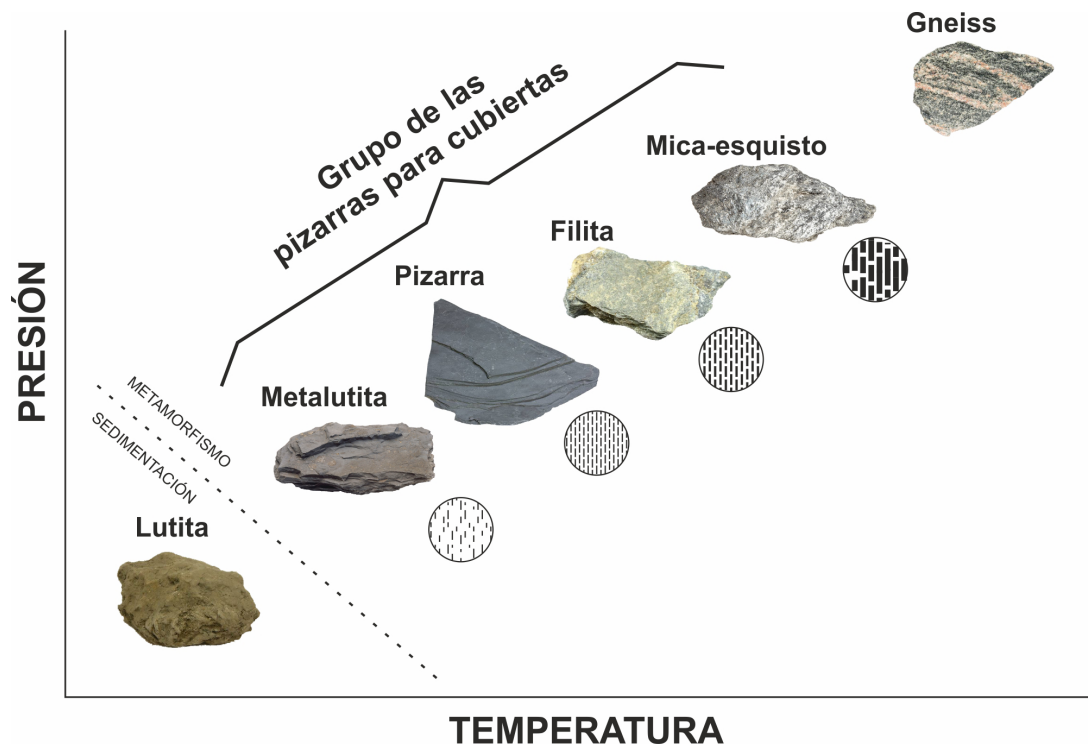


Figura 1.— Secuencia metamórfica de las rocas empleadas como pizarras para cubiertas (Cárdenes, 2022).

El color es la otra característica distintiva en pizarras para cubiertas. Dicho color no es otra cosa que el reflejo de la mineralogía, resultado a su vez de las condiciones sedimentarias. Existen tres familias de color en pizarras para cubiertas: negro-gris, rojo-púrpura y verde. Las pizarras negras-grises son las más habituales, y su color se debe a la presencia de materia orgánica diseminada (Gutiérrez-Claverol et al., 1990), que puede llegar a representar hasta el 2% de la roca, aunque lo normal es que oscile entre el 0.2 y el 1.2%. Las pizarras verdes deben su color a un tipo de clorita, el clinocloro, que es predominante frente a la chamosita, la otra especie de clorita habitual en pizarras. Las pizarras rojo-púrpuras son el resultado de la presencia de hematites. El color guarda una estrecha relación con el ambiente deposicional en el que se depositaron las arcillas primigenias en la etapa de sedimentación. En condiciones anóxicas, sin presencia de oxígeno libre en el medio, la materia orgánica, de color oscuro, no se degrada, quedando preservada y diseminada en la matriz rocosa. El hierro libre se combina con el azufre, formando sulfuros de hierro. Si la concentración de oxígeno aumenta, las condiciones pasan a disódicas, bajo las cuales se favorece la formación de clinocloro. Finalmente, en condiciones óxicas, con abundancia de oxígeno, el hierro libre se oxida, formando hematites, que ejerce de mineral colorante (Figura 2).

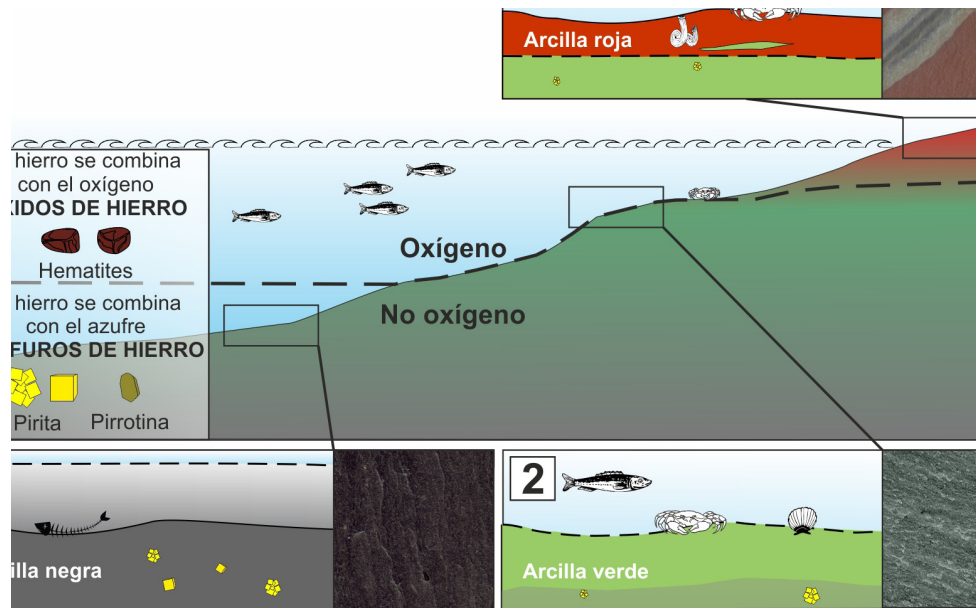


Figura 2.— Relación entre el color y las condiciones sedimentarias. 1) Ambiente óxico, el Fe presente en el medio se combina con el O, formando óxidos de hierro (hematitas). Presencia de organismos y bioturbación. 2) Ambiente disódico, pobre en oxígeno. La tasa de sedimentación orgánica se incrementa, lo que favorece la deposición de arcillas verdes (clínocloro). 3) Finalmente, en condiciones anódicas la materia orgánica no se descompone, formando partículas carbonosas. El Fe libre se combina con S, generando sulfuros de hierro (Cárdenes, 2022).

Estas dos entradas, el color y la petrología, se emplean en la International Roofing Slate Classification (IRSC) (Cárdenes et al., 2020), que define así 12 litotipos de pizarras para cubiertas, combinando los 4 tipos rocosos (metalutita, pizarra s.s., filita y mica-esquisto) y las tres familias de color (negro-gris, rojo-púrpura y verde) (Figura 3). Cada litotipo de la IRSC tiene unas características generales que permiten inferir características constructivas tales como alterabilidad y resistencia a la flexión (Figura 4).

		Condiciones sedimentarias			Presencia de oxígeno
		Sin oxígeno			
Grado metamórfico	Color	Negro-Gris	Verde	Rojo-Púrpura	
	Petrografía	B	G	R	
	Metalutita	B0 3%	G0 1%	R0 >1%	
		Metalutita negra-gris	Metalutita verde	Metalutita rojo-púrpura	
	Pizarra	B1 90%	G1 1%	R1 1%	
		Pizarra negra-gris	Pizarra verde	Pizarra rojo-púrpura	
	Filita	B2 1%	G2 1%	R2	
		Filita negra-gris	Filita verde	Filita rojo-púrpura	
	Mica-esquisto	B3 1%	G3	R3	
		Mica-esquisto negro-gris	Mica-esquisto verde	Mica-esquisto rojo-púrpura	
Pizarras especiales		ST	R1a		
		Piedras para cubiertas	Pizarras mezcladas		

negro-gris		verde		rojo-púrpura	
B1	B2	G0	G2	R1	R1

Figura 3.— Arriba: litotipos de pizarras para cubiertas según la IRSC (International Roofing Slate Classification). El porcentaje en cada recuadro significa el volumen estimado de producción de cada litotipo en el global mundial. Abajo: ejemplos de distintos litotipos (Cárdenes, 2022).

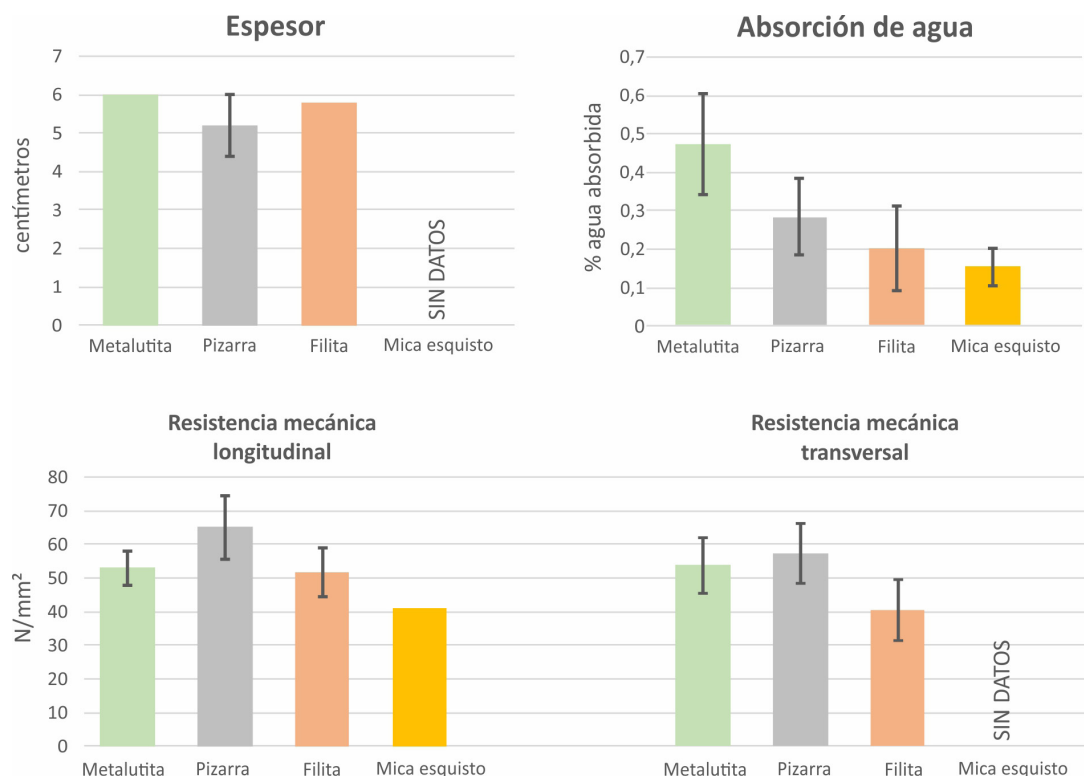


Figura 4.— Valores extraídos de certificados de ensayo según EN 12326 (menos para el espesor comercial de las pizarras) suministrados por las empresas. Número de ensayos por litología: metalutita 9, pizarra s.s. 131, filita 9, micaesquisto 6 (Cárdenes, 2022).

Cronología de la pizarra para cubiertas

Es necesario aclarar que, si bien la pizarra se ha empleado como material de construcción desde la prehistoria para construir muros y paredes, su uso específico en cubiertas es más tardío de época romana. Hace falta un afloramiento de pizarra donde la roca sea fina y homogénea, de tal manera que se pueda exfoliar en placas finas y regulares. Igualmente, hace falta un mínimo desarrollo tecnológico para fabricar adecuadamente las placas. La industria de la pizarra para cubiertas romana se caracteriza por producir formatos de pizarra estandarizados. En el sur de Gales destacan las elaboradas pizarras para cubiertas descubiertas en los yacimientos arqueológicos de Abermagwr, datadas en los siglos III-IV d. C. (J. L. Davies et al., 2018), y Porthmadog, de los siglos II-III (Parry et al., 2013). Hay también documentadas explotaciones de pizarra romanas en el centro de Inglaterra, como la de Swithland (McWhirr, 1988), y algunos autores han sugerido la exportación de pizarras para cubiertas del continente a través del Canal de la Mancha (North, 1946). Otras localidades en las que se ha documentado el empleo de pizarras para cubiertas son la región de Flandes, (De Clercq, 2011), y Valonia (Henrotay et al., 2018), ambas en Bélgica, y Bermel, en Alemania (H. W. Wagner et al., 2011). En España, las excavaciones realizadas en el yacimiento arqueológico de Valencia do Sil, en la comarca de Valdeorras, Ourense (Tejerizo García et al., 2021), han sacado a la luz numerosas pizarras para cubiertas empleadas en la techumbre de las diversas edificaciones que constituyeron este asentamiento, habitado entre los siglos III y IV d.C., hasta el final del imperio romano en el noroeste peninsular (Figura 5). A partir de este momento no hay referencias bibliográficas que documenten la extracción y empleo de pizarra para cubiertas, aunque es razonable suponer que la industria continuó, proporcionando pizarra para las construcciones locales.

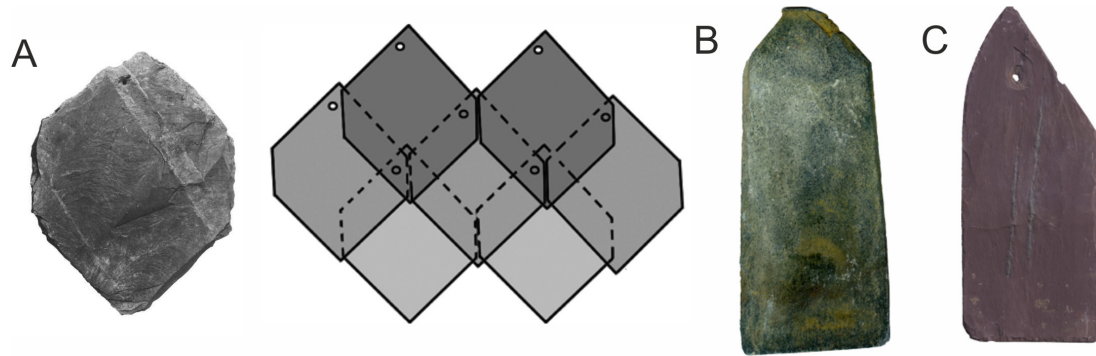


Figura 5.— Diversas piezas de pizarra para cubierta romanas (A, Mayen, Alemania, modificado de Wagner et al. 2011) y medievales (B, Rimognes, Francia, y C, Coubin, Bélgica).

En la Baja Edad Media la industria de la pizarra europea empieza a tomar la forma. En el siglo XIII, hay constancia de la visita del rey Eduardo I de Inglaterra al norte de Gales, durante la cual pernoctó en una casa con cubierta de pizarra en Nantlle, una de las zonas pizarreras históricas de esta región (“History of Slate and Slate Quarrying,” 1907). Las referencias a la industria medieval de la pizarra en las Islas Británicas son numerosas. Jope et al. (1954) documentan la producción y el comercio de diferentes litotipos de pizarra en el sur de Inglaterra y la región de Bretaña, en Francia. El transporte marítimo queda demostrado por la aparición de un pecio del siglo XIII cuya carga consistía en pizarras para cubiertas (Jones, 1979) con formatos no muy diferentes a los empleados hoy en día (Figura 7). Además del norte de Gales, otras zonas históricas de las islas británicas se encuentran en Ballachulish y Macduff (Escocia), Westmorland (Lake District) y Delabole (Cornualles). Durante los siglos XIII al XVIII, la producción se mantuvo a un nivel relativamente bajo, dedicada a satisfacer las necesidades del mercado local, hasta que, en la década de 1770, el primer Lord Penrhyn, Richard Pennant, impulsó el desarrollo de la cantera de Penrhyn (Figura 6), una de las más importantes de la historia de la pizarra. Los obreros pagaban una cuota por trabajar en la cantera, dividiéndose en dos gremios, los canteros, que extraían la roca para luego vendérsela a los labradores, que procesaban los bloques adquiridos en la misma cantera, obteniendo así las pizarras para cubiertas. Las disputas por los mejores bloques eran frecuentes, y las condiciones de seguridad, inexistentes. En 1828 se construyó un ferrocarril, que conectaba la cantera con el puerto de Porthmadog, y estuvo en funcionamiento hasta bien entrado el siglo XX.



Figura 6.— Fotografía de la cantera histórica de Penrhyn, Gales, 1890.

El papel histórico de las canteras de pizarra del N de Gales no es solamente social y económico. Adam Sedgwick, profesor de geología de la universidad de Cambridge, donde tuvo como alumno a Charles Darwin, definió los periodos Cámbrico y Silúrico apoyándose en los imponentes afloramientos creados por las labores de extracción. En 1835 publicó sus primeras conclusiones sobre estos nuevos periodos (Sedgwick et al., 1835). Posteriormente, Lapworth (1879) diferenció el Ordovícico como un periodo propio, ubicado estratigráficamente entre el Cámbrico y el Silúrico, apoyándose también en afloramientos en canteras de pizarra, en este caso en el Lake District, en Cumbria, al norte de Gales.

En Francia, el extenso y bien documentado libro escrito por Soulez Lariviere (1986), perteneciente a una de las dinastías pizarreras francesas más importantes, describe de manera exhaustiva la historia de la pizarra. De entrada, Lariviere descarta la clásica leyenda sobre el arzobispo Licinius (Saint Lezin, patrón de los pizarreros franceses), según la cual este habría ordenado abrir las primeras canteras en la región de Angers en el siglo VI. Lariviere ubica la primera explotación medieval en esta región el año 1312, supuestamente fundada sobre una cantera del siglo XI. En la otra cuenca minera histórica, Fumay, al norte del país, en una carta fechada en 1222, se hace referencia a los derechos sobre las canteras de pizarra por parte de miembros de la burguesía local. Así, en el siglo XIII, Fumay y Rimognes, cercanas a la frontera con Bélgica, se consolidan como zonas productoras de pizarra. Junto con Martelange Bertrix, en Bélgica, estas áreas forman la región de las Ardenas, uno de los núcleos europeos de la industria de la pizarra (Cattelain, 2015). En el siglo XVI, las canteras de pizarra ya constituyen una industria diferenciada, con trabajadores que se dedican en exclusiva a la labor (Figura 7).



Figura 7.— Grabado de las minas históricas de Angers, Francia. Los bloques se tenían que elevar casi 100 metros desde el fondo de la mina hasta la superficie. Finales del siglo XIX.

La mayoría de los castillos de las riberas del río Loira fueron construidos con elaboradas cubiertas de pizarra, así como los edificios nobiliarios y eclesiásticos (Cayla, 1989). Poco antes de la Revolución Francesa, se estima que las canteras de Angers emplean unos 800 trabajadores directos, con una producción en torno a los 25 millones de piezas de pizarra. Las condiciones de los trabajadores eran penosas. Los accidentes se producían a diario, los salarios bajos, y la vivienda, pésima. La llegada de la Revolución Francesa no acabó de mejorar estas condiciones. En 1827 se crea el primer sindicato del sector, la Commission des Ardoisières d'Angers, que ordena tanto los precios de venta como los formatos y las condiciones laborales. Al mismo tiempo llegan a Francia los avances de la Revolución Industrial, que impulsan la capacidad productiva hasta niveles inimaginables hasta ese momento.

El tercer gran actor en la historia de la pizarra es Alemania. Los principales yacimientos se localizan en las regiones de Renania-Palatinado, Westfalia y Turingia (Figura 8). Las primeras referencias están ligadas, como en el resto de países europeos, al imperio romano (H. W. Wagner & Schultheis, 2011), aunque fue durante la Edad Moderna cuando se desarrolló la industria actual (W. Wagner, 2017). Esta se vio favorecida por la prohibición, a partir del siglo XVI, de los tejados de paja, dándose el caso de que el conde de Oberstein, uno de los promotores de esta prohibición, era también dueño de las canteras de pizarra. La influencia política y económica francesa de finales del XVIII en las regiones occidentales de Alemania abrió el mercado francés a las explotaciones alemanas, que adoptaron el reglamento de minas francés. Sin embargo, a comienzos del XIX se produjo un reajuste de las fronteras nacionales, lo que conllevó la pérdida del mercado francés. A pesar de su demanda, el impacto económico de la pizarra no se podría considerar elevado. No es hasta después de la Primera Guerra Mundial cuando se observa un incremento en el rendimiento económico (Wichert, 2020).



Figura 8.— Lámina escolar (alrededor de 1910) donde se representan las labores de exfoliado y recorte en la cantera de Bamberg, Alemania.

En el siglo XX, las guerras mundiales afectaron enormemente a la industria de la pizarra en toda Europa. Después de la Segunda Guerra Mundial, hubo un periodo de resurgimiento, favorecido por los trabajos de reconstrucción, pero en los años 60 del siglo XX la irrupción de la pizarra española acabó por precipitar el cierre de la mayoría de estas explotaciones. En la actualidad la actividad minera en estos países es testimonial.

España, en aquel momento, era un país que aún no había conseguido recuperarse económicamente de la Guerra Civil que lo había devastado, como muestra el elevado número de emigrantes (casi 3 millones de una población total de unos 30 millones, según datos del INE, www.ine.es). Los yacimientos de pizarra del NO, concentrados en su mayoría entre las provincias de Ourense y León, empezaron a ser explotados de manera industrial por emprendedores locales que ya a finales del siglo XIX empezaron a abrir canteras en la zona de Puente de Domingo (León). Entre 1909 y 1910, la sociedad de capital inglés Cantabrian Slate Quarries Ltd. abrió una cantera en Congosto, cerca de Ponferrada, pero la producción no alcanzó las expectativas, seguramente debido a una mala lectura de la geología de la zona, y

la empresa quebró. La producción de las pequeñas canteras que subsistían se destinaba por completo al mercado local. En 1964 llega la noticia de la existencia de las canteras francesas a los pocos pizarristas que se dedicaban al negocio en aquellos años. Este desconocimiento sirve para hacerse una idea de la poca información que llegaba a la zona, remota y de difícil acceso por aquel entonces (Figura 9).



Figura 9.— Cuadrilla de trabajadores en la zona de Casaio, Valdeorras, sobre los años 60 del siglo XX.

En pocos años se establecieron relaciones comerciales en Francia, a las que seguirían Alemania y Reino Unido, y se fundaron las compañías más representativas del sector, Cupire-Padesa (CUPA) y SAMACA. El sector atravesó una rápida expansión y modernización, ayudado en parte por la ausencia de leyes medioambientales que regularan la actividad de las incipientes canteras. Con las regulaciones existentes hoy en día, la minería de la pizarra nunca hubiera podido desarrollarse. En los años 70 llegaron las primeras sierras de disco de diamante, y en los 90, el corte con hilo de diamante, avances que aumentaron de manera drástica el aprovechamiento de la roca. Durante la primera década de los 2000, el sector vivió un momento de gran crecimiento, superando con relativa facilidad la crisis económica del 2008. A partir de entonces comienza una tendencia de absorción de las pequeñas empresas por las grandes. Un relato más detallado de la historia de la pizarra española hasta el 2015 se puede encontrar en Lindoso Tato (2015). En 2016 y 2022, CUPA recibió respaldo financiero de fondos de inversión internacionales, lo que consolidó su posición como primera empresa del sector. Finalmente, en 2024 SAMACA fue absorbida por CUPA, reforzando su posición dominante de esta empresa al frente de la pizarra española.

La amenaza de terceros países a la hegemonía española ha sido una constante desde finales de los 90. China, India y Brasil son productores de pizarra que llaman con insistencia a la puerta del mercado europeo, si bien cada país tiene sus propias características. La pizarra para cubiertas procedente de Brasil es una metalutita, lo que hace que tenga unos valores técnicos diferentes a los de la pizarra s.s. (mayor absorción de agua, menor resistencia a la flexión, y dificultad en el corte). Estas características hacen que no tengan una gran aceptación en Europa. India por su parte produce pizarras y filitas de desigual calidad, provenientes principalmente de la zona de los Himalayas. Finalmente, China, emergente en esta industria, posee varios yacimientos importantes, aunque con un potencial incierto, debido no solo a condicionantes geológicos y mineros, sino también a factores logísticos, productivos y burocráticos.

Aun así, las exportaciones chinas crecen año a año, y la calidad del producto se va incrementando, pero queda por ver la penetración final que puede llegar a tener este país en el mercado europeo.

Yacimientos

Los yacimientos históricos de pizarra se encuentran en Europa, donde la arquitectura de la pizarra ha alcanzado su máxima expresión. La necesidad de encontrar nuevos depósitos, y el beneficio económico que estos acarrearán, impulsaron la prospección y el desarrollo de prósperas industrias en Reino Unido, Francia y Alemania, de las que ya se ha hablado en este trabajo. Adicionalmente, existen importantes yacimientos históricos en otros países, como Chequia (Moravia), Eslovaquia (Marianka), Italia (Liguria y Valmalenco), Portugal (Arouca y Valongo), Irlanda (Valentia), Noruega (Voss, Oppdal, Otta y Alta), Suecia (Glava y Grythyttan), Bélgica (Bertrix y Warmifontaine) y Luxemburgo (Haut Martelange), por mencionar algunos, aunque esta lista no está completa. La litología predominante en el continente y las islas británicas es pizarras *s.s.*, mientras que en la Península Escandinava predominan las filitas y los micaesquistos. En América del Norte se encuentran los depósitos del norte de Estados Unidos (Vermont, Nueva York y Pensilvania) y el sur de Canadá (Quebec), siendo en su mayoría pizarras *s.s.*, mientras que en América del Sur se encuentran los yacimientos ya mencionados de metalutitas de Minas Gerais en Brasil, y la cantera de filita verde de San Luis, Argentina. En el subcontinente indio hay registrados varios yacimientos, siendo los más importantes los de Chamba y Rajastán (India) y Benighat (Nepal), con una litología muy diversa. En China, también con una gran diversidad litológica, los depósitos se pueden encontrar en las provincias de Hubei, Beijing, Jiujiang y Shaanxi. Lai Chau, en Vietnam, es otra zona productora. Al igual que en el subcontinente indio, la litología es muy diversa. En Japón (Ogatsu) y Australia (Willunga y Mintaro) hay canteras históricas, ya sin producción. Finalmente, en Sudáfrica hay un yacimiento, Gauteng, que produce metalutita (Figura 10).

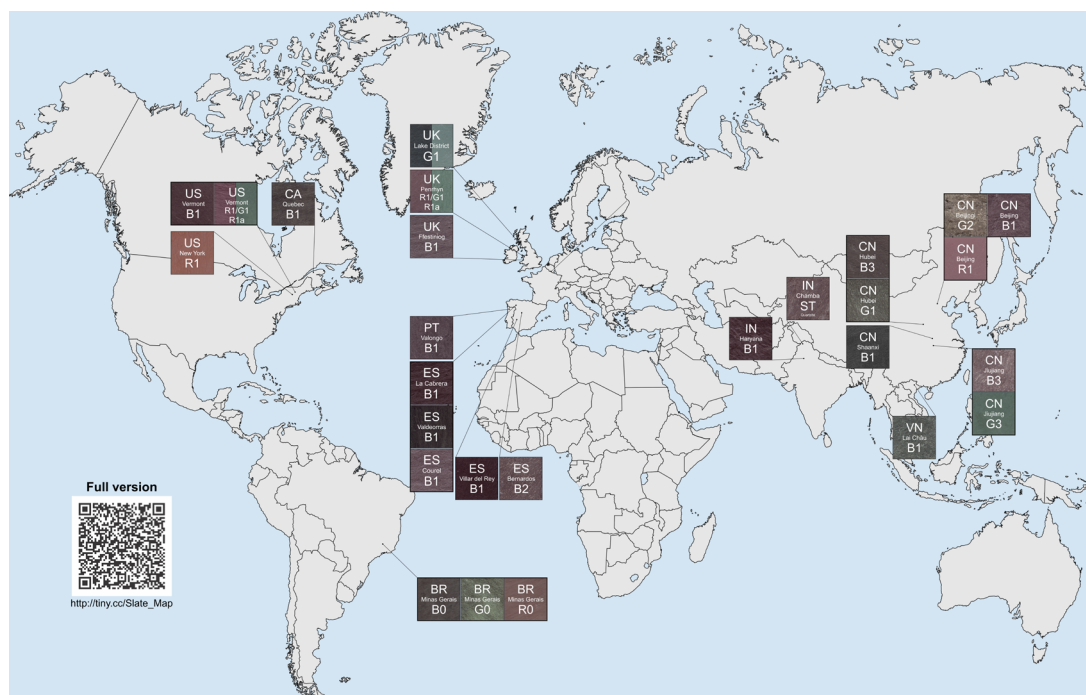


Figura 10.— Mapa resumido con los principales yacimientos activos de pizarra. La versión completa se puede obtener mediante el link indicado en el código QR, o directamente en tiny.cc/Slate_Map

Es seguro que aún quedan yacimientos de pizarra para cubiertas sin descubrir. Los terrenos formados durante el Cámbrico, y, sobre todo, el Ordovícico son objetivos potenciales en una prospección, ya que durante estos dos periodos geológicos la extensión de los mares y la configuración de los

continentes favoreció el depósito de grandes acumulaciones de materiales finos, arcillas, precursores sedimentarios de rocas pizarrosas.

La pizarra para techar y su empleo en la arquitectura

El origen de los actuales formatos de pizarra se encuentra en los formatos romanos, que se pueden clasificar en función de sus equivalentes modernos: rectangular, diamante, rombo, pico pala y rústico o granel. Los formatos de la pizarra para cubiertas determinan la forma en la que se instalará la cubierta de pizarra. Existen dos grandes estilos de colocación, la escuela francesa y la escuela alemana. La francesa se caracteriza por colocar las sucesivas hileras de pizarras de manera horizontal, paralelas a los aleros de la cubierta, mientras que la alemana emplea un grupo de modelos especiales, llamados *schuppen* (“escama” en alemán), que se colocan de manera oblicua a los aleros (Figura 11).

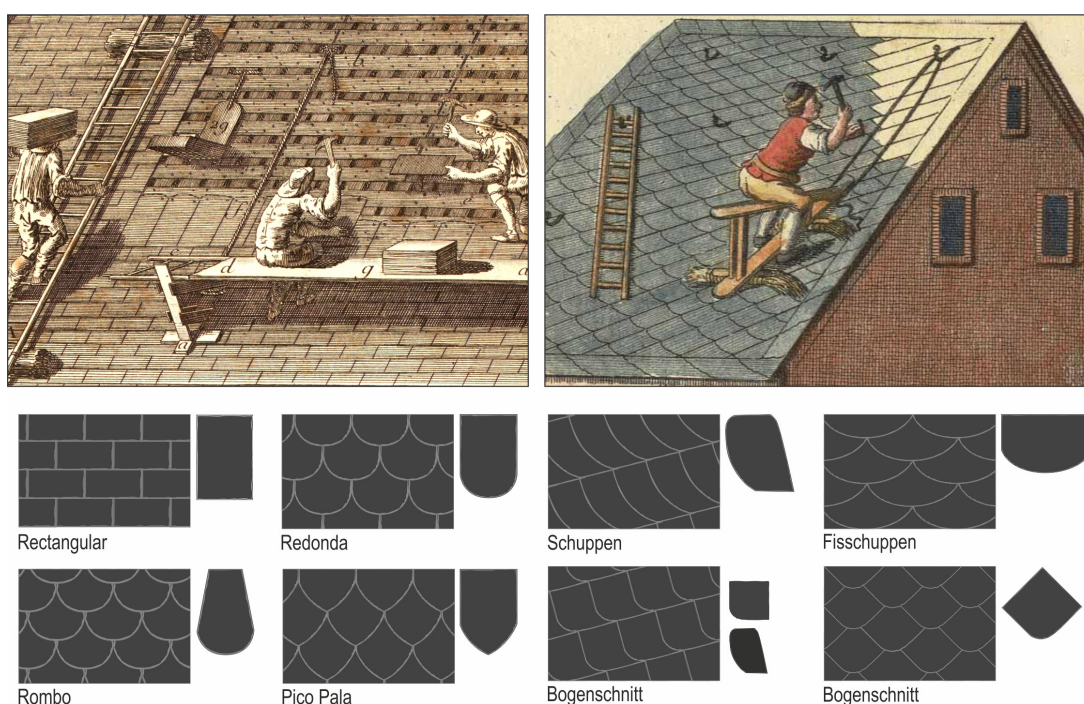


Figura 11.— Grabados históricos representando el trabajo de colocador según los métodos y formatos propios de la escuela francesa (izquierda) y alemana (derecha).

La escuela francesa es la más extendida, mientras que la alemana se restringe principalmente a Alemania, Austria, Chequia y Eslovaquia. En ambas escuelas la pizarra se sujeta a la cubierta mediante clavos, merced a unas perforaciones que se practican en la parte superior de las piezas, aunque la francesa emplea como alternativa ganchos como elemento de fijación. El gancho, desarrollado en 1880 por el colocador francés A. Chevreau, permite instalar la cubierta sujetando la pizarra por su parte inferior, sin necesidad de perforaciones. Esto tiene la ventaja añadida de la facilidad de sustitución de las piezas dañadas, ya que solo es necesario doblar la pinza del gancho con unas tenazas para extraer la pizarra defectuosa, sustituyéndola por una nueva en la misma operación. Por el contrario, los ganchos son visibles en la cubierta, lo que tiene sus detractores desde un punto de vista estético. En relación con el soporte, se pueden emplear rastreles o bien asegurar directamente la pizarra a la cubierta, siendo la primera opción la recomendada por la Asociación Gallega de Pizarristas. Finalmente, en los últimos tiempos se han desarrollado nuevos sistemas de fijación de la pizarra en fachadas que han ampliado las aplicaciones constructivas de este material.

Avances tecnológicos y líneas de investigación

La mejora del proceso productivo, el aprovechamiento de los residuos generados por el mismo, y el desarrollo de sistemas de colocación más eficientes son las líneas de investigación principales para la industria de la pizarra. En lo referente al proceso productivo, el primer avance de importancia se produjo al incorporar iluminación eléctrica en las labores subterráneas, lo que permitió observar con precisión el estado de muros y techos de dichas labores (C, 1881), a mediados del siglo XIX. El siguiente salto tecnológico llegó un siglo después de la mano del ya mencionado corte con disco e hilo de diamante, que, aunque incremento enormemente el volumen de aprovechamiento, también acarrió el problema añadido del polvo generado durante el serrado (Davies, 1939). Este problema sobrevenido hizo que, a partir de los 90, las empresas del sector implementaran medidas para reducir la exposición de los trabajadores, separando zonas dentro de la nave, instalando sistemas de extracción y fomentando el uso de equipos de protección personal (Cluster da Pizarra de Galicia, 2016). Otro avance importante ha sido el desarrollo de máquinas de exfoliado automático. Los primeros prototipos de este tipo de máquinas datan de principios del siglo XX (Dale, 1914), aunque no ha sido hasta más de un siglo después cuando finalmente se ha desarrollado esta tecnología de manera fiable. Hoy en día, la operación de exfoliado está paulatinamente pasando a realizarse de manera automática en la mayoría de explotaciones. El exfoliado es tal vez la operación más crítica en la fabricación de pizarras para cubiertas. Los bloques que se extraen de la cantera han de elaborarse al poco tiempo, ya que si no pierden fisibilidad. Esto es debido a un proceso de recristalización mineral a baja temperatura, Ostwald-Rippening, que dificulta y llega a impedir por completo el exfoliado (García-Guinea et al. 2000, 1998).

En lo que respecta al aprovechamiento de los residuos generados, se ha especulado con el uso de los lodos de decantación procedentes de las sierras como ingrediente de otros materiales de construcción (Cambroner et al., 2007; Catarino et al., 2003; Sáez del Bosque et al., 2018), si bien ninguna de estas aplicaciones resuelven el problema de generación de residuos, por el poco volumen que emplearían, ni tampoco suponen una mejora significativa respecto a los procesos actuales para estos usos. La restauración y reaprovechamiento de las escombreras generadas ha sido también objeto de investigación. Los residuos vegetales de la producción vinícola se pueden emplear en tareas de revegetación de escombreras de pizarra (Paradelo et al., 2006, 2007), lo cual tiene especial interés para las empresas del sector, ya que las zonas extractivas del noroeste peninsular son también regiones con larga tradición vitivinícola. Hoy en día, el mejor aprovechamiento que se le puede dar a los residuos del sector es usos secundarios en construcción, tales como relleno y cimentación, o elaboración de materiales secundarios (muros y pavimentos).

Por último, la mejora los sistemas de colocación, tanto en fachadas como en cubiertas, han sido objeto de interés por parte del sector. Uno de los primeros avances fue el ya nombrado gancho para sujetar la pizarra, a finales del siglo XIX. Posteriormente, la introducción de clavos de cobre redujo las patologías causadas por la oxidación de estos elementos de hierro. Los mayores avances se han llevado a cabo en las últimas décadas, con la aparición de sistemas de colocación modulares que permiten aprovechar la radiación solar incidente sobre la cubierta para calentar el agua de uso doméstico, o el desarrollo de sistemas de colocación en fachadas ventiladas (Thermoslate© y Cupaclad© respectivamente, propiedad de CUPA). Estas nuevas aplicaciones amplían el abanico de soluciones arquitectónicas que la pizarra.

Didáctica de la explotación de la pizarra: un enfoque interdisciplinar

La enseñanza de la geología en el contexto español, centrada en la explotación de la pizarra, puede ofrecer una oportunidad única para integrar múltiples disciplinas bajo el mismo enfoque. Este recurso natural, con su profundo legado económico, social y cultural, sirve como punto de partida ideal para explorar no solo los fundamentos geológicos, sino también su interrelación con otros campos del conocimiento.

La pizarra, como material tangible y accesible, proporciona un ejemplo concreto para que los estudiantes comprendan procesos geológicos fundamentales. Esta roca, formada a partir de sedimentos arcillosos bajo la influencia de fuerzas tectónicas, permite que de su estudio se expliquen fenómenos

como la rotación y deformación de granos, así como la disolución y recristalización de minerales, ofreciendo una comprensión detallada de los mecanismos de deformación y metamorfismo (van der Pluijm et al., 1998). El uso de muestras físicas de pizarra en el aula o *in situ* (explotaciones de pizarra) amplía esta tangibilidad, permitiendo a los estudiantes interactuar directamente con el material geológico. Asimismo, un enfoque práctico *in situ* no solo podría dinamizar la enseñanza teórica, sino que facilitaría la integración de conocimientos sobre la geología de la pizarra con el entorno ambiental, la situación social y el impacto económico de la minería, los cuales, en principio, podrían percibirse como elementos desconectados (Míguez-Rodríguez et al., 2017). Esta aproximación multidisciplinar, basada en la experiencia directa con la pizarra, establece una base sólida para una comprensión más integral de la geología y sus implicaciones, abriendo camino a la incorporación de herramientas adicionales que enriquezcan aún más el proceso de aprendizaje.

En este sentido, complementando esta base tangible, la experiencia educativa se puede enriquecer con la incorporación de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC's). Estas herramientas permiten trascender algunas de las limitaciones físicas del aula o visitas a canteras. Esto se debe a que permiten ofrecer simulaciones digitales e interfaces interactivas que visualizan fenómenos geológicos complejos, como la formación de vetas (Wadge et al., 1992) o el metamorfismo a lo largo del tiempo. Estas simulaciones hacen accesibles procesos difíciles de observar en el entorno natural (Wellmann et al., 2010), como las dimensiones y el aspecto de una cantera de pizarra, proporcionando representaciones tridimensionales e interactivas que integran múltiples datos geológicos. La combinación entre lo físico y lo virtual complementa la comprensión de los estudiantes, ofreciéndoles herramientas que facilitan una visión más completa de los procesos geológicos.

Este uso integrado de herramientas TIC también puede dar lugar a la implementación de metodologías activas de enseñanza, como el Aprendizaje Basado en Problemas (ABP). El ABP es una metodología que promueve la colaboración y la resolución de problemas complejos de forma iterativa. Los estudiantes revisan su conocimiento previo, investigan nuevos conceptos y aplican su aprendizaje en la reevaluación del problema, mejorando la comprensión de los procesos geológicos naturales, como los que intervienen en la formación de la pizarra. Este enfoque, aplicado en la enseñanza de la geología, ha demostrado ser efectivo para fomentar la integración interdisciplinaria y derribar concepciones erróneas (Smith, 1995). La interacción entre teoría, práctica, tecnología y resolución de problemas en el ABP impulsa una comprensión más crítica y profunda de la geología.

Un ejemplo ilustrativo en el que se aplican diversas metodologías activas es el programa “Storm-Tossed Sea Rocks in Pelion Seaside”, donde los estudiantes de secundaria participaron en actividades prácticas relacionadas con la geocultura y el patrimonio geológico, incluyendo el estudio de formaciones rocosas como pizarras (Georgousis et al., 2021). A través de visitas digitales a canteras y entrevistas con expertos del sector, los estudiantes pudieron adquirir un conocimiento más profundo y contextualizado, desarrollando una comprensión sobre la importancia de la conservación geocultural y el desarrollo sostenible en la industria. Este enfoque práctico y tecnológico en la enseñanza de la geología a través de la pizarra se enriquece aún más al conectarlo con su relevancia histórica y económica. Benghida (2019) destaca cómo la minería de pizarra ha sido una industria significativa en regiones como el noroeste de España desde el siglo XIX, impulsada por la demanda de este material duradero para la construcción. Así, el estudio de la evolución de las técnicas de extracción, desde los métodos romanos hasta las innovaciones tecnológicas contemporáneas como el uso de cortes con hilo de diamante, permite a los estudiantes apreciar cómo la innovación ha transformado tanto la industria como su impacto en el entorno social y ambiental.

La industria de la pizarra, especialmente en España (cubriendo casi el 80% de la producción mundial de pizarras para cubiertas) y en regiones como Galicia o León, ha jugado un papel clave en la configuración del paisaje económico (Cárdenes et al., 2018; Wichert, 2020). El uso de enfoques interdisciplinarios para enseñar sobre la explotación sostenible de los recursos geológicos integra aspectos técnicos, sociales y ambientales, ayudando a los estudiantes a comprender el impacto de estos recursos en la sociedad y promoviendo soluciones sostenibles a través de actividades prácticas (Dino et al., 2022; Filipe et al., 2012; Míguez-Rodríguez & González-Rodríguez, 2017). La modernización de la minería de pizarra ha

impulsado transformaciones tanto en el desarrollo económico de estas áreas como en su interacción con el medio ambiente, subrayando la conexión entre geología, tecnología y el desarrollo regional.

La sostenibilidad se erige como el hilo conductor que entrelaza todas las facetas del estudio de la pizarra, desde lo tangible hasta lo socioeconómico. Un enfoque multidisciplinario en la enseñanza de la sostenibilidad facilita que los estudiantes comprendan la complejidad de los desafíos ambientales y desarrollen habilidades cruciales para la gestión responsable de los recursos naturales (Blatti et al., 2019; Sprain et al., 2012). Algunos expertos proponen el uso de metodologías didácticas activas ya mencionadas, como el ABP, el enfoque por proyectos y las simulaciones, para fomentar competencias en sostenibilidad (Tejedor et al., 2019). Estas estrategias permiten a los alumnos reflexionar críticamente sobre cuestiones socioambientales, como la extracción de recursos, y desarrollar capacidades que contribuyen al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Por ejemplo, entre otros, pueden apoyar el desarrollo del ODS 12 (producción y consumo responsables) al fomentar un uso más eficiente y sostenible de los recursos naturales y la reducción de impactos ambientales o el ODS 15 (vida de ecosistemas terrestres) al enseñar la importancia de conservar los ecosistemas y utilizar y gestionar los recursos de manera que se minimice el daño a la biodiversidad y al entorno natural.

Profundizando en esta perspectiva, Costa et al. (2006) subrayan la importancia de integrar las ciencias sociales, la tecnología y la ingeniería minera para promover prácticas más sostenibles y responsables, considerando tanto los aspectos sociales como ambientales a lo largo del ciclo de vida de la mina, desde la planificación hasta el cierre de las operaciones. Stewart et al. (2017) amplían esta visión interdisciplinaria al proponer la integración de los conceptos de sostenibilidad en la educación geocientífica. Introducen la idea de la “geología social”, que incorpora la sostenibilidad en las ciencias de la Tierra y destaca la necesidad de involucrar a las ciencias sociales y del comportamiento para abordar los desafíos relacionados con la gestión de recursos naturales, como la pizarra.

En definitiva, y tras lo expuesto, parece que un enfoque interdisciplinario de la enseñanza de la geología, centrado en la explotación de la pizarra, trasciende los límites tradicionales del aula. Partiendo de lo tangible y concreto, incorporando tecnologías digitales, explorando contextos históricos y económicos, y culminando en consideraciones de sostenibilidad y responsabilidad social, se crea un ambiente propicio para una experiencia educativa rica y polifacética. Esta progresión desde lo físico hasta lo conceptual y ético proporciona a los estudiantes una comprensión profunda y significativa de los procesos geológicos y sus implicaciones globales, posicionándolos como esos agentes de cambio capacitados para liderar iniciativas hacia una gestión más sostenible y equitativa de los recursos naturales, en las que la explotación de los recursos, como la pizarra, se erija como un modelo de minería responsable y consciente de su impacto.

Conclusiones

La pizarra para cubiertas es una roca especial, muy similar tanto en aspecto como en forma de elaboración en todos los países en los que se encuentra. Históricamente ha definido sociedades y comunidades, y actuado como motor económico de las regiones en las que se ha explotado. Su gran representatividad en el patrimonio histórico europeo ha hecho que sea sinónimo de durabilidad, siendo también muy empleada en construcciones modernas. Hoy en día España es el principal productor de pizarras, seguido de lejos por China y Brasil.

Existen cuatro tipos de rocas que se emplean bajo el término genérico “pizarra para cubiertas”: metalutita, pizarra *s.s.*, filita y micaesquisto, que a su vez se dividen en tres familias de color (negro-gris, verde y rojo-púrpura), en función de las condiciones deposicionales del sedimento lutítico primordial. La combinación del tipo de roca y el color genera 12 litotipos, base de la clasificación Internacional de Pizarras para Cubiertas.

Las normas técnicas que rigen el mercado de la pizarra son la europea EN 12326 y la norteamericana ASTM C406. Los ensayos más representativos de estas normas son la resistencia a la flexión, la absorción de agua, la exposición a atmósfera sulfurosa y el ciclo térmico

AGRADECIMIENTOS

V.C. quiere agradecer al Dr. Javier García-Guinea, que le introdujo, en general, en el mundo de la investigación científica, y en particular, en el mundo de las pizarras para cubiertas, durante su estancia como becario pre-doctoral en el Museo Nacional de Ciencias Naturales (1999-2001). También quiere agradecer a Rafael González Martín, técnico de difracción y fluorescencia de rayos X, todo lo que le enseñó en aquellos años. Sin ellos este, y otros trabajos, no existirían.

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERESES

Los/as autores/as de este artículo declaran no tener conflictos de intereses financieros, profesionales o personales que pudieran haber influido de manera inapropiada en este trabajo.

AUTORIA CRediT

Víctor Cárdenes: Conceptualización, Investigación, Metodología, Validación, Redacción – borrador original, Redacción – revisión y edición; **Olga García Moreno:** Conceptualización, Metodología, Redacción – revisión y edición; **Celia Campa Bousoño:** Conceptualización, Metodología, Redacción – revisión y edición

Referencias

- Benghida, D. (2019). Slate rock mines: From formation to extraction *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8(9), 2278-3075.
- Blatti, J. L., García, J., Cave, D., Monge, F., Cuccinello, A., Portillo, J., Juárez, B., Chan, E. & Schwebel, F. (2019). Systems Thinking in Science Education and Outreach toward a Sustainable Future. *Journal of Chemical Education*, 96(12), 2852-2862. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00318>
- Cambronero, L. E. G., Ruiz-Román, J. M., & Ruiz-Prieto, J. M. (2007). Caracterización de espumas de pizarra con adiciones de clínquer de cemento. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 46(2), 86-90.
- Cárdenes, V. (2022). *Pizarras para cubiertas. Preguntas y respuestas*. Hifer.
- Cárdenes, V., Ordoñez, Á. R., & Ferrera, S. B. (2018). Rocas de construcción: un ejemplo práctico utilizando pizarras para cubiertas. In *XX Simposio sobre Enseñanza de la Geología: libro de actas* (pp. 349-352). Consell Insular de Menorca.
- Cárdenes, V., Rubio-Ordoñez, A., & Ruiz de Argandoña, V. G. (2020). Definition of Roofing Slate Lithotypes for an International Roofing Slate Classification. *Key Materials in Engineering*, 848, 48-57. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.848.48>
- Catarino, L., Sousa, J., Martins, I. M., Vieira, M. T., & Oliveira, M. M. (2003). Ceramic products obtained from rock wastes. *Journal of Materials Processing Technology*, 143-144, 843-845. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(03\)00341-8](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(03)00341-8)
- Cattelain, P. (2015). *Au fil de l'ardoise... au fil de l'eau*. DIRE ASBL.
- Cayla, P. (1989). Paysages miniers en Anjou: réflexions et application au paysage du bassin houiller de la Basse-Loire. *Annales de Bretagne et des pays de l'Ouest*, 96(2), 203-2016. <https://doi.org/10.3406/abpo.1989.3324>
- Cluster da Pizarra de Galicia (2016). *Conclusión e recomendación do proxecto encamiñado á eliminación do risco derivado da exposición ao po de sílice nas fábricas do sector da lousa en Galicia*. Xunta de Galicia. <https://clusterdapizarra.com/publicaciones/eliminacion-do-risco-derivado-da-exposicion-ao-po-de-silice/>
- Costa, S., & Scoble, M. (2006). An interdisciplinary approach to integrating sustainability into mining engineering education and research. *Journal of Cleaner Production*, 14(3-4), 366-373. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.01.011>
- Dale, N. T. (1914). *Slate in the United States*. USGS Bulletin 586, United States Geological Survey.
- Davies. (1939). Silicosis in slate quarry miners. *Tubercle*, 20(12), 543-555. [https://doi.org/10.1016/S0041-3879\(39\)80103-9](https://doi.org/10.1016/S0041-3879(39)80103-9)
- Davies, J. L., & Driver, T. (2018). The Romano-British villa at Abermagwr, Ceredigion: excavations 2010-15. *Archaeologia Cambrensis*, 167, 143-219.
- De Clercq, W. (2011). Roman rural settlements in Flanders. Perspectives on a 'non-villa' landscape in extrema Galliarum. In N. Roymans & T. Derks (Eds.), *Villa Landscapes in the Roman North* (pp. 235-258). Amsterdam University Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctt46mx3k.14>
- Dino, G., Mancini, S., Lasagna, M., Bonetto, S., De Luca, D., Pereira, M., Baptista, E., De Ferro Miranda Miguel, I., Nuvunga, F., Victória, S., & Rodrigues, N. (2022). Cooperative Projects to Share Good Practices to

- wards More Effective Sustainable Mining—SUGERE: A Case Study. *Sustainability*, 14(6), 3162. <https://doi.org/10.3390/su14063162>
- C, N. (1881). Electric light in slate quarries. *Journal of the Franklin Institute*, 111(2), 152. [https://doi.org/10.1016/0016-0032\(81\)90168-x](https://doi.org/10.1016/0016-0032(81)90168-x)
- Fettes, D., & Desmons, J. (Eds.). (2011). *Metamorphic Rocks: A Classification and Glossary of Terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Metamorphic Rocks*. Cambridge University Press.
- Filipe, F., & Henriques, M. H. (2012). Quarries as educational resources: the Britaltos Quarry (Penela, Portugal). In *Imprensa da Universidade de Coimbra eBooks* (pp. 113–122). https://doi.org/10.14195/978-989-26-0533-3_11
- García-Guinea, J., Cárdenes, V., Correcher, V., Delgado, A., Lombardero, M., & Barros, J. C. (2000). Dehydroxylation and Ostwald ripening effects in roofing slates. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 39(4), 589-594. <https://doi.org/10.3989/cyv.2000.v39.i4.826>
- García-Guinea, J., Lombardero, M., Roberts, B., & Taboada, J. (1997). Spanish Roofing Slate Deposits. *Transactions of the Institute of Mineral Metallurgy, Section B*, 106, 205-214.
- García-Guinea, J., Lombardero, M., Roberts, B., Taboada, J., & Peto, A. (1998). Mineralogía y microestructura de la pizarra de techar: comportamiento termooptico y fisibilidad. *Materiales de Construcción*, 48(251), 37-48. <https://doi.org/10.3989/mc.1998.v48.i251.470>
- Georgousis, E., Savelidi, M., Savelides, S., Holokolos, M.-V., & Drinia, H. (2021). Teaching Geoheritage Values: Implementation and Thematic Analysis Evaluation of a Synchronous Online Educational Approach. *Heritage*, 4(4), 3523-3542. <https://doi.org/10.3390/heritage4040195>
- Gutiérrez-Claverol, M., & Encinas, M. (1990). Determinación de materia orgánica y hierro en rocas pizarrosas mediante medición de su coloración. *Estudios Geológicos*, 46, 185-189. <https://doi.org/10.3989/egeol.90463-4450>
- Henrotay, D. (2011). Découverte d'une villa gallo-romaine à l'origine de l'abbaye de Saint-Hubert. In *Journée d'Archéologie Romaine, Conférence annuelle belge d'archéologie romaine* (pp. 69-70).
- History of Slate and Slate Quarrying. (1907). *Stone. An illustrated magazine*, 28(3), 203-218.
- Jones, C. (1979). Pwll Fanog wreck, Menai Straits, North Wales An interim report on the ship's remains revealed during the 1978 exploratory excavation of the slate cargo mound. *International Journal of Nautical Archaeology*, 8(3), 249-254. <https://doi.org/10.1111/j.1095-9270.1979.tb01124.x>
- Jope, E. M., & Dunning, G. C. (1954). The use of blue slate for roofing in medieval England. *The Antiquaries Journal*, 34(3-4), 209-217. <https://doi.org/10.1017/S0003581500059886>
- Lapworth, C. (1879). On the Tripartite Classification of the Lower Palaeozoic Rocks. *Geological Magazine*, 6, 1-15. <https://doi.org/10.1017/S0016756800156560>
- Lariviere, F. S. (1986). *Les Ardoisières d'Angers*. Imprimerie Ménard-Garnier.
- Tato, E. L. (2014). La industria de la pizarra española en perspectiva histórica. *Investigaciones De Historia Económica*, 11(1), 52–61. <https://doi.org/10.1016/j.ihe.2014.03.013>
- McWhirr, A. (1988). The Roman Swithland slate industry. *Transactions of the Leicester Archaeological & Historical Society*, 1-8.
- Míguez-Rodríguez, L., & González-Rodríguez, C. (2017). La explotación de la pizarra como contexto de aprendizaje para ayudar al alumnado de bachillerato a entender las relaciones entre minería y sociedad. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 25(2), 203-212.
- North, F. J. (1946). *The slates of Wales*. National Museum of Wales.
- Paradelo, R., Cendón, Y., Moldes, A. B., & Barral, M. T. (2006). Restauración de escombreras de pizarra con vermicompost de orujo de uva agotado. *Residuos Industriales*, 90, 44-50.
- Paradelo, R., Cendón, Y., Moldes, A. B., & Barral, M. T. (2007). A pot experiment with mixtures of slate processing fines and compost. *Geoderma*, 141, 363-369. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.07.002>
- Parry, L. W., & Kenney, J. (2012). Archaeological Discoveries along the Porthmadog Bypass. *Archaeology in Wales*, 52, 113-32.
- Sáez del Bosque, I. F., Frías, M., Sánchez de Rojas, M. I., & Medina, C. (2018). Activation temperature-mediated mineralogical transformations in slate quarry sludge: Pozzolan properties. *Construction and Building Materials*, 187, 819-829. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.238>
- Sedgwick, A., & Murchison, R. R. (1835). On the Silurian and Cambrian Systems, exhibiting the order in which the older sedimentary strata succeed each other in England and Wales. *The London and Edinburgh Philosophical Magazine and Journal of Science*, 7, 483-485. <https://doi.org/10.1080/14786443508648654>
- Smith, D. L., Hoersch, A. L., & Gordon, P. R. (1995). Problem-Based learning in the undergraduate Geology classroom. *Journal of Geological Education*, 43(4), 385–390. <https://doi.org/10.5408/0022-1368-43.4.385>

- Sprain, L., & Timpson, W. M. (2012). Pedagogy for Sustainability Science: Case-Based Approaches for Interdisciplinary Instruction. *Environmental Communication*, 6(4), 532-550. <https://doi.org/10.1080/17524032.2012.714394>
- Stewart, I. S., & Gill, J. C. (2017). Social geology - integrating sustainability concepts into Earth sciences. *Proceedings of the Geologists' Association*, 128(2), 165-172. <https://doi.org/10.1016/j.pgeola.2017.01.002>
- Tejedor, G., Segalàs, J., Barrón, Á., Fernández-Morilla, M., Fuertes, M. T., Ruiz-Morales, J., . . . Hernández, À. (2019). Didactic Strategies to Promote Competencies in Sustainability. *Sustainability*, 11(7), 2086-2086. <https://doi.org/10.3390/su11072086>
- García, C. T., Rodríguez-González, C., Sierra, S. F., Rodríguez, C. F., Pardo, J. C. S., Pérez, J. F., Iglesias, D. T., Toucido, F. A., Pereiro, M. F., Alite, V. S., Schick, A. M., & Ríos, C. P. (2021). El final del imperio romano en el noroeste peninsular: intervenciones recientes en el yacimiento de O Castelo, en Valencia Do Sil (Ourense). *Lucentum*, 40, 287-306. <https://doi.org/10.14198/lvcentvm.18558>
- Van Der Pluijm, B. A., Ho, N.-C., Peacor, D. R., & Merriman, R. J. (1998). Contradictions of slate formation resolved? *Nature*, 392(6674), 348-348. <https://doi.org/10.1038/32810>
- Wadge, G., Young, P. A. V., & Mason, D. C. (1992). Simulation of geological processes using an expert system. *Journal of the Geological Society*, 149(3), 455-463. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.149.3.0455>
- Wagner, H. W., & Schultheis, W. (2011). Römischer Dachschiefer - Neue Funde und neue Erkenntnisse. *Der Anschnitt*, 63, 202-206.
- Wagner, W. (2017). Dach- und Wandschiefer - ein traditioneller Baustoff in Mitteleuropa. *Steine in der Stadt*, 1, 3-31.
- Wellmann, J. F., Horowitz, F. G., Schill, E., & Regenauer-Lieb, K. (2010). Towards incorporating uncertainty of structural data in 3D geological inversion. *Tectonophysics*, 490(3-4), 141-151. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2010.04.022>
- Wichert, J. (2020). *Slate as Dimension Stone*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-35667-5>