



# REVISTA DE LA SOCIEDAD GEOLÓGICA DE ESPAÑA

Volumen 37 Número 2, diciembre 2024

ISSN 0214-2708

## Editoras Principales

María José Domínguez Cuesta

Universidad de Oviedo

Nieves López González

Instituto Español de Oceanografía, Málaga



Sociedad  
Geológica  
de  
España

# Revista de la SOCIEDAD GEOLÓGICA DE ESPAÑA

Revista semestral editada por la Sociedad Geológica de España

<http://www.sociedadgeologica.org>

ISSN: 0214-2708 (versión impresa)

ISSN: 2255-1379 (Internet)

Depósito legal: S.421-2012

Es una revista que recoge los artículos originales e inéditos enviados para su publicación a la Sociedad Geológica de España y seleccionados por el Comité Editorial, con el asesoramiento del Comité Científico y especialistas en la materia. También se recogen las réplicas realizadas después de la publicación de un artículo. La Sociedad Geológica de España no se hace responsable de las opiniones vertidas por las personas autoras de los artículos firmados. La propiedad intelectual atribuye a los/las autores/as la plena disposición y explotación de la obra creada, de acuerdo con las leyes vigentes. La Revista no puede ser reproducida, almacenada o transmitida en cualquier forma o por cualquier medio sin la autorización previa y escrita de la Sociedad Geológica de España. Su reproducción para fines docentes, de investigación o uso personal no requiere autorización previa.

## EDITORIA PRINCIPAL / EDITOR-IN-CHIEF

### **María José Domínguez Cuesta**

Universidad de Oviedo, Dpto. de Geología

C/ Jesús Arias de Velasco s/n, 33005 Oviedo (España)

Tel: +34 985 109 546; e-mail: [dominguezmaria@uniovi.es](mailto:dominguezmaria@uniovi.es)

### **Nieves López González**

Instituto Español de Oceanografía, Centro Oceanográfico de Málaga

Explanada de San Andrés (Muelle 9), 29002 Puerto de Málaga (España)

Tel: +34 952 197 124; e-mail: [nieves.lopez@ieo.csic.es](mailto:nieves.lopez@ieo.csic.es)

## EDITORES ADJUNTOS / ASSOCIATE EDITORS

### **Concha Jiménez De Cisneros Vencelá**

Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (CSIC)

Avda. de las Palmeras 4, 18100 Armilla, Granada (España)

+34 958 230 000; email: [concepcion.cisneros@csic.es](mailto:concepcion.cisneros@csic.es)

### **Károly Hidas**

Instituto Geológico y Minero de España (IGME-CSIC), Universidad de Granada

Urb. Alcázar del Genil, 4-Edif. Zulema, Bajo, 18006 Granada (España)

Tel: +34 958 691 032; e-mail: [k.hidas@igme.es](mailto:k.hidas@igme.es)

### **Juan Antonio Morales González**

Universidad de Huelva, Dpto. de Ciencias de la Tierra  
Facultad de Ciencias Experimentales

Campus del Carmen, Avda. 3 de marzo s/n, 21007 Huelva (España)

Tel: +34 959 219 815; e-mail: [jmorales@dgeo.uhu.es](mailto:jmorales@dgeo.uhu.es)

## SEDE EDITORIAL / EDITORIAL OFFICE

### **Sociedad Geológica de España:**

Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca,

Plaza de la Merced s/n, 37008 Salamanca, España.

<http://www.sociedadgeologica.org>

## COMITÉ CIENTÍFICO / SCIENTIFIC COMMITTEE

Alberto Pérez-López, Universidad de Granada (Spain)

Andrés Folguera, Universidad de Buenos Aires (Argentina)

Belén Oliva Urcia, Universidad Autónoma de Madrid (Spain)

David Gómez Gras, Universidad Autónoma de Barcelona (Spain)

Graciela Delvene Ibarrola, Instituto Geológico y Minero de España (Spain)

Jorge Rabassa, Centro Austral de Investigaciones Científicas (Argentina)

José Antonio Ortega Becerril, Universidad Autónoma de Madrid (Spain)

José Brilha, Universidade do Minho (Portugal)

José Miguel Molina Cámara, Universidad de Jaén (Spain)

Juana Vegas Salamanca, Instituto Geológico y Minero de España (Spain)

Julia Cuevas Urionabarrenchea, Universidad del País Vasco (Spain)

Laura Domingo Martínez, Instituto de Geociencias (CSIC), Universidad Complutense de Madrid (Spain)

Luis Vitor Duarte, Universidade de Coimbra (Portugal)

María Luisa Calvache Quesada, Universidad de Granada (Spain)

Mercedes Ferrer Gijón, Instituto Geológico y Minero de España (Spain)

Pablo G. Silva Barroso, Universidad de Salamanca (Spain)

Stephen Johnston, University of Alberta (Canada)

Teresa Román Berdiel, Universidad de Zaragoza (Spain)

### **Imagen de portada:**

Anticlinal de calizas y margas del Cenomaniense con la ermita de Santa Justa en su núcleo, Geoparque Costa Quebrada, Cantabria.

Foto cedida por: María Jesús González Cano.

# REVISTA DE LA SOCIEDAD GEOLÓGICA DE ESPAÑA



Vol. 37 (2) (2024)



# LA GEOLOGÍA, ¿UNA CIENCIA SUFICIENTEMENTE VALORADA EN EDUCACIÓN SECUNDARIA?

*Is geology a sufficiently valued science in secondary school?*

Francisco López-Martínez<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Torre I de la Facultad de Filosofía y Letras, Despacho: 106B, Campus de Teatinos, 29071-Málaga,  
[francisco.lopez@uma.es](mailto:francisco.lopez@uma.es)

**Resumen:** Tradicionalmente, la geología ha sido una disciplina científica insuficientemente considerada dentro de los distintos currículos educativos aprobados en España para la enseñanza secundaria. Aunque con el paso del tiempo sus contenidos teóricos, actitudinales y procedimentales han sido paulatinamente escindidos de las ciencias naturales, actualmente aparecen subordinados e imbricados junto a otras disciplinas, concretamente biología, conformando una asignatura troncal, con un notorio detrimento en cuanto a carga lectiva se refiere. En el presente trabajo se ha realizado una revisión pormenorizada de los variopintos escenarios educativos planteados a nivel estatal con la intención de valorar cómo ha sido considerada la geología dentro de los mismos. Como conclusión se ha constatado la errática y sumisa trayectoria de esta disciplina a lo largo de los distintos marcos educativos, situación que posibilita una serie de futuros retos académicos y profesionales.

**Palabras clave:** geología, ciencias naturales, currículo, educación secundaria.

**Abstract:** Traditionally, geology has been a scientific discipline insufficiently considered within the different educational curricula approved in Spain for secondary school. Although with the passage of time its theoretical, attitudinal and procedural contents have been gradually separated from Natural Sciences, nowadays they appear subordinated and intertwined with other sciences, specifically biology, forming a core subject with a notorious detriment in terms of teaching load. This paper has made a detailed review of the various educational scenarios proposed at the state level with the intention of assessing how geology has been considered within them. As a conclusion, the erratic and submissive trajectory of this discipline throughout the different educational frameworks has been confirmed, a situation that allows a series of future academic and professional challenges.

**Keywords:** geology, natural sciences, curriculum, secondary school.

López-Martínez, F., 2024. La geología, ¿una ciencia suficientemente valorada en educación secundaria? *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 37(2): 3-13.

## Introducción

La geología constituye una de las ciencias empíricas (Ramón-Sala y Brusi, 2016) contempladas en la mayoría de currículos educativos europeos de enseñanza secundaria (Calonge, 2013; Calonge *et al.*, 2012; Calonge García *et al.*, 2018; Martínez Peña y Gil Quílez, 2007; Meléndez *et al.*, 2007). Sin embargo, pese a su enorme relevancia histórica, científica y cultural (Domingo i Morató y Sequeiros, 1998), tradicionalmente sus contenidos han sido relegados a simples elementos accesorios de otras disciplinas científicas, más o menos relacionadas, como biología o geografía, así como englobados en otras materias de mayor envergadura como ciencias naturales o conocimiento general (Calonge, 2013; Calonge *et al.*, 2012; Calonge García *et al.*, 2022; Martínez Peña y Gil Quílez, 2007; Meléndez *et al.*, 2007). Desafortunadamente, esta situación carece de novedad alguna, pues se arrastra desde principios del s. XIX, cuando los ilustrados ideales heredados de la Revolución Francesa (Berengueras Pont y Vera Mur, 2015; Díaz Alcaraz y Moratalla Isasi, 2008) dieron lugar a: i) la asunción de la responsabilidad docente y educativa por parte del estado (Muntañola Buxaderas, 2012) y ii) la proliferación y desarrollo de los contemporáneos sistemas educativos (Ripollés Balaguer *et al.*, 2016).

Considerando el contexto español, aun atendiendo a su relativamente reciente implantación (Capitán Díaz, 2002; Ripollés Balaguer *et al.*, 2016) y políticamente escasa preocupación (Garrido Palacios, 2005), la administración estatal posee un dilatado recorrido, tanto normativo como jurídico, relacionado con el ámbito educativo (véanse los trabajos de Berengueras Pont y Vera Mur, 2015; Real Apolo, 2012; Capitán Díaz, 2002; Garrido Palacios, 2005 o Puelles Benítez, 2011). Dentro de este escenario, no debe obviarse que, de acuerdo al vigente marco legislativo, la educación es una competencia compartida entre el Estado y las Comunidades Autónomas (Aragón Reyes, 2013). En este sentido, tomando como base el art. 149.1.30 de la Constitución Española, mientras que la potestad para establecer los mínimos curriculares comunes recae sobre el Estado, las administraciones autonómicas pueden complementar los contenidos estatales (Aragón Reyes, 2013). Sin embargo, dicha competencia solo será atribuida cuando así haya sido reconocida en sus respectivos estatutos de autonomía y para el bloque de asignaturas troncales, bloque donde aparecen enmarcados los contenidos geológicos para la etapa de secundaria (Pedrinaci, 2012; 2014). En consecuencia, aunque realmente la importancia asignada a la geología dentro de los distintos currículos educativos ha estado supeditada al momento político, económico y social predominante a lo largo de su tramitación y posterior aprobación (de Puelles Benítez, 2011; Garrido Palacios, 2005; Ripollés Balaguer *et al.*, 2016), su presencia en los sistemas educativos autonómicos también atañe a la sensibilidad, afinidad e interés del legislador autonómico en los mismos (Aragón Reyes, 2013). No obstante, también es cierto que el volumen de contenidos “mínimos” definidos a nivel estatal ha alcanzado una magnitud tan elevada que dificulta la posterior ampliación curricular autonómica.

ca (Pedrinaci, 2014) y compromete la temporalización del proceso de enseñanza-aprendizaje (Pedrinaci, 2016). Este escenario ha propiciado una “concepción lineal y acumulativa del saber”, es decir, la necesidad de transmitir la mayor cantidad de conocimientos posibles en detrimento de asentar teorías, conceptos y las propias bases de la investigación científica (Giordan, 2011). Junto con estos problemas curriculares, otro de los grandes inconvenientes a los que se enfrenta la docencia de la geología, tal y como ya adelantó García Cruz (1998) hace más de dos décadas, radica en la dificultad de reproducir, tanto en el laboratorio como en el aula, determinados procesos y fenómenos geológicos, condición que limita su grado de experimentalidad (Ramón-Sala y Brusi, 2016) y apoyo en la observación (Pedrinaci, 2016). Esta situación, unida a otra serie de variables históricas, sociales, profesionales (Pedrinaci, 2012) e, incluso, docentes (Calonge *et al.*, 2012; Calonge García *et al.*, 2022), ha generado un considerable retraso didáctico con respecto a otras ciencias. Aunque los motivos de este retraso fueron detectados algunas décadas atrás (Brañas Pérez *et al.*, 1988) y substancialmente mejorados tras la aparición de determinadas revistas científicas (Pedrinaci, 1996), se han arrastrado hasta épocas bastante recientes (Baena Nogueras y Gutiérrez Pérez, 2012; Ramón-Sala y Brusi, 2016). En consecuencia, la conjunción de todos estos factores ha condicionado enormemente el interés, implicación y comprensión de la materia por parte del alumnado (Pozo, 2000; Pedrinaci, 1996; 2016), especialmente, en aquellos conceptos relacionados con un pensamiento abstracto (Baena Nogueras y Gutiérrez Pérez, 2012; García Cruz, 1998), situación que ha propiciado la aparición de diversas iniciativas de divulgación (Calonge García *et al.*, 2018; 2022) y estrategias didácticas (Calonge García *et al.*, 2022).

En definitiva, dicha limitación temporal y procedimental ha fomentado una posición curricularmente teórica (Calonge, 2013; Calonge García *et al.*, 2018) y conservacionista en lo que a contenidos de índole geológica se refiere (Calonge *et al.*, 2012; Pedrinaci, 2012; 2014). Sin embargo, esta asunción constituye un notorio error, pues la geología forma parte fundamental de un campo científico mayor: las ciencias naturales, y representa una rama del conocimiento cuyo estudio debería considerarse esencial en los currículos educativos, pues su carácter integrador (Domingo i Morató y Sequeiros, 1998; Ramón-Sala y Brusi, 2016; Pedrinaci y Domingo, 2000) permite conocer las causas y consecuencias de múltiples fenómenos naturales que nos rodean (Domingo i Morató y Sequeiros, 1998; Pedrinaci, 2012; 2013). Además, aparte del conocimiento puramente cultural, también es necesario disponer de un relevo generacional adecuado al futuro escenario laboral ante el que se enfrentan las disciplinas y carreras científicas (Calonge *et al.*, 2012; Meléndez *et al.*, 2007; Pedrinaci, 2012; 2013).

Por consiguiente, y atendiendo a todo lo anteriormente expuesto, el presente trabajo tiene por objetivo analizar la relevancia académica concedida a la asignatura de geología por el sistema educativo español para la etapa de educación secundaria. Para ello, atendiendo tanto al actual Boletín

Oficial del Estado como a la anterior Gaceta, se realizará una profunda revisión histórica de los variopintos currículos educativos publicados. Para ello, se abordarán y describirán determinadas particularidades académicas como: etapa educativa, cursos afectados, denominación de la materia, carga lectiva o contenidos abordados. A este respecto, aunque en la literatura científica aparecen diversas publicaciones relacionadas con la evolución epistemológica de la geología en los currículos europeos (Calonge *et al.*, 2012; Calonge, 2013; Martínez Peña y Gil Quílez, 2007; Meléndez *et al.*, 2007), estatales (García Yelo *et al.*, 2022; Pedrinaci, 2012; 2013; 2014) e, incluso, de las ciencias naturales en general (Muntañola Buxaderas, 2012; Ripollés Balaguer *et al.*, 2016), la relevancia científica del presente trabajo radica en analizar la importancia académica concedida a la geología como disciplina científica por los currículos educativos publicados durante más de dos siglos.

### **La geología en los currículos educativos de enseñanza secundaria: una aproximación histórica**

Entre todas las actividades antrópicas, la ciencia es una de las que más fuertemente ha contribuido a modelar el pensamiento humano (Fernández Uría, 1979). Esta afirmación, postulada cuando en España se antepuso el concepto de enseñanza integrada de las ciencias frente a la estructurada (Lillo Beviá y Redonet Álvarez, 1985), destaca el papel que debían adquirir, según los primeros ensayos sobre su didáctica, las ciencias naturales dentro del moderno e incipiente contexto educativo. No obstante, aunque estos conceptos representan dos de los modelos educativos básicos sobre los que se han erguido los sistemas educativos contemporáneos (entendiéndose como tal los promulgados bajo un mandato democrático), la organización curricular de la asignatura está precedida por un amplio bagaje normativo cuyo horizonte temporal comenzó hace casi trescientos años.

#### *El s. XIX: los orígenes del sistema educativo español*

Aunque los primeros conatos del Sistema Educativo Español se remontan a finales del s. XVII (Capitán Díaz, 2002; Díaz Alcaraz y Moratalla Isasi, 2008; Real Apolo, 2012), la Constitución de 1812 configuró y asentó las bases jurídicas para su futuro desarrollo normativo (Berengueras Pont y Vera Mur, 2015; Díaz Alcaraz y Moratalla Isasi, 2008; Ministerio de Educación, 2009; Real Apolo, 2012). Esta situación se materializó años más tarde a través del Informe Quintana<sup>1</sup> (1814), anteproyecto de gran trascendencia educativa (Díaz Alcaraz y Moratalla Isasi, 2008) y encargado de establecer un plan público de estudios (Ripollés Balaguer *et al.*, 2016). Este Informe de carácter liberal estaba redactado en base al presentado por Condorcet en la Asamblea Nacional francesa en 1792 (Real Apolo, 2012; Santos Vega, 2013), pero su modelo no fue oficialmente aprobado debido al regreso de Fernando VII y la posterior

disolución de las Cortes (Capitán Díaz, 2002). No obstante, según establecía el mismo, la docencia de la geología quedaba relegada al segundo de los tres grandes bloques académicos establecidos (Real Apolo, 2012), el denominado como “segunda enseñanza” (Título IV), bloque donde los aspectos geológicos eran abordados de manera muy parcial y específica, pues sus contenidos aparecían dispersos entre la enseñanza de las denominadas “ciencias físicas y matemáticas”, más concretamente, en las materias “Historia natural” y “Química y mineralogía aplicada a las artes y oficios”, cuya duración ocupaba un curso (art. 24).

Posteriormente, superada la Década Ominosa y bajo el reinado de Isabel II, definitivamente se aprobó el inaugural sistema educativo español: El Plan General de Instrucción Pública<sup>2</sup> (de Puelles Benítez, 2011; Muntañola Buxaderas, 2012; Real Apolo, 2012; Ripollés Balaguer *et al.*, 2016). Este Plan, conocido popularmente como “Plan Rivas” y de marcada tendencia liberal (Real Apolo, 2012), surgió en 1836 bajo un escenario político bastante convulso, situación que quedó fielmente reflejada en su articulado y puesta en práctica pues, al igual que su predecesor, tampoco llegó a aplicarse debido a su efímera vigencia (Díaz Alcaraz y Moratalla Isasi, 2008; Real Apolo, 2012; Ripollés Balaguer *et al.*, 2016). Respecto a la consideración de la geología durante este breve periodo, lejos todavía de aparecer reflejada en el currículo académico como tal, sus contenidos se mantuvieron inmersos dentro de un campo científico mayor: la Historia natural. Como previamente había determinado el Informe Quintana, dicha disciplina siguió presente a lo largo de la educación secundaria elemental pero, además, también fue extrapolada y profundizada durante la educación secundaria superior (art. 32 del Plan General de Instrucción Pública).

Casi en la mitad del s. XIX, con el advenimiento de la paz, se aprobaría el Plan General de Estudios de 1845<sup>3</sup>, también denominado como “Plan Pidal”<sup>4</sup>. Aunque el Plan contemplaba los esbozos de los sistemas educativos contemporáneos (Capitán Díaz, 2002; Díaz Alcaraz y Moratalla Isasi, 2008; Ripollés Balaguer *et al.*, 2016), la pugna política entre moderados y liberales imposibilitó alcanzar un consenso pedagógico. Desde una perspectiva curricular, el Plan se centraba en la educación media y superior (Díaz Alcaraz y Moratalla Isasi, 2008; Real Apolo, 2012), dividiendo la primera en dos etapas: elemental y curricular. La elemental tenía una duración de cinco años y en su último curso se impartía la materia “Nociones de historia natural” (art. 3). A su vez, la etapa de formación curricular (equiparable al actual bachillerato) se cursaba a lo largo de los dos años posteriores a la elemental y estaba compuesta por diferentes secciones: Letras y Ciencias, apareciendo en la segunda una asignatura denominada “Mineralogía” (art. 6). En consecuencia, debido a su amplio contenido científico, la aprobación del Plan puede considerarse como el

<sup>2</sup> Plan General de Instrucción Pública, aprobado por el Real Decreto de 4 de agosto de 1836.

<sup>3</sup> Real decreto de 17 de septiembre de 1845 en el que se aprobó el Plan de Estudios relativo a las enseñanzas secundaria y superior.

<sup>4</sup> Según Álvarez de Morales (1972) y Ruiz Berrio (2008) debería denominarse “Plan Gil de Zarate”, en alusión a su legítimo redactor.

<sup>1</sup> Dictamen y Proyecto de Decreto sobre el arreglo general de la Enseñanza Pública (7 de marzo de 1814).

auténtico comienzo de la docencia de las ciencias naturales en los centros de segunda enseñanza españoles (Muntañola Buxaderas, 2012), ámbito donde continuaban embebidos los aspectos de índole geológica, aunque algunas facetas de los mismos aparecían reflejadas en asignaturas muy específicas.

Sobre pasado el ecuador del s. XIX, la ineludible necesidad de crear un marco educativo sólido propició la promulgación de la Ley de Instrucción Pública<sup>5</sup> (1857), normativa conocida como "Ley Moyano" y encarga de organizar, por primera vez, la enseñanza de todos los niveles educativos (Díaz Alcaraz y Moratalla Isasi, 2008; Real Apolo, 2012; Ripollés Balaguer *et al.*, 2016). Este nuevo marco jurídico se prolongó hasta la década de 1970 (Ministerio de Educación, 2009), pero carecía de aspectos innovadores relevantes tanto para el primigenio sistema educativo, como para el estudio de la geología, pues sus bases fueron redactadas tomando como referencia a sus predecesoras (Berengueras Pont y Vera Mur, 2015; Garrido Palacios, 2005). A este respecto, aunque la Ley modificó la denominación del nivel educativo por "Segunda Enseñanza", repetía la división en dos etapas establecida por sus antecesoras, pero, en este caso, habían sido catalogadas como primero (estudios generales cursados durante dos años) y segundo (estudios de aplicación a las profesiones industriales, con cuatro años de duración). Por su lado, los contenidos de índole geológica aparecían referenciados en la materia denominada "Elementos de Historia natural", cuyo curso había sido relegado al segundo periodo de los estudios generales (art. 15). Por último, en cuanto a su carga lectiva, según las disposiciones provisionales de la Ley<sup>6</sup>, la materia se estudiaría en una lección diaria de hora y media durante todo el sexto curso, pero de manera alternativa al estudio de "lengua viva" (idioma extranjero) iniciado en tercero.

Una década después, bajo el mandato de los últimos gobiernos moderados y el cercano final de la Monarquía de Isabel II, se publicó el Reglamento de la Segunda Enseñanza<sup>7</sup> (1867), documento que reformó por completo todo lo dispuesto por la Ley de Instrucción Pública para esta etapa (Díaz Alcaraz y Moratalla Isasi, 2008; Ripollés Balaguer *et al.*, 2016). En este sentido, el reglamento fraccionaba la segunda enseñanza en dos períodos: primero y segundo, con una duración de tres años cada uno (art. 1). En el tercer año del segundo periodo aparecía la asignatura "Nociones de Historia natural", con una lección diaria de hora y media (art. 19) y donde debían instruirse, junto con otros aspectos de índole biológica y económica, "alguna idea de los principios más importantes de Geología". Además del ámbito estrictamente académico, dicho Reglamento definió distintos medios materiales de instrucción para la docencia de la segunda enseñanza, medios para los que se indicaba, expresamente, que los institutos estaban obligados a contar con "una colección de minerales y rocas" (art. 69).

<sup>5</sup> Ley de Instrucción Pública de 9 de septiembre de 1857.

<sup>6</sup> Disposiciones provisionales para la ejecución de la Ley de Instrucción Pública de 23 de septiembre de 1857.

<sup>7</sup> Real Decreto de 15 de julio de 1873 por el que se aprueba el Reglamento de la Segunda Enseñanza.

Más adelante, alcanzada la Primera República, se reorganizó el plan de estudios de la Segunda Enseñanza<sup>8</sup> (1873), normativa que, pese a no llegar a aplicarse debido a los posteriores cambios políticos (Garrido Palacios, 2005; Ripollés Balaguer *et al.*, 2016), supuso un importantísimo avance para la libertad de la enseñanza en general y la docencia de la geología en particular (Díaz Alcaraz y Moratalla Isasi, 2008; Ministerio de Educación, 2009). En este sentido, por primera vez se alude textual y curricularmente a este fundamental campo científico, englobando sus contenidos, junto con otros de astronomía, en una asignatura necesaria para aspirar al título de Bachiller y denominada "Uranografía y Geología" (art. 1). Respecto a su temporalidad, la asignatura había sido relegada al último grupo<sup>9</sup> (el quinto) de la segunda enseñanza, de manera coetánea a otras relacionadas con las ciencias naturales como "Matemáticas", "Física" o "Química" (art. 3). Además, en cuanto a los recursos humanos asignados, el Decreto establecía que los centros debían disponer de un profesor específico encargado para este campo junto con "Geografía y Etnografía" (art. 20).

En resumen, puede afirmarse que durante el s. XIX la geología mantuvo una maltratada relación con los distintos currículos educativos aprobados pues, aunque siempre estuvo presente en la etapa de enseñanza secundaria, tal y como refleja la Tabla 1, sus contenidos aparecen disgregados a lo largo de distintos cursos sin continuidad y, en el mejor de los casos, en distintas asignaturas.

#### *El s. XX: un sistema estancado por los cambios políticos*

A principios del s. XX, la influencia de Giner de los Ríos y la Institución Libre de Enseñanza motivaron importantes transformaciones en el ámbito jurídico, educativo y social (Garrido Palacios, 2005). Dentro del sistema educativo, con el objetivo de equiparar el nivel de la enseñanza pública a la educación privada (Ripollés Balaguer *et al.*, 2016), el Decreto de 19 de julio de 1900<sup>10</sup> modificó los contenidos impartidos en la segunda enseñanza, instaurando un nuevo modelo en el que los aspectos docentes y prácticos fueron mermados a consecuencia del marcado contexto religioso (Garrido Palacios, 2005). Este contexto tradicionalista afectó directamente a la docencia de la geología, materia que dejó de tener una denominación expresa dentro del currículo académico, pues volvió a integrarse en la asignatura de "Historia natural", cuya docencia se impartía en el sexto y último curso de enseñanza secundaria.

Un año después, sus preceptos fueron modificados por el Real Decreto de 17 de agosto de 1901<sup>11</sup>, texto encargado de definir los estudios secundarios que dan acceso a las

<sup>8</sup> Decreto de 3 de junio de 1873, reorganizando los estudios de la Segunda Enseñanza que son necesarios para aspirar al título de Bachiller.

<sup>9</sup> Según el art. 3 de la normativa, los estudios de la segunda enseñanza no estaban sujetos a curso determinados, sino en grupos que el alumnado podía cursar de la manera que estimase oportuna, eso sí, no se podría examinar de una asignatura sin haber aprobado la inmediatamente precedente.

<sup>10</sup> Decreto 19 de julio de 1900 sobre la reforma de la Segunda Enseñanza.

<sup>11</sup> Real Decreto de 17 de agosto de 1901, que organizaba los Institutos Generales y Técnicos

Normativa	Aplicado	Etapa/curso	Asignatura	Carga lectiva
Informe Quintana	No	Primer curso	Química y mineralogía aplicada a las artes y oficios Historia natural	--
Plan Rivas	No	Elemental Superior	Historia natural	--
Plan Pidal	Sí	Elemental (quinto año) Ampliación (equivalente al actual bachillerato)	Nociones de historia natural Mineralogía	1,5 h/ 4 días semana <sup>1</sup> --
Ley Moyano	Sí	Estudios generales (sexto curso)	Elementos de Historia natural	1,5 h/días alternos
Reglamento Segunda Enseñanza	Sí	Segundo (tercer año)	Nociones de Historia natural	1,5 h/día
Plan de estudios de la Segunda Enseñanza	No	Quinto grupo	Uranografía y Geología	--

<sup>1</sup> Según la Real Orden 547, de 14 de agosto de 1849, la segunda enseñanza se impartía seis días a la semana (lunes a sábado) en horario de mañana y tarde. Además, la materia de Historia natural fue desplazada hasta el quinto y último año de la segunda enseñanza.

**Tabla 1.-** Consideración y distribución de los aspectos de índole geológica en las distintas normativas educativas aprobadas durante el s. XIX. Fuente: elaboración propia.

enseñanzas universitarias o carreras técnicas (Díaz Alcaraz y Moratalla Isasi, 2008). Además, del mismo modo que había pasado con la educación secundaria, el Real Decreto de 26 de octubre de 1901 se encargó de reestructurar la enseñanza primaria (Capitán Díaz, 2002; Ripollés Balaguer *et al.*, 2016), etapa que no había sido reformada desde la Ley Moyano (mediados del s. XIX). Entre sus principales modificaciones, inspiradas por la Institución Libre de Enseñanza, el Real Decreto estableció la escolarización obligatoria hasta la edad de doce años (art. 6), la distribución en tres grados (párvulos, elemental y superior) y la inclusión curricular de la asignatura “Nociones de Ciencias Físicas, Químicas y Naturales” (art. 3), entre cuyos contenidos tenían cabida los relacionados con la geología.

Por otro lado, al contrario que sucedió en bachillerato, los importantes cambios políticos acontecidos en el País durante la primera mitad del s. XX desplazaron las reformas educativas para las etapas de educación primaria y secundaria a un casi desaparecido segundo plano (Díaz Alcaraz y Moratalla Isasi, 2008; Ripollés Balaguer *et al.*, 2016). De hecho, tras casi medio siglo de estancamiento normativo y pedagógico, la Ley sobre Educación Primaria<sup>12</sup> relegó la asignatura “Ciencias de la Naturaleza” a una materia complementaria, situación que, por extensión, afectó directamente al escaso tratamiento que la geología recibía dentro de la misma. No obstante, debido al espíritu laboralista de la Ley, en las escuelas rurales sí se impulsaba su enseñanza, pues marcaba el camino para potenciar la economía y el trabajo de los campesinos (Ripollés Balaguer *et al.*, 2016).

Iniciada la década de los setenta, el todavía gobierno dictatorial aprobó la Ley General de Educación<sup>13</sup>, normativa encargada de derogar definitivamente la Ley Moyano (Berengueras Pont y Vera Mur, 2015; Garrido Palacios, 2005) y regular la totalidad del sistema educativo no uni-

versitario (Ripollés Balaguer *et al.*, 2016). Esta nueva Ley implantó entre sus preceptos cuatro consideraciones fundamentales para, el hasta entonces, malogrado sistema educativo. Así: i) establece la obligatoriedad de la enseñanza general básica en todo el Estado (art. 2), ii) define un sistema docente único no discriminatorio y con escolarización plena (Berengueras Pont y Vera Mur, 2015), iii) reconoce la educación como un servicio público (Romero Lacal, 2011) y iv) asienta el auténtico carácter integrador de la educación tras combinar curricularmente y entre sí los cuatro niveles formativos establecidos (Preescolar, Educación General Básica, Enseñanzas Medias y Bachillerato).

Respecto al tratamiento de la geología, inicialmente la Ley desalojó su docencia de la educación secundaria, al trasladar con carácter exclusivo la asignatura común de “Ciencias Naturales” a la etapa de Bachillerato (art. 24). Sin embargo, su posterior desarrollo curricular para educación general básica<sup>14</sup> incluyó la materia “Ciencias de la Naturaleza y Tecnología”, cuya duración semanal variaba en función de la etapa considerada (primera o segunda). Por contraste, el posterior desarrollo curricular del extinto Curso de Orientación Universitaria<sup>15</sup> (COU) contemplado en la Ley tuvo un impacto bastante positivo sobre la docencia, difusión e interés de la geología. A este respecto, según su Plan de Estudios<sup>16</sup>, la materia se configuraba como una asignatura optativa con entidad propia *per se*, de carga lectiva idéntica a las obligatorias (4 horas/semana) y que, además, ulteriormente fue incluida en las pruebas

<sup>14</sup> Real Decreto 3087/1982, de 12 de noviembre, por el que se fijan las enseñanzas mínimas para el ciclo superior de Educación General Básica.

<sup>15</sup> Este Curso constaba de solo un año académico y era una enseñanza no obligatoria realizada tras cursar bachiller o la formación profesional de segundo grado. En sus inicios se configuró como un nivel preparativo para la enseñanza universitaria, por lo que su superación equivale a las actuales pruebas de acceso a la universidad, denominación que varía en función del territorio autonómico considerado.

<sup>16</sup> Orden de 22 de marzo de 1975 por la que se desarrolla el Decreto 160/1975, de 23 de enero, que aprueba el Plan de Estudios del Bachillerato y se regula el Curso de Orientación Universitaria.

<sup>12</sup> Ley de 17 de julio de 1945 sobre Educación Primaria.

<sup>13</sup> Ley 14/1970, de 4 de agosto, General de Educación y Financiamiento de la Reforma Educativa.

Curso	Bloques de contenidos	Contenidos
1º	I. La Tierra en el Universo II. Materiales terrestres	I.1. El Universo, la Vía Láctea y el Sistema Solar II.5. La corteza terrestre
2º	I. Materia y energía II. Tránsito de energía en la Tierra	I.1. Los sistemas materiales y la energía II.6. Agentes geológicos externos II.7. La energía interna del planeta
3º	I. Rocas y minerales	I.1. La materia mineral I.2. Las rocas
4º	I. La dinámica de la Tierra  III. Ecología y medio ambiente	I.1. El modelado del relieve terrestre I.2. Tectónica de placas I.3. Fenómenos geológicos asociados al movimiento de las placas I.4. La Historia de la Tierra y de la Vida  III.8. Dinámica de los ecosistemas

**Tabla 2.-** Bloques de contenidos relacionados con la geología en la última modificación curricular de la LOGSE. Fuente: elaboración propia.

de acceso a la universidad<sup>17</sup>. En consecuencia, todo este cúmulo de circunstancias dieron lugar a la publicación de múltiples libros de texto relacionados con esta ciencia, así como un considerable aumento en el número de matriculaciones para la Licenciatura en Geología (Meléndez *et al.*, 2007).

Paradójicamente, pese a su carácter preconstitucional, la Ley General de Educación se ha convertido, tras la Ley Moyano (Berengueras Pont y Vera Mur, 2015; Garrido Palacios, 2005), en la de mayor vigencia, de hecho, algunos de sus postulados llegaron hasta el régimen democrático<sup>18</sup>. Casi tres décadas después de su publicación, su articulado fue derogado por la Ley de Ordenación General del Sistema Educativo (LOGSE)<sup>19</sup>, norma que supuso un radical cambio didáctico al potenciar el método constructivista (Romero Lacal, 2011). En sus inicios, la LOGSE definió las “Ciencias de la Naturaleza” como un área de conocimiento obligatoria durante los cuatro cursos (divididos en dos ciclos) de la nueva etapa de Educación Secundaria Obligatoria (ESO). Ahora bien, tanto la normativa encargada de desarrollar su currículo<sup>20</sup>, como sus posteriores modificaciones<sup>21</sup>, fraccionaron el área, para el tercer y cuarto curso (segundo ciclo), en dos materias diferentes: “Biología y Geología” y “Física y Química”.

En definitiva, la LOGSE puede considerarse como el primer texto jurídico encargado de valorar y proporcionar, dentro del currículo educativo de secundaria, un protagonismo destacado a la geología al escindirla de las Ciencias

de la Naturaleza, concederle una denominación propia<sup>22</sup> y disponer una amplia batería de contenidos geológicos a lo largo de toda la ESO (Tabla 2). Por el contrario, la LOGSE acarreó una serie de repercusiones conceptuales bastante negativas en niveles superiores (Pedrinaci, 1996), pues su catalogación como asignatura optativa y supresión de las pruebas de acceso a la Universidad comportaron una drástica disminución del número de matrículas universitarias para la Licenciatura de Geología, en particular, (Meléndez *et al.*, 2007) y aquellas relacionadas con Ciencias Experimentales, en general (Pedrinaci, 2012).

#### *El s. XXI: una etapa de madurez y estabilidad*

Una vez en el s. XXI, concretamente en 2002, apareció la Ley Orgánica de Calidad de la Educación<sup>23</sup> (LOE), normativa cuyo borrador atacaba directamente a la docencia de la geología (Domingo i Morató y Sequeiros, 1998). Afortunadamente, este controvertido aspecto fue mayoritariamente modificado durante su tramitación parlamentaria, adoptando la Ley la temporalización y calificación establecida por su predecesora al catalogar la asignatura como “Ciencias de la Naturaleza” para primer y segundo curso y “Biología y Geología” para tercero. No obstante, a consecuencia del cambio de gobierno estatal, tanto la Ley como las ligeras reformas instauradas en algunos aspectos educativos nunca llegaron a aplicarse (Romero Lacal, 2011).

Como resultado, la LOGSE fue finalmente derogada tras la aparición la Ley Orgánica de Educación<sup>24</sup> (LOE) en 2006, legislación duramente criticada debido, entre otros factores, a disminuir los contenidos científicos y su consideración curricular (Calonge, 2013; Calonge García *et al.*, 2018), así como el nivel de exigencia tanto para la enseñanza secundaria como bachillerato (Romero Lacal, 2011). Por su parte, la LOE retomó la denominación de “Biología y Geología” para cuarto de ESO y de “Ciencias de la Naturaleza” desde primero hasta tercer curso, permi-

<sup>17</sup> Ley 30/1974, de 24 de julio, sobre pruebas de aptitud para acceso a las Facultades, Escuelas Técnicas Superiores, Colegios Universitarios y Escuelas Universitarias.

<sup>18</sup> Desde un punto de vista administrativo, los preceptos de la Ley General de Educación fueron adecuados al nuevo marco jurídico del País mediante la Ley Orgánica del Derecho a la Educación (Ley Orgánica 8/1985).

<sup>19</sup> Ley Orgánica 1/1990, de 3 de octubre, de Ordenación General del Sistema Educativo.

<sup>20</sup> Real Decreto 1345/1991, de 6 de septiembre, por el que se establece el currículo de la Educación Secundaria Obligatoria.

<sup>21</sup> Real Decreto 1390/1995, de 4 de agosto, por el que se modifica y amplía el Real Decreto 1345/1991, de 6 de septiembre, por el que se establece el currículo de la Educación Secundaria Obligatoria y Real Decreto 937/2001, de 3 de agosto, por el que se modifica el Real Decreto 1345/1991, de 6 de septiembre, modificado por el Real Decreto 1390/1995, de 4 de agosto, por el que se establece el currículo de la Educación Secundaria Obligatoria.

<sup>22</sup> Pese al novedoso carácter de la Ley, cabe recordar que el concepto “Geología” como tal ya apareció publicado en el currículo educativo promulgado durante la Primera República.

<sup>23</sup> Ley Orgánica 10/2002, de 23 de diciembre, de Calidad de la Educación.

<sup>24</sup> Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación.

Curso	Bloques de contenidos	
	LOE	LOMCE
1º	2. La Tierra en el Universo 3. Materiales terrestres 4. Los seres vivos y su diversidad	2. La Tierra en el universo 6. Los ecosistemas
2º	4. Transformaciones geológicas debidas a la energía interna de la Tierra 6. El medio ambiente natural	
3º	6. Las personas y el medio ambiente 7. Transformaciones geológicas debidas a la energía externa	5. El relieve terrestre y su evolución 6. Los ecosistemas
4º	2. La Tierra, un planeta en continuo cambio 4. Las transformaciones en los ecosistemas	2. La dinámica de la Tierra 3. Ecología y medio ambiente

**Tabla 3.-** Comparativa entre los bloques de contenidos de índole geológica establecidos por la LOE y la LOMCE. Fuente: elaboración propia.

tiendo en este último el desdoble de la materia en “Biología y Geología” y “Física y Química”. Asimismo, aun considerando el carácter continuista que representaba respecto a la LOCE, tanto la LOE como su posterior desarrollo curricular supusieron un enorme avance para la inclusión de contenidos geológicos en el sistema educativo, sobre todo en la etapa de secundaria<sup>25</sup>, donde se establecía como una materia troncal (Pedrinaci, 2006) pero con insuficiente carga docente (Calonge, 2013; Calonge García *et al.*, 2018; Pedrinaci, 2012; 2014). En este sentido, del mismo modo que ocurrió tras la modificación de la LOGSE, los efectos didácticos de la LOE derivaron en una considerable merma en el interés académico de los centros y, por extensión, del alumnado, en este tipo de asignaturas científicas (Calonge, 2013; Calonge García *et al.*, 2018, 2022). Como resultado, se produjo un posterior descenso del número de matriculaciones universitarias en carreras experimentales (Pedrinaci, 2012), así como una notoria merma de conocimientos científicos básicos en personas con estudios universitarios (Pedrinaci, 2016).

Posteriormente, con el nuevo cambio de gobierno nacional, la LOE y su currículo fueron modificados, respectivamente, por la Ley Orgánica de Mejora de la Educación<sup>26</sup> (LOMCE) y el Real Decreto<sup>27</sup> que la desarrollaba. Básicamente, además de homogeneizar la denominación de la asignatura en “Biología y Geología” para toda la etapa, esta nueva legislación categorizó sus contenidos como básicos para alcanzar la alfabetización científica del alumnado (Calonge García *et al.*, 2018). Esta asunción adquirió especial relevancia en el campo de Ciencias de la Tierra debido a la adopción de las diez ideas clave propuestas por Pedrinaci *et al.* (2013), documento desarrollado con base a tres aspec-

tos fundamentales: i) considerar la Tierra como un sistema, ii) conceder gran importancia al procedimiento científico y iii) asumir la roca como un “archivo” del pasado (Pedrinaci, 2016). Por el contrario, al igual que para el resto de las asignaturas científicas (AEPECT, 2021; Calonge García *et al.*, 2022), la LOMCE acarreó una reducción en el número de bloques, cantidad de contenidos y cursos donde se impartían aspectos de índole geológica (ver Tabla 3). En este sentido cabe destacar la notoria disminución teórica existente en la asignatura de Biología y Geología desde el primer (30%) hasta el último (25%) curso de ESO (Calonge García *et al.*, 2019). Cabe destacar que, lamentablemente, esta situación no atañe exclusivamente al contexto curricular español, pues, en consonancia a lo establecido en la mayoría de los países europeos incluidos en el proyecto GeoSchools, el legislador nacional no consideró la geología como una asignatura con entidad propia a lo largo de la educación secundaria (Calonge *et al.*, 2012; Calonge, 2013; Calonge García *et al.*, 2018, 2022; Meléndez *et al.*, 2007).

#### *La LOMLOE: un nuevo golpe para la geología*

Durante los últimos años, el poder legislativo ha aprobado un conjunto de normativas encargadas de regular y desarrollar el futuro del sistema educativo español: la Ley Orgánica de Mejora de la Calidad Educativa, popularmente conocida como LOMLOE<sup>28</sup>, así como un conjunto de reales decretos que desarrollan la ordenación y enseñanzas mínimas para cada etapa educativa. Este nuevo marco legislativo, redactado bajo un enfoque competencial (Coll Salvador y Martín Ortega, 2021), persigue establecer un ordenamiento renovado para aumentar las oportunidades educativas y formativas de toda la población, contribuir a mejorar los resultados educativos del alumnado y satisfacer la demanda social de una educación de calidad para todos (art. 5 de la LOMLOE).

<sup>25</sup> Real Decreto 1631/2006, de 29 de diciembre, por el que se establecen las enseñanzas mínimas correspondientes a la Educación Secundaria Obligatoria.

<sup>26</sup> Ley Orgánica 8/2013, de 9 de diciembre, para la mejora de la calidad educativa.

<sup>27</sup> Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato.

<sup>28</sup> Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación.

Sin embargo, con carácter previo a su publicación, la Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra (AEPECT, 2021) lideró y redactó un manifiesto para reivindicar, con carácter fundamental, la equiparación de la geología al resto de ciencias básicas presentes en todos los niveles educativos. Paradójicamente, debido a la disciplina académica abordada, dicho manifiesto no supone novedad alguna dentro del sistema educativo español, pues han sido diversos los autores que, históricamente, han solicitado una mayor presencia de la geología (Domingo i Morató y Sequeiros, 1998; Pedrinaci y Domingo, 2000, Pedrinaci et al., 2013), especialmente considerando que ha sido una de las ciencias peor tratadas a lo largo de los continuos cambios educativos (Calonge et al., 2022; García Yelo et al., 2022; Pedrinaci, 2014). Asimismo, junto con la AEPECT, el manifiesto estuvo respaldado por diversas asociaciones científicas relacionadas directa (Sociedad Geológica Española, Colegio de Geólogos, Sociedad Española de Paleontología, etc ...) e indirectamente (Institución Catalana de Historia Natural, Real Sociedad Española de Historia Natural o GEOSEN) con el ámbito geológico.

En este aspecto, entre las reivindicaciones reflejadas en el manifiesto para el caso de enseñanzas obligatorias, caben destacar:

- Garantizar que en Educación Primaria los contenidos geológicos estén suficientemente englobados y desarrollados en las Ciencias Naturales.
- Equilibrar en ESO los contenidos de índole geológica con los de biología, estableciendo mecanismos para que todos sean obligatoriamente cursados.
- Distribuir y secuenciar correctamente los contenidos geológicos en todos los niveles educativos.
- Reconocer en el sistema educativo preuniversitario, más allá de los contenidos, la importancia de los aspectos procedimentales, la singularidad del trabajo de campo y de laboratorio de las Ciencias de la Tierra.

En este sentido, aunque es imposible evaluar con precisión el impacto del manifiesto sobre la presencia de la geología en la LOMLOE, a continuación se detallarán algunos aspectos fundamentales de los distintos currículos educativos para enseñanzas preuniversitarias donde, con carácter

Curso	Bloque	Saberes básicos
3º y 2º	B. Geología	Conceptos de roca y mineral: características y propiedades. Estrategias de clasificación de las rocas: sedimentarias, metamórficas e ígneas. El ciclo de las rocas. Rocas y minerales relevantes o del entorno: identificación. Uso de los minerales y las rocas: su utilización en la fabricación de materiales y objetos cotidianos La estructura básica de la geosfera.
1º	E. Ecología y sostenibilidad	Los ecosistemas del entorno, sus componentes bióticos y abióticos y los tipos de relaciones intraespecíficas e interespecíficas. La importancia de la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la implantación de un modelo de desarrollo sostenible. Las funciones de la atmósfera y la hidrosfera y su papel esencial para la vida en la Tierra. Las interacciones entre atmósfera, hidrosfera, geosfera y biosfera, su papel en la edafogénesis y en el modelado del relieve y su importancia para la vida. Las funciones del suelo. Las causas del cambio climático y sus consecuencias sobre los ecosistemas. La importancia de los hábitos sostenibles (consumo responsable, prevención y gestión de residuos, respeto al medio ambiente, etc.).
4º	B. Geología	Relieve y paisaje: diferencias, su importancia como recursos y factores que intervienen en su formación y modelado. Estructura y dinámica de la geosfera. Métodos de estudio. Los efectos globales de la dinámica de la geosfera desde la perspectiva de la tectónica de placas. Procesos geológicos externos e internos: diferencias y relación con los riesgos naturales. Medidas de prevención y mapas de riesgos. Los cortes geológicos: interpretación y trazado de la historia geológica que reflejan mediante la aplicación de los principios de estudio de la historia de la Tierra (horizontalidad, superposición, intersección, sucesión faunística, etc.).
	E. La Tierra en el universo	El origen del universo y del sistema solar. Componentes del sistema solar: estructura y características. Hipótesis sobre el origen de la vida en la Tierra. Principales investigaciones en el campo de la astrobiología.

**Tabla 4.-** Bloques y saberes básicos relacionados con la geología según el desarrollo curricular de la LOMLOE para educación secundaria. Fuente: elaboración propia.

general, aparece una reducción de contenido, se integra la sostenibilidad y, de nuevo, se asumen las diez ideas clave propuestas por Pedrinaci *et al.* (2013) (Giner-Baixauli *et al.*, 2022). En primer lugar, en el caso de Educación Primaria<sup>29</sup>, aunque la disciplina carece de un bloque popio y en varios de los ciclos se ha producido la pérdida de algún aspecto importante, como tendencia mayoritaria, los saberes básicos de carácter geológico han aumentado, de hecho, con carácter bastante vanguardista, han sido incluidos los efectos de los fenómenos naturales catastróficos (García Yelo *et al.*, 2022). Además, para la etapa de ESO<sup>30</sup> (Tabla 4), la geología sigue incluida en “Biología y Geología”, materia que reduce su carga lectiva para primer y último curso, pero la aumenta en tercero. Respecto a la distribución de contenidos, para el primer ciclo se incorpora un bloque común denominado “Geología”, sin embargo, pese a su transgresora denominación, no hereda una serie de contenidos básicos de formación reflejados en la LOMCE (García Yelo *et al.*, 2022; Giner-Baixauli *et al.*, 2022).

Por otro lado, también posterga la importancia concedida a los riesgos naturales en Educación Primaria, pues los aborda como una competencia en vez de un saber básico. Por el contrario, en cuarto curso, la materia alcanza el mayor número de saberes básicos de la etapa, pero han sido desarrollados desde una perspectiva más medioambiental (Giner-Baixauli *et al.*, 2022). Además, debido a su carácter optativo dentro del ámbito científico-tecnológico, los contenidos clave que contempla han quedado compartimentados y relegados a dicho curso, itinerario y voluntariedad, situaciones que condicionarán la alfabetización científica del alumando al acabar esta etapa (García Yelo *et al.*, 2022; Giner-Baixauli *et al.*, 2022). En cuanto al currículo de Bachillerato<sup>31</sup>, los contenidos aparecen dispersos entre “Biología, Geología y Ciencias Ambientales” y “Geología y Ciencias Ambientales”, materias específicas del primer y segundo curso, respectivamente, para la modalidad de “Ciencias y Tecnología”. En este caso, mientras que para primer curso han aumentado el número de contenidos y su continuidad respecto a etapas anteriores (Giner-Baixauli *et al.*, 2022), en segundo se ha producido una importante pérdida conceptual (García Yelo *et al.*, 2022) que, incluso, ha quedado reflejada en la denominación de la materia.

En resumen, pese a que la geología es una ciencia fundamental capaz de proporcionar, entre sus objetivos irrenunciables, un modelo básico acerca de cómo funciona el Planeta (Pedrinaci, 2006; Pedrinaci *et al.*, 2013), sus contenidos, técnicas y procedimientos han quedado marginados a simples complementos de otras asignaturas que, tradicionalmente, han sido mejor consideradas (Calonge *et al.*, 2012; Calonge García *et al.*, 2018, 2022; Meléndez *et al.*, 2007). Desafortunadamente, esta situación se ha visto acentuada con la LOMLOE, especialmente para el primer ciclo de ESO (García Yelo *et al.*, 2022; Giner-Baixauli *et al.*,

<sup>29</sup> Real Decreto 157/2022, de 1 de marzo, por el que se establecen la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Primaria.

<sup>30</sup> Real Decreto 217/2022, de 29 de marzo, por el que se establece la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Secundaria Obligatoria.

<sup>31</sup> Real Decreto 243/2022, de 5 de abril, por el que se establecen la ordenación y las enseñanzas mínimas del Bachillerato.

*et al.*, 2022), pues la interpretación holística de elementos y/o fenómenos naturales ha sido trasladada hasta el último curso pese, a que retomando el enfoque bajo el que ha sido redactada, el mejor modo de desarrollar las competencias es practicándolas (Pedrinaci, 2013).

## Conclusiones

El análisis curricular realizado sobre la consideración de la geología dentro de las distintas normativas educativas españolas ha permitido extraer las siguientes conclusiones:

Primeramente, aun considerando exclusivamente el mandato democrático, el sistema educativo español ha estado regulado por cuatro grandes leyes educativas (LOGSE, LOE, LOMCE y LOMLOE) que han considerado, de manera muy diferente, la geología dentro del currículo. Independientemente de los contenidos científicos contemplados por cada normativa y cuyo máximo exponente se alcanzó con la LOE, esta situación ha ocasionado que varias generaciones de estudiantes hayan cursado aspectos teóricos postulados por dos leyes diferentes, situación que, claramente, perjudica la continuidad curricular establecida entre los distintos cursos académicos.

En segundo lugar, durante el periodo de educación secundaria, la geología y sus contenidos nunca han sido considerados como una asignatura independiente, sino como elementos “accesorios” de otras disciplinas científicas. En este sentido, el estudio de la geología ha estado imbricado, fundamentalmente, con la biología, conformando ambos cuerpos científicos una asignatura de carácter troncal que ha estado presente, en función del currículo educativo considerado, en casi toda la etapa. Aunque según se ha indicado anteriormente, este lamentable panorama es predominante en el contexto europeo (Calonge *et al.*, 2012; Calonge, 2013; Calonge García *et al.*, 2022; Meléndez *et al.*, 2007), no debe obviarse la relevancia cultural y científica que posee la geología para compaginar el comportamiento social con la dinámica planetaria (AEPECT, 2021; Calonge *et al.*, 2022; Pedrinaci *et al.*, 2013).

En tercer lugar, aun asumiendo las limitaciones temporales a las que se enfrenta el desarrollo curricular en la actual Educación Secundaria Obligatoria, desde la administración nacional y autonómica debe abogarse por un cambio de paradigma en lo que a la consideración de la geología se refiere. A este respecto, además de seleccionar aquellos contenidos más relevantes para la materia desde una perspectiva formativa integral con base en la obra de Pedrinaci *et al.* (2013), la geología tiene que alcanzar la posición destacada que se merece en dicha etapa educativa, convirtiéndose en una asignatura con entidad propia, respaldada académicamente, capaz de responder ante los retos de futuro, actualizada técnicamente y persistente en los futuros currículos educativos.

Por último, aunque no ha sido objeto de estudio en este trabajo y constituye una futura línea de investigación, la actual distribución competencial en materia de educación ha conformado el escenario idóneo para la aparición de diecisiete enfoques diferentes de entender la educación, uno por cada comunidad autónoma. Dicho escenario per-

judica gravemente al alumnado pues condiciona tanto el grado de alfabetización geológica como de Ciencias de la Tierra en general en función de la comunidad autónoma donde estude, tal y como ya ha pasado en Educación Primaria (Delgado Iglesias y Calonge García, 2018). En consecuencia, lejos de limitar dicha atribución competencial, el Estado debería armonizar y unificar al máximo posible los distintos contenidos curriculares pues, es el responsable último de garantizar la equidad del sistema educativo.

### Agradecimientos y financiación

El autor agradece los valiosos aportes de carácter bibliográfico, de redacción y diseño realizados tanto por los dos revisores anónimos como por la editora de la revista. La presente investigación no ha recibido ayudas específicas provenientes de agencias del sector público, sector comercial o entidades sin ánimo de lucro.

### Referencias

- AEPECT, 2021. Manifiesto por una adecuada presencia de la Geología en el nuevo currículo de la LOMLOE. Disponible en: <https://www.aepect.org/2021/05/17/geologia-lomloe-2021/>
- Álvarez de Morales, A., 1972. Génesis de la universidad española contemporánea. Instituto de Estudios Administrativos, Madrid, 765 p.
- Aragón Reyes, M., 2013. Las competencias del Estado y las Comunidades Autónomas sobre educación. Revista Española de Derecho Constitucional, 98: 191-199.
- Baena Nogueras, R.M., Gutiérrez Pérez, J., 2012. Estudio de réplica sobre evolución de las ideas previas de los estudiantes: el relieve y su geodinámica. ESRIIE. Educación Secundaria, Revista de Investigación e Innovación Educativa, 2(2): 1-17.
- Berengueras Pont, M., Vera Mur, J.M., 2015. Las leyes de educación en España en los últimos doscientos años. Supervisión 21: revista de educación e inspección, 38: 1-23.
- Brañas Pérez, M.P., Pardo Teijeiro, X., Paz Casas, D., 1988. Experiencias didácticas sobre el trabajo de campo en Geología: una perspectiva interdisciplinar. Henares: Revista de Geología, 2: 395-405.
- Calonge, A., 2013. Current state of the Geology Teaching, particularly the crystallography, mineralogy and petrology contents. Seminarios de la Sociedad Española de Mineralogía, 10: 22-35.
- Calonge, A., López, M.D., Meléndez, G., Fermeli, G., 2012. Geoschools, el reto de mejorar la enseñanza de la Geología en la educación secundaria europea. En: Actas del XVII Simposio sobre Enseñanza de la Geología (A.M. Sarmiento, M. Cantano, G.R. Almodóvar, Eds.). Universidad de Huelva, Huelva, 48-53.
- Calonge García, A., Brusi Belmonte, D., Juan Pons, X., 2018. Current state of Geology Teaching in Spain. En: Earth Science Education: global perspectives (R. Greco, L. Almberg, Eds.). Pousa Alege, Brasil, 291-306.
- Calonge García, A., Molina, E., Alfaro, P., 2022. Training and Dissemination About the Environment: Key to Impulse the Abiotic Component of Environmental Education. En: Enhancing Environmental Education Through Nature-Based Solutions, (C. Vanconcelos, C.S.C. Calherios, Eds.). Springer Nature, Suiza, 9-24. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-91843-9>
- Capitán Díaz, A., 2002. Breve historia de la educación en España. Alianza Editorial, Madrid, 408 p.
- Coll Salvador, C., Martín Ortega, E., 2021. La LOMLOE, una oportunidad para la modernización curricular. Avances en supervisión educativa: Revista de la Asociación de Inspectores de Educación de España, 35: 1-22. <https://doi.org/10.23824/ase.v0i35.731>
- Delgado Iglesias, J., Calonge García, M.A., 2018. Estudio de la presencia de la Geología en currículos oficiales autonómicos de Educación Primaria. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 26(2): 154-162.
- de Puelles Benítez, M., 2011. Política y educación en la España contemporánea. Editorial UNED, Madrid, 325 p.
- Díaz Alcaraz, F., Moratalla Isasi, S., 2008. La segunda enseñanza hasta la dictadura de Primo de Rivera. Ensayos: Revista de la Facultad de Educación de Albacete, 23: 255-282.
- Domingo i Morató, M.D., Sequeiros, L., 1998. Extinción de la Geología en España: Alerta Roja. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 6(3): 206-210.
- Fernández Uría, E., 1979. Estructura y didáctica de las ciencias. Servicio de Publicaciones del Ministerio de Educación, Madrid, 378 p.
- García Cruz, C.M., 1998. Historia y epistemología de las ciencias. De los obstáculos epistemológicos a los conceptos estructurantes: una aproximación a la enseñanza-aprendizaje de la geología. Enseñanza de las Ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas, 16(2): 323-330. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4135>
- García Yelo, B.A., García Buitrago, E., García García, E., 2022. El estado de la Geología en el currículo. Una situación preocupante. Supervisión 21, 65(65). <https://doi.org/10.52149/Sp21/65.3>
- Garrido Palacios, M., 2005. Historia de la educación en España (1857-1975). Una visión hasta lo local. Contraluz: Revista de la Asociación Cultural Arturo Cerdá y Rico, 2: 89-146.
- Giordan, A., 2011. La historia de la biología y la geología y la enseñanza de las ciencias. En: Biología y geología: complementos de formación disciplinar, Nº2 Vol.1, (P. Cañal de León, Ed.). Graó, Barcelona, 31-52.
- Giner-Baixauli, A., Corbí Sevilla, H., Mayoral García-Berlanga, O., 2022. Análisis curricular de la Geología. De LOMCE a LOMLOE. XXI Simposio sobre Enseñanza de la Geología, Libro de Actas, 1 (L.M. Nieto, M.I. Abad, J. Ramírez, Eds.). Guadix, Granada, 86-90.
- Lillo Beviá, J., Redonet Álvarez, L.F., 1985. Didáctica de las ciencias naturales I. ECIR, Valencia, 400 p.
- Martínez Peña, M.B., Gil Quílez, M. J., 2007. Biología y geología en la educación secundaria de países europeos. Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales, 53: 38-46.
- Meléndez, G., Fermeli, G., Koutsouveli, A., 2007. Analyzing geology textbooks for secondary school curricula in Greece and Spain: Educational use of geological heritage. Δελτίον της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, 40(4):1819-1832. <https://doi.org/10.12681/bgsg.17143>
- Ministerio de Educación., 2009. Informe del sistema educativo español 2009. Catálogo de publicaciones del Ministerio de Educación, Madrid, 426 p.
- Muntañola Buxaderas, V., 2012. La docencia de las Ciencias Naturales en la enseñanza secundaria. I Congreso International de Innovación Docente Universitaria en Historia Natural, Libro de Actas (J.F. Beltrán, M. Conradi, J.J. Gutiérrez, M. Rodríguez, Eds.). Universidad de Sevilla, Sevilla, 420-432.
- Pedrinaci, E., 1996. Sobre la persistencia o no de las ideas del alumnado en geología. Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales, 7: 27-36.
- Pedrinaci, E., 2006. Geología en la ESO: otra oportunidad perdida. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 14(3): 194-201.

- Pedrinaci, E., 2012. Alfabetización en Ciencias de la Tierra, una propuesta necesaria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 20(2): 133-140.
- Pedrinaci, E., 2013. Fundamentos conceptuales y didácticos: Alfabetización en ciencias de la Tierra y competencia científica. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 21(2): 208-214.
- Pedrinaci, E., 2014. La geología en la educación secundaria: situación actual y perspectivas. *Macla: Revista de la Sociedad Española de Mineralogía*, 14: 32-37.
- Pedrinaci, E., 2016. Qué debe saber todo ciudadano acerca del planeta en que habita. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, 83: 7-12.
- Pedrinaci, E., Domingo, M., 2000. The Earth System Science Approach in Spain: A need in pre-college curricula and some examples of its application at university level. En: *Third International Geoscience Education Conference: Dedicated to Teaching and Learning* (I.F. Clark, Ed.). Universidad de Nueva Gales del Sur, Australia, 104-107.
- Pedrinaci, E., Alcalde, S., Alfaro García, P., Ruiz de Almodóvar Sel, G., Barrera, J. L., Belmonte, A., Brusi, D., Calonge, A., Cardona, V., Crespo Blanc, A., Feixas, J. C., Fernández Martínez, E. M., González Díez, A., Jiménez Millán, J., López Ruiz, J., Mata Perelló, J. M., Pascual, J. A., Quintanilla, L., Rábano, I., Rebollo, L., Rodrigo, A., Roquero, E., 2013. Alfabetización en Ciencias de la Tierra. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 21(2): 117-129.
- Pozo, J.I., 2000. ¿Por qué los alumnos no aprenden la ciencia que les enseñamos? El caso de las ciencias de la Tierra. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 8(1): 13-19.
- Ramón-Sala, L., Brusi, D., 2016. Los restos de enseñar Geología en Secundaria. En: *Actas del XIX Simposio sobre Enseñanza de la Geología* (F. Climent Costa y C. Rubio Segura, Coords.). Instituto Cartográfico de Cataluña, Barcelona, 2013-220.
- Real Apolo, C., 2012. La configuración del sistema educativo español en el siglo XIX: Legislación educativa y pensamiento político. *Campo Abierto: Revista de educación*, 31(1): 69-94.
- Ripollés Balaguer, M.D.C., Pardo Fabregat, F., Jordán Vidal, M.M., 2016. Evolución de las Ciencias Naturales y su didáctica desde el Informe Quintana hasta la LOMCE. Universidad Miguel Hernández, Elche, 211 p.
- Romero Lacal, J.L., 2011. La educación en España: análisis, evolución y propuestas de mejora. *Revista Digital: Innovación y Experiencias Educativas*, 24: 1-15.
- Ruiz Berrio, J., 2008. El Plan Pidal de 1845: Los institutos públicos, dinamizadores de las capitales de provincia. *Participación educativa*, 7: 28-38.
- Santos Vega, J.D., 2013. Educación primaria y escolarización en la Constitución española de 1812. *Qurriculum: Revista de Teoría, Investigación y Práctica Educativa*, 26: 89-98.

MANUSCRITO RECIBIDO: 25-04-2024

REVISIÓN RECIBIDA: 26-10-2024

ACEPTACIÓN DEL MANUSCRITO REVISADO: 16-11-2024



## PEDRO SALTERAIN Y LEGARRA (1834-1893): MINERÍA Y GEOLOGÍA EN LA CUBA COLONIAL

*Pedro Salterain y Legarra (1834-1893): mining and geology in colonial Cuba*

Isabel Rábano

*Instituto Geológico y Minero de España, CSIC, Ríos Rosas 23, 28003 Madrid. [i.rabano@igme.es](mailto:i.rabano@igme.es)*

**Resumen:** La independencia de casi todos los territorios españoles de Ultramar a comienzos del siglo XIX, con la consecuente pérdida de ingresos para las arcas de Hacienda, motivó que desde la metrópoli se prestara una nueva atención hacia la minería peninsular y a la del resto de las colonias ultramarinas. En 1837 se instalaron inspecciones de minas en Cuba, Filipinas y Puerto Rico para colaborar con los gobiernos locales, que debían supervisar las minas en funcionamiento, y fomentar y regular las denuncias de nuevas pertenencias. Sin embargo, desde la metrópoli no se emprendió nunca una política apropiada de inversiones en recursos humanos, siendo las inspecciones siempre deficitarias en personal para la adecuada atención del servicio. Con objeto de contribuir a la historiografía de la geología y minería en las colonias ultramarinas, se presenta la biografía de Pedro Salterain y Legarra, uno de los ingenieros de minas que sirvieron en la inspección de Cuba, a la que fue destinado en 1862 y en la que permaneció hasta su fallecimiento en 1893. Además de su labor continuada en relación con las tareas asignadas a los ingenieros de minas, Salterain abordó investigaciones geológicas pioneras que le llevaron a completar, en colaboración con Manuel Fernández de Castro, el primer mapa geológico de Cuba.

**Palabras clave:** minería, geología, Ultramar, Cuba, siglo XIX.

**Abstract:** The emancipation of nearly all overseas territories at the beginning of the 19th century, along with the consequent loss of revenue for the Treasury, prompted renewed attention from the metropolis toward mining in mainland Spain and the remaining overseas colonies. In 1837, mining inspections were established in Cuba, the Philippines, and Puerto Rico to collaborate with local governments, which were responsible for overseeing active mines as well as promoting and regulating claims on new mining properties. However, the metropolis never implemented an appropriate investment policy in human resources, leaving these inspections consistently understaffed and unable to fully meet service demands. To contribute to the historiography of geology and mining in the overseas colonies, this work presents the biography of Pedro Salterain y Legarra, one of the mining engineers who served in the Cuban inspection. Appointed in 1862, he remained in the post until his death in 1893. Alongside his continuous work on tasks assigned to mining engineers, Salterain conducted pioneering geological research, which led him to complete, in collaboration with Manuel Fernández de Castro, the first geological map of Cuba.

**Keywords:** mining, geology, overseas territories, Cuba, 19<sup>th</sup> century.

Rábano, I., 2024. Pedro Salterain y Legarra (1834-1893): minería y geología en la Cuba colonial. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 37(2): 14-30.



## Introducción

El papel jugado por la inspección de minas del Gobierno de la isla de Cuba y por sus protagonistas durante el siglo XIX no ha suscitado mucho interés hasta el momento. Ello a pesar de haberse realizado interesantes contribuciones a la historiografía de la minería cubana cuando la isla era colonia española, como las de Calvache (1944, 1968), González Loscertales y Roldán de Montaud (1980), Soto González (1981), Moyano Bazzani y Fernández Alonso (1998) y Roldán de Montaud (2008). Tras la independencia del Virreinato de Nueva España (actual México) en 1821 y la pérdida de sus beneficiosos ingresos para las arcas de la monarquía española, el gobierno de la metrópoli sentó las bases para una reforma legislativa de la minería peninsular que dejase atrás la restrictiva política minera estatal del Antiguo Régimen y animase a la explotación intensiva de las riquezas mineras del subsuelo nacional. Para ello se creó en 1825 una Dirección General de Minas, nombrando responsable a Fausto Elhuyar, el que fuera supervisor de la industria minera en el Virreinato de Nueva España. También se promulgó una nueva ley para la península, la primera legislación minera moderna del país.

En relación con el resto de los territorios coloniales, la revolución liberal de comienzos del siglo XIX imprimió un notable cambio al modelo absolutista de su gobernanza, aboliendo, en primer lugar, el Consejo de Indias en 1834, que fue sustituido durante dos años por un Consejo Real de España e Indias, un órgano puramente consultivo. Este Consejo fue eliminado con el nacimiento de una nueva estructura ministerial en septiembre de 1836: la Secretaría del Despacho de Marina, Comercio y Gobernación de Ultramar, independiente del Ministerio de Gobernación, comenzando así la modernización de la administración colonial. Desaparecieron las diputaciones provinciales y los ayuntamientos constitucionales, y se creó la figura del Capitán General. Además, la Constitución de 1837, en su artículo adicional segundo, otorgó a las colonias la capacidad de regularse por leyes especiales, reconociendo así que debían ser tratadas de forma distinta, hecho que ocurrió especialmente en Cuba y Puerto Rico. Se trató de un modelo similar al aplicado por Francia y otros países coloniales y que tenía como fin evitar la pérdida de los últimos reductos españoles en Ultramar (Fradera, 2005, 2015). A partir de 1850, el control y el poder de la metrópoli aumentaron sobre estos territorios con la creación de la Dirección de Ultramar en 1851, dependiente de la presidencia del Consejo de Ministros y, más tarde, del Ministerio de Ultramar en 1863. Este ministerio pasó a atender los asuntos relativos a gobernanza, fomento (entre otros, la minería), justicia y hacienda de las colonias. Pero no fue hasta noviembre de 1897 cuando Cuba y Puerto Rico consiguieron el estatuto de autonomía (no así las islas Filipinas), dotándolas de un parlamento bicameral y de un gobierno propio. Se trató de un esfuerzo desesperado del gobierno de Sagasta por mantener la soberanía española de ambas colonias antillanas, que se reveló inútil tras la pérdida del imperio ultramarino en 1898 (Alonso Romero, 2002, 2004-2005).

Desde el punto de vista de la política económica, tras la

emancipación de los últimos territorios novohispanos a comienzos del siglo XIX, la monarquía española priorizó en las restantes colonias (Cuba, Puerto Rico, islas Filipinas) el fomento de otras áreas productivas diferentes a la minería, en especial la agricultura (azúcar, tabaco, maderas nobles). Sin embargo, la industria minera en Cuba, en especial la del cobre, renació en la década de 1830-1840, localizada en su mayor parte en la región oriental del país y promovida por inversionistas británicos y norteamericanos. En estos países la revolución industrial estaba presionando fuertemente sobre el abastecimiento de materias primas minerales. Hay que tener en cuenta que, entre la primera denuncia "moderna" de una mina de cobre en 1827 en la provincia de Puerto Príncipe (actual Camagüey), cuando la producción de este metal en la isla era casi inexistente, y finales de la década de 1830 y comienzos de la de 1840, la sexta parte del cobre fundido en Inglaterra procedía de minas cubanas. En este periodo se produjo una avalancha de denuncias favorecida por la regulación peninsular, que autorizaba a los extranjeros a registrar y denunciar minas (Eizaguirre, 1841; Le Riverend, 1974; González Loscertales y Roldán de Montaud, 1980). Todo ello sirvió para que desde la metrópoli tratasen nuevamente con interés los aspectos mineros en las colonias, creando las inspecciones de minas, nuevas figuras administrativas en Ultramar que apoyasen a los gobiernos coloniales. En este contexto se plantea el presente artículo, cuyo objetivo es aportar nuevos datos a la historiografía de las inspecciones de minas ultramarinas durante el siglo XIX.

En trabajos previos se ha abordado i) la historia de la inspección de minas de las islas Filipinas (Rábano, 2020); ii) el periodo en el que Manuel Fernández de Castro estuvo al frente de la de Cuba, entre 1859 y 1869; iii) el informe geológico de 1861 sobre una parte de la isla de Santo Domingo (Rábano, 2016, 2022; Rábano y Escuder-Viruete, 2022). En esta ocasión se realiza una aproximación biográfica a la vida y obra de otro de los ingenieros de minas de la inspección cubana, Pedro Salterain y Legarra. Su figura ha sido tratada de forma muy secundaria en los estudios históricos sobre la geología y la minería de la Cuba colonial (Trelles, 1918; Álvarez Conde, 1957), así como en su breve necrológica publicada en la *Revista Minera* (44, [1893]: 73). Pero lo cierto es que, durante sus treinta años de estancia continuada en este territorio antillano, Salterain realizó una notable contribución a las investigaciones geológicas y mineras de la isla, y fue coautor, con Manuel Fernández de Castro, del primer mapa geológico de Cuba.

Desde el punto de vista metodológico, se han consultado diversas fuentes de información: 1) documentos conservados en la Sección de Ultramar del Archivo Histórico Nacional (AHN) de Madrid; 2) informaciones publicadas en el *Diario de la Marina*, el periódico oficial del apostadero de La Habana; 3) la *Guía de Forasteros de la siempre fiel Isla de Cuba* y la *Revista Minera*; así como 4) textos de Salterain, tanto publicados como inéditos. Ello posibilitará oír su voz, reproduciendo sus palabras de fuentes no impresas en muchas ocasiones, para conocer de primera mano sus opiniones y reflexiones sobre algunos aspectos de su labor en la inspección.

## La inspección de minas de Cuba

Ante las noticias que llegaron a la metrópoli en la década de 1830 desde las últimas colonias de Ultramar de nuevas denuncias de minas de carbón, oro y cobre por parte de empresarios particulares, el Ministerio de Fomento y la Dirección General de Minas promovieron la instalación de inspecciones de minas en Cuba, Puerto Rico y en las islas Filipinas para auxiliar a los gobiernos ultramarinos (AHN, Ultramar, leg. 437, exp. 10; Rábano, 2020).

Por una Real Orden de 14 de julio de 1837 nombraron a Joaquín Eizaguirre Bailly inspector de minas de las islas de Cuba y Puerto Rico, de la que fue único ingeniero hasta la llegada en 1846 a Cuba de Policarpo Cía y Francés y de Juan Diego López Quintana. Manuel Fernández de Castro fue el siguiente en incorporarse en 1859, y con quien coincidió Pedro Salterain cuando fue destinado a la inspección de minas de Cuba en 1862. Hasta el abandono de la colonia en 1898, fueron pocas más las personas que se ocuparon del servicio minero en esta isla (Tabla 1). A pesar de las reiteradas demandas de más personal facultativo desde todas las inspecciones de minas ultramarinas, estuvieron siempre muy infradotadas. Cuba no fue una excepción.

La misión de los ingenieros era atender a lo dispuesto por las sucesivas leyes de minas peninsulares promulgadas

en 1825, 1849 y 1859. También por lo prescrito por la regulación de 1863 sobre el régimen de la minería en Cuba y su reglamento de 1864. Se referían especialmente a su participación en los expedientes que debía instruir el Gobierno colonial para examinar y autorizar las nuevas concesiones mineras. Ello implicaba los trabajos de reconocimiento y demarcación de las pertenencias y el levantamiento de su plano topográfico. También la vigilancia de minas en activo, ya que estas últimas debían ser visitadas al menos una vez al año (Fig. 1). Además, tenían que suministrar los datos para contribuir a la estadística minera nacional. A pesar de que esto último era de obligado cumplimiento para los distritos mineros peninsulares desde que comenzó su publicación en 1861, para los ultramarinos su aplicación resultó un tanto laxa. Desde Cuba enviaron la información correspondiente a las anualidades comprendidas entre 1884 y 1887, y desde Filipinas la reunida entre 1889 y 1896, según se desprende de la *Estadística Minera de España*, publicada por la Junta Superior Facultativa de Minería (la colección completa está disponible en acceso abierto en <https://www.igme.es/biblioteca-digital/>). Sin embargo, y de acuerdo con lo dispuesto por la Real Orden de 7 de octubre de 1879, remitieron a la Dirección General de Administración y Fomento del Ministerio de Ultramar los partes y resúmenes trimestrales de los trabajos ejecutados por la inspección durante las décadas de 1880 y 1890 (AHN, Ultramar, leg. 227, exp. 5; AHN, Ultramar, leg. 106, exps. 38, 39).

## Pedro Salterain: apuntes biográficos

Pedro José Gregorio Salterain y Legarra (Fig. 2) nació a las once de la noche del 11 de marzo de 1834 en Irún (Guipúzcoa) (AHN, Ultramar, leg. 228, exp. 9). Era hijo de Plácido Salterain Bengoa (n. 1790), natural de Salinas de Léniz (Leintz-Gatzaga), y de la tolosana María Micaela Legarra Juanagorria (n. 1792). Fue el último de nueve hermanos, seis mujeres y tres varones. Se desconoce cómo transcurrió su vida hasta 1854, cuando ingresó en la Escuela de Minas, con 20 años de edad. El centro pasaba por dificultades debido a la escasez de alumnos. Con el fin de promover el ingreso de nuevos estudiantes, ese año se modificó la admisión, pasando de bienal a anual, lo que, junto con los estudios previos requeridos en una exigente escuela preparatoria, había producido que muchos de los estudiantes eligieran la ingeniería de caminos en lugar de la de minas. Con el fin de remediar la situación, el Ministerio de Fomento dictó una medida extraordinaria para que fuesen admitidos en el curso que se iba iniciar, tanto los alumnos de la escuela preparatoria como personas menores de 25 años que, antes de finales de noviembre, hubiesen aprobado una serie de asignaturas (matemáticas, historia natural, dibujo e idiomas) (Maffei, 1877).

Pedro Salterain, que sí había pasado por la escuela preparatoria (Admisión, 1854), formó parte de un grupo de ocho jóvenes aspirantes, entre los que se encontraban José Luis Arrué, Luis Barinaga, Gervasio Irisarri, Justo Egozcue y Cía, Félix Sánchez Blanco, Francisco Madrid Dávila y Gregorio Esteban de la Reguera. Este último llegó a ser

Personal de la inspección de minas	Período de servicio en Cuba
Joaquín Eizaguirre Bailly	1837 – 1853
Policarpo Cía y Francés	1847 – 1850
Juan Diego López Quintana	1846 – 1860/1863 – 1869
Manuel Fernández de Castro y Suero	1859 – 1869
Pedro Salterain y Legarra	1862 – 1893
Gabriel Usera y Jiménez	1882 – 1889
Juan Aguilera y Kindelán	1886 – 1894
Vicente Kindelán y de la Torre <sup>(1)</sup>	1890 – 1898
Enrique Cantalapiedra y Crespo	1893 – 1898
José Fernández de Castro	1857 – 1873
Magín Joaquín Rivas Palau <sup>(2)</sup>	1865 – 1869
Mariano Ruiz Merino	1875 – 1880
Valentín Pellitero Ribet <sup>(3)</sup>	1880 – 1887
Juan Barrenechea Velar	1880 – 1883
Joaquín María Egozcue y Cía	1883 – 1893
Eugenio Malo de Molina <sup>(4)</sup>	1891 – 1898

**Tabla 1.-** Ingenieros y auxiliares de minas destinados en la inspección de minas de Cuba entre su creación (1837) y su supresión (1898). Elaboración propia a partir de los expedientes personales conservados en el Archivo Histórico Nacional y de los escalafones de los cuerpos de Ingenieros y Auxiliares Facultativos de Minas. <sup>(1)</sup> Como no había obtenido un puesto en el Cuerpo de Minas por no haber vacantes en la plantilla, en 1886, y a petición propia, fue destinado a Cuba ocupando una plaza de auxiliar. A partir de 1890 desempeñó una plaza de ingeniero. <sup>(2)</sup> En 1869 pasó al Negociado de Obras Públicas de la Secretaría del Gobierno de la isla, donde permaneció hasta 1876. <sup>(3)</sup> Se incorporó en 1876 a la inspección de minas de Puerto Rico. <sup>(4)</sup> Entre 1877 y 1880 estuvo destinado en la inspección de minas de las islas Filipinas (Rábano, 2020, tabla 1).



Nºm. 1º

*Relación de las demarcaciones de registros practicadas, desde el 1.º de Enero de 1866 hasta la fecha, en el Distrito Oriental de la Isla de Cuba.*

Cada pertenencia cuenta de 60.000 metros cuadrados

Nº de orden	Nombre de la concesión	Nº de pertenencia	Clase de mineral	Lugar de radicación	Interventor	Fecha de la demarcación
						año      mes      día
1	Nicaragua	1	cobre	El Cobre	Empresario Soc.	1866 Junio 14º 11
2	Grenfell Co.	1	id	id	El Caudabalo	1866 Julio 20
3	Luzrie	1	id	id	El - id	1867 Agosto 2
4	San Esteban	1	oro	Holguín	9.º Intend. Sudam.	1867 Mayo 15
5	Dolores	1	cobre	Nicaragua	9.º Intend. Sudam.	1867 Junio 27º 15
6	Desideria	1	id	Carney	El Sombrillal	1867 Sept 10º 11

(a) Se abandonó el 2 de Mayo de 1859 - Cuba 7 de Agosto de 1869.  
Miguel Salterain

*El exp. Salterain*

Fig. 1.- Relación de las demarcaciones de registros practicadas en el distrito oriental de la isla de Cuba entre enero de 1866 y agosto de 1869 (Salterain, 1869). AHN, Ultramar, leg. 227, exp. 11, n.º 30.

director de la Comisión del Mapa Geológico en 1900. En junio de 1858, tras cursar el quinto y último curso de los estudios superiores, Salterain fue propuesto para ocupar una plaza de ingeniero segundo del Cuerpo de Minas. Por Real Orden de 13 de julio de 1858 de la Dirección General de Agricultura, Industria y Comercio del Ministerio de Fomento, Salterain se incorporó a su primer empleo en el establecimiento minero de Riotinto, dirigido por aquel entonces por Ramón Rúa Figueroa. Por otra Real Orden de 6 de noviembre de 1860 fue destinado a las minas de Almadén, donde el 14 de mayo de 1861 ascendió en el escalafón de su cuerpo profesional a ingeniero primero. En este establecimiento coincidió con Antonio Hernández Espíera, su director entre 1859 y 1861, quien había servido en la inspección de minas de las islas Filipinas entre 1849 y 1859. El anuncio que la dirección general antes citada publicó el 19 de mayo de 1860 sobre la necesidad de cubrir dos plazas de ingenieros de minas en la isla de Cuba, quizás sirvió de motivación a Salterain, animado por Hernández y su experiencia ultramarina, para presentarse voluntario a una de ellas. Este punto es especulativo al no disponer de fuentes primarias que lo confirmen, pero el hecho es que otra orden del 22 de febrero de 1862 dispuso el traslado de Salterain a la inspección de minas de Cuba. Su categoría en el escalafón del cuerpo fue la de ingeniero jefe de 2<sup>a</sup> clase, con un sueldo de 2700 reales anuales a los que se sumaban 500 más por compensación de gastos de viaje.

Quizás otra de las motivaciones para elegir este nuevo destino fuese el incremento en el sueldo que, desde 1858, disfrutaban los ingenieros de minas que pasaban a servir en Ultramar. Ante las dificultades para encontrar personas

dispuestas a permanecer al menos seis años en tan lejanos lugares (una Real Orden de 14 de marzo de 1854 reguló los períodos de estancia de los ingenieros de minas en Ultramar), se triplicó el sueldo con respecto a los de la península (AHN, Ultramar, leg. 437, exp. 9). El 25 de julio de 1862 embarcó con destino a La Habana y el 21 de agosto tomó posesión ante el gobernador y capitán general de la isla. Era un joven ingeniero de 28 años, que se incorporó como jefe del distrito occidental al equipo formado por Manuel Fernández de Castro y Diego López Quintana. El primero ostentaba la jefatura de la inspección general del ramo en Cuba, y el segundo la jefatura del distrito oriental. Como único auxiliar facultativo contaban con José Fernández de Castro. Desde el punto de vista de la organización administrativa de la minería, la isla estuvo dividida en dos distritos, uno oriental, que comprendía las provincias de Santiago de Cuba y Puerto Príncipe, las de mayor interés minero; y otro occidental con las provincias de La Habana, Santa Clara, Matanzas y Pinar del Río. La jefatura de la inspección radicaba en la ciudad de La Habana.

Cuando Salterain llegó a La Habana, las oficinas de la inspección estaban ubicadas en la calle Dragones n.º 44; años más tarde se trasladaron a la calle Paula n.º 76 (actual Leonor Pérez) (Fig. 3). El distrito oriental, el de más interés minero, tenía su sede en ese momento en Puerto Príncipe. El inspector jefe del ramo era Manuel Fernández de Castro, que ejerció este cometido entre 1859 y 1869 (Rábano, 2022). Este último año el Ministerio de Ultramar suprimió plazas en las inspecciones de las colonias debido a ajustes presupuestarios. La de Cuba se vio mermada en dos plazas, la de Fernández de Castro y la de López Quintana, de forma que Salterain se quedó como único ingeniero de la inspección, circunstancia que se alargó hasta 1882, cuando se incorporó Gabriel Usera. Salterain sufrió varios percances administrativos más, como fue la supresión de la inspección en 1876, en el contexto de un informe emitido por el comisario regio Tomás Rodríguez Rubí (Reformas, 1876). Había sido enviado a Cuba para poner orden en el fraude y en las dificultades financieras de la isla. En ese momento Cuba estaba inmersa en una de las importantes guerras de independencia de España que tuvieron lugar durante el siglo XIX, la denominada de los Diez Años (1868-1878), de la que la isla salió muy empobrecida (Roldán de Montaud, 2003, 2017). Afortunadamente para la inspección, las intenciones del Ministerio de Ultramar en relación con el informe de Rodríguez Rubí eran otras, y ya tenía previstos en sus presupuestos para 1876/1877 aumentar el número de ingenieros que debían servir en Cuba para atender al incremento que estaba experimentando la minería (Minuta de 27 de noviembre de 1875 del Negociado de Minas del Ministerio de Ultramar al Capitán General de Cuba: AHN, Ultramar, leg. 268, exp. 9, n.º 14). Sin embargo, la realidad fue otra, y no fue hasta 1882 cuando se incorporó el mencionado ingeniero Gabriel Usera.

Como resultado de las reformas que tuvieron lugar en 1876, y la supresión de la inspección de minas, el servicio minero se integró, con los de ferrocarriles y montes, en una Junta Consultiva de Obras Públicas. Esto supuso la rebaja a ingeniero primero la categoría del facultativo que

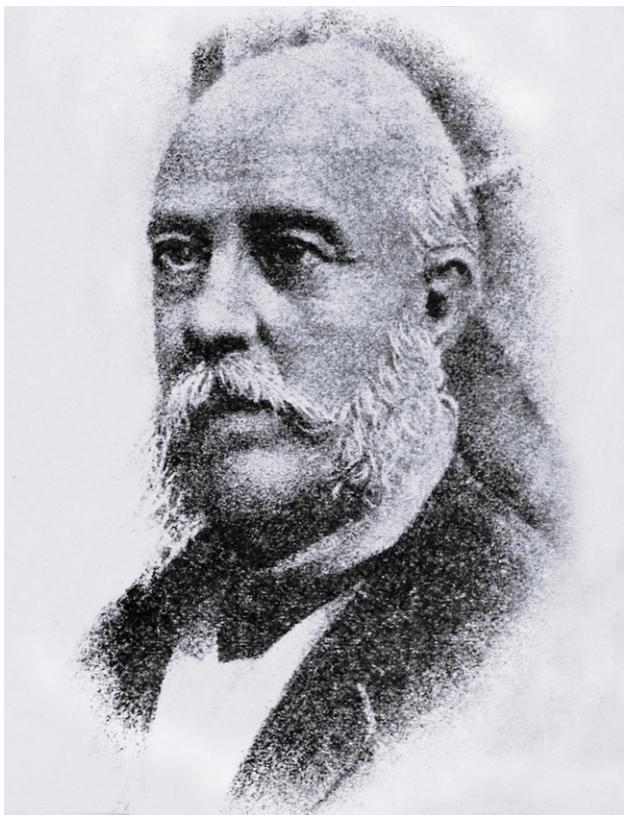


Fig. 2.- Pedro Salterain y Legarra. Fotografía publicada en Trelles (1918). Reproducida bajo licencia de Alamy.

debía atender el servicio, que era menor que la que ostentaba Salterain en ese momento. Ante ello, él debía retornar a la península desde donde se enviaría otro ingeniero de esta categoría. Para que el servicio no se viese afectado, solicitaron a Salterain que ocupase de forma transitoria ese puesto de menor categoría, a pesar del perjuicio que le oca- sionaría la rebaja del sueldo (Tabla 1). Aceptó con carácter transitorio e interino, aunque la situación no se regularizó hasta 1880, cuando fue ascendido a ingeniero jefe de primera clase (AHN, Ultramar, leg. 228, exp. 9).

Pocos años después de su llegada a Cuba, en 1867, Salterain contrae matrimonio con Rosalía Mendizábal y Lorenzo, hija de peninsulares emigrados a Cuba. Salterain fue miembro de asociaciones científicas y civiles, como la Real Academia de Ciencias Médicas, Físicas y Naturales de La Habana, de la que fue académico de número entre 1884 y 1893, o la Asociación Vasco-Navarra de Beneficencia de La Habana, fundada en 1877, en la que participó activamente y a la que también perteneció su mujer (Irigoyen Artetxe, 2014). También perteneció a diferentes instituciones cubanas en su calidad de jefe de la inspección de minas, como la Junta Provincial de Agricultura, Industria y Comercio o la Comisión Permanente de Pesos y Medidas.

En cuanto a su progreso en el escalafón del cuerpo de ingenieros de minas, Pedro Salterain fue ascendiendo hasta alcanzar la categoría de ingeniero jefe de primera clase con la consideración de inspector general de segunda clase (AHN, Ultramar, leg. 228, exp. 9), grado que ostentaba cuando falleció en La Habana el 20 de febrero de 1893, recién cumplidos los 59 años y estando aún en activo. A

través de su esquela se conoce que no tuvo hijos, que su último domicilio fue en la calle Habana n.º 200, y que fue enterrado en el cementerio de Colón de esta ciudad (*Diario de La Marina*, 21/02/1893). Durante los treinta años de su estancia en Cuba, Salterain retornó a la península únicamente dos veces, en 1873 y 1890, para seguir tratamientos médicos que paliase sus “gastralgias rebeldes” (AHN, Ultramar, leg. 228, exp. 9). No sería de extrañar que hubiera padecido de fiebre amarilla, tan frecuente en Cuba a lo largo del siglo XIX y que afectó a todas las esferas de la vida social (Orihuela León, 2020).

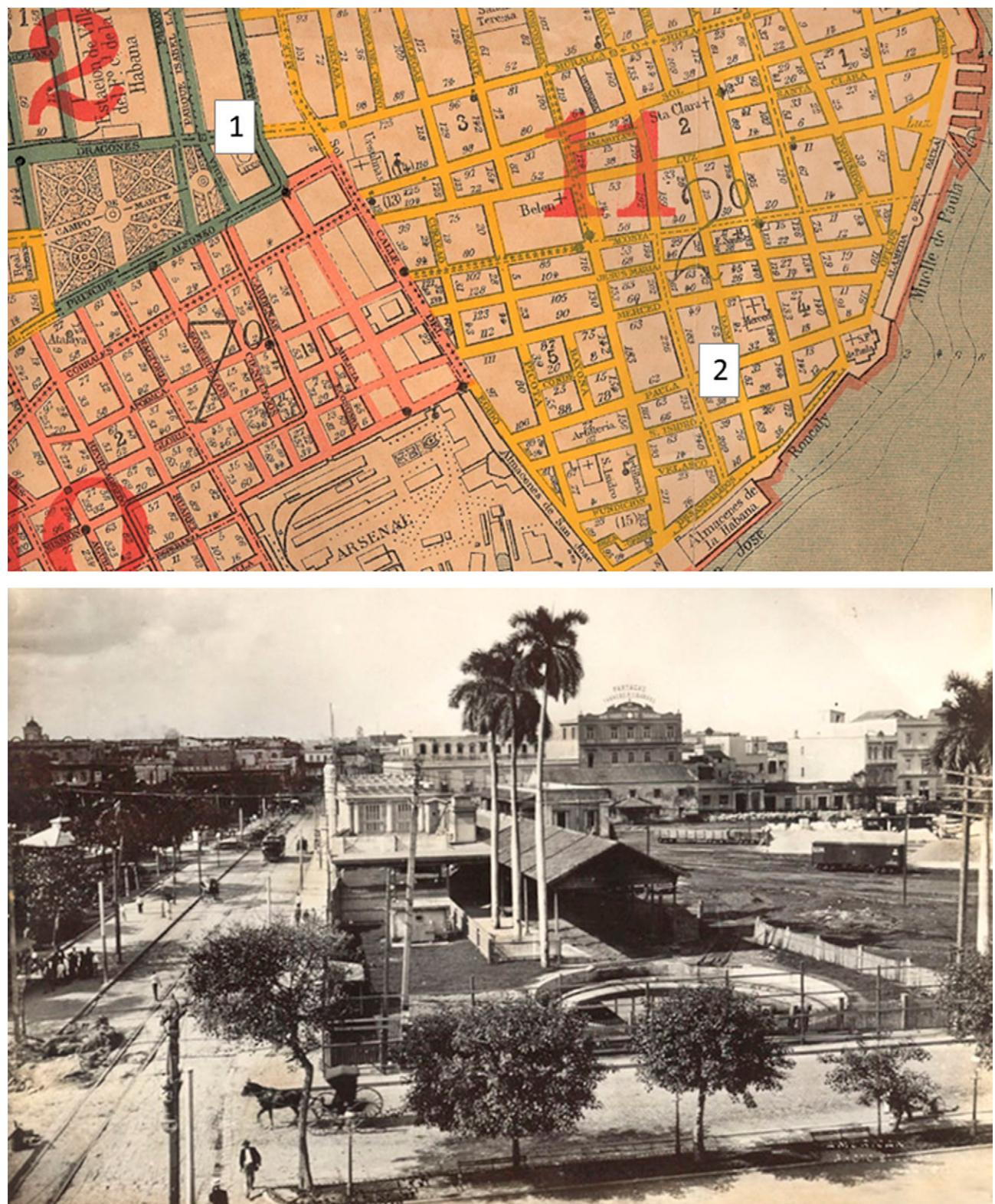
### Pedro Salterain: su labor en la inspección de minas

Nada más llegar a Cuba, Salterain participó en una comisión nombrada por el Capitán General y Gobernador de la isla para inspeccionar las obras del Canal de Isabel II, que debía conducir el agua desde los manantiales de Vento a La Habana y cuyos trabajos habían comenzado en 1858 (Fernández de Castro *et al.*, 1864). También fue testigo de la aprobación, el 13 de octubre de 1863, del Real Decreto sobre el régimen de la minería de la isla de Cuba, que se había formulado “sobre el modelo de la ley de 6 de febrero de 1859 [de la península], aunque con las modificaciones y necesidades especiales de dicho ramo en la expresada isla y el régimen también especial de su administración”, como rezaba el preámbulo de la nueva norma, propuesta por el recién creado Ministerio de Ultramar. Cuba y Puerto Rico se regulaban hasta esos momentos por la ley de minas de 1825, y cuando ésta no alcanzaba, se atenían a las ordenanzas de minas de Nueva España de 1783. En 1842 se había nombrado una comisión para que redactase una nueva ley minera para estos territorios ultramarinos, cuyos trabajos finalizaron en 1851, habiendo participado en ella Policarpo Cía, en calidad de inspector de la provincia de Puerto Príncipe. Los resultados de esta comisión no fueron tenidos en cuenta. En 1859 fue nombrada una nueva comisión con los mismos objetivos, teniendo más éxito que la anterior, pues promovió la publicación de la ley de 1863. Una norma que fue un tanto discutida desde la inspección insular por ser, en opinión de los facultativos destinados en aquella isla, “con escasas variantes, la misma que la de la península” y por haber sido redactada sin consultar a “los hombres competentes, que no tuvieron parte en las deliberaciones que precedieron a la promulgación de la ley” (*Revista Minera*, 15 [1864]: 592-604). Esta afirmación resulta un tanto sorprendente, pues en dicha comisión sí que participó Diego López Quintana, destinado en la inspección antillana desde 1846 (Tabla 1), como él mismo reveló en un artículo en *Revista Minera*, que reproducía uno publicado en el cubano *Diario de La Marina*. En él su autor reconoció y celebró las ventajas propuestas por la comisión. Entre otras, la facilidad para que “todo el mundo pueda adquirir minas en el territorio de la isla, sea español o extranjero”, así como la bajada del 5 al 3 % del canon anual de las propiedades y concesiones mineras, con lo que “experimentarán grande alivio los que están interesados en esta decaída industria” (López Quintana, 1861). En el *Diario de la Marina* era frecuente encontrar también información sobre trabajos realizados por la inspección, como fue el caso,

por ejemplo, del estudio de los suelos de un potrero en la provincia de Matanzas (Salterain, 1865).

Una vez que en 1869 Salterain fue el responsable único del servicio minero, situación que se mantuvo hasta 1888

(Tabla 1), remitió a la metrópoli varios informes sobre el estado de la minería en la isla de Cuba. Algunos de ellos tenían como objetivo principal justificar la solicitud de nuevo personal facultativo para la inspección (Salterain, 1869, 1873,



**Fig. 3.-** Arriba, diferentes emplazamientos de las oficinas de la inspección de minas en La Habana sobre el plano de Esteban Pichardo (1881), adaptado en 1900 por la Office of Chief Engineer, Division of Cuba (disponible en: <https://www.ign.es/web/catalogo-cartoteca/resources/html/028333.html>). Primero estuvo en la calle Dragones (1) y más tarde en la calle Paula (2). Abajo, vista de la calle Dragones en 1899-1903. Imagen tomada de Habana por Dentro (<https://habanapordentro.wordpress.com/tag/la-habana/>).

1883a). El de 1869, realizado a petición del Ministerio de Ultramar, fue el primero que se elaboró tras el de Eizaguirre (1841). En él, Salterain justificó el que sus predecesores no lo hubieran hecho “por la imposibilidad de conseguir de las oficinas y autoridades subalternas los antecedentes más fáciles de conocer, como el número de pertenencias concedidas, la clase de mineral objeto de la concesión, o los nombres de los concesionarios o registradores”, algo que intentó sin éxito Diego López Quintana en 1859 para el distrito oriental. En su memoria, Salterain realizó un breve repaso a los antecedentes históricos, con el descubrimiento “del riquísimo criadero de la Villa del Cobre [Villa de Santiago del Prado, conocida después como Villa de Nuestra Señora de la Caridad del Cobre]”, que produjo un “furor minero”. A lo largo de las 52 páginas de su informe, Salterain desgranó la relación de sustancias que se explotaban en la isla: minas de cobre en el distrito oriental, en especial las de Santiago de Cuba (Fig. 4), explotadas desde 1544 e incluso en épocas anteriores, y, en menor medida, de plomo, plata, estaño, manganeso, cromo, lignito y asfalto. En los distritos occidental y central (separado del occidental a consecuencia de una nueva división administrativa) citó minas de oro, cobre y asfalto. Se lamentó del mal estado de las minas de cobre de Santiago de Cuba (explotadas fundamentalmente por las empresas mineras Consolidada y San José), prácticamente abandonadas en esos momentos. Desde 1845 se había producido una caída casi constante de la extracción de cobre en Cuba, con lo que las compañías experimentaron una disminución drástica de sus beneficios. En el quinquenio 1864-1869 continuó esta tendencia: en 1868 la Consolidada y la San José abandonaron algunas de sus pertenencias. A ello hay que añadir el efecto devastador que tuvo sobre la economía cubana una de las guerras de emancipación de España, la conocida como de los Diez Años (1868-1878). Era evidente que esta minería se encontraba ya por aquel entonces en franca decadencia, dándose por concluido en 1870 el denominado ciclo cubano del cobre (Roldán de Montaud, 2008).

En 1873, Salterain remitió a la metrópoli otro informe sobre el estado de la minería en Cuba y la necesidad de aumentar el número de ingenieros y de auxiliares al servicio de la inspección. A pesar de que la isla se encontraba en plena guerra de independencia, “las minas que hoy existen en explotación y los expedientes de registro” eran cada vez más frecuentes, “principalmente sobre mineral de asfalto”. Es por ello que era urgente contar con más efectivos, ya que Salterain se encontraba totalmente solo, “sin tener siquiera un auxiliar a sus órdenes por cuya razón es imposible atender como debería al cumplimiento de todos los trabajos que están encomendados por los reglamentos” (Salterain, 1873). El único auxiliar con que contaba la inspección, José Fernández de Castro, hermano del ingeniero de minas Manuel Fernández de Castro, había fallecido en París a mediados de 1873. En su memoria, Salterain aportó una sucinta descripción del estado de la minería cubana en esos momentos, proporcionando una visión, quizás un tanto optimista, de la situación, pero justificada para argumentar la solicitud de ayuda de la metrópoli:

“[...] hoy se explotan sujetas al pago del canon anual y derechos de explotación, 32 concesiones de cobre y oro y,

además exentas por ahora de estos derechos, 15 de asfalto o chapapote, formando grupos o cotos mineros conocidos con los nombres de Santiago de Cuba, de Mantua y otros. Que la mayor parte de esas minas han sido reconocidas y demarcadas por el expresado ingeniero, sufriendo retraso y ocasionando disgustos por la falta de personal, pues tiene que atender solo a todo, operaciones, visitas y demás que la legislación ordena, viéndose comprobada la aserción de la Junta Superior [Facultativa de Minería] que para poder cumplir con el servicio, no puede haber menos de tres ingenieros y tres auxiliares en tiempo normal, si esta industria ha de estar atendida como se merece.”

Además, influido seguramente por Manuel Fernández de Castro y su reciente nombramiento como director de la Comisión del Mapa Geológico (Rábano, 2022), no dejó de señalar que:

“todo Gobierno previsor e ilustrado que no se deje llevar de economías mal entendidas y que atienda al mayor desarrollo de las industrias del país, procura (como sucede en la Península) que comisiones de ingenieros se dediquen a estudios topográficos y geológicos, y a la formación de sus respectivos mapas, que han recibido en nuestros días aplicaciones industriales, comerciales y militares tan numerosas e importantes, que indican el adelanto social de la nación. Que la Geología es la base y gran utilidad para la agricultura, explicando las analogías hasta cierto punto, entre los diferentes países y el análisis de los terrenos determina los abonos útiles para cada terreno. La geología agrícola es el complemento de la geología científica y sus grandes ventajas han sido reconocidas por todas las naciones; hasta el interesante arte de buscar manantiales subterráneos tan necesarios a la agricultura, y que por sí solo da origen a muchas industrias, consiste en el estudio de las diferentes especies de terreno. Por eso este estudio está planteado en la Península y ayudada la comisión general por los ingenieros de las provincias; pero en Cuba, por la gran extensión del país y la carencia de conocimientos en perjuicio de la agricultura y otras industrias por el escaso personal de que está dotada no se han obtenido hasta ahora los resultados que pueden y deben esperarse, y cuyos estudios son siempre ampliamente compensados por la riqueza y valor industrial de los resultados a que conducen.”

La llegada de Manuel Fernández de Castro en 1873 a la dirección de la Comisión del Mapa Geológico supuso un impulso a las investigaciones geológicas no solo en el territorio peninsular, sino también en las colonias ultramarinas, cuyo fin último debía ser el levantamiento de sus mapas geológicos, como se comentará en el apartado siguiente.

Mientras que los dos informes que se acaban de comentar se conservan como manuscritos en el Archivo Histórico Nacional, Salterain publicó diez años después, en una editorial habanera, un tercer texto sobre la minería cubana (Salterain, 1883a). A través de él se conocen las diferentes sustancias en explotación en esos momentos: i) minas de asfalto y aceites minerales, con importantes depósitos de estos últimos descubiertos recientemente en la provincia de Santa Clara; o el asfalto de la bahía de Cárdenas, muy apreciado “en el mercado de New York”; ii) el cobre, que continuaba con importantes problemas de explotación:

Distrito minero Oriental

*Exportación de mineral de cobre por el puerto de Santiago de Cuba con expresión de sus claves, Empresas explotadoras, destino que ha sido, buques que lo condujeron, puertos para donde se lo ha despachado y fecha que comprende, a saber.*

*desde 1.º de Enero de 1866 a 30 de Junio 1869.*

Derechos de explotación satisfechos. Escudos	años.	Número de su cargamento.	Puerto de su destino:	Toneladas españolas de mineral exportado					Total.
				Piedra.	Granul.	Arena.	Cobre comunitado.	Matas.	
<i>Compañía Consolidada</i>									
17.555, 674.	1866.	14.	Swansea	969,04.	.	.	524,44.	1.23.	522, 6864,18
7.093, 614.	1867.	8	id.	475,60.	.	.	300,18.	148.	183, 3813,78
7.931, 062.	1868.	9	id.	573,56.	.	.	388,88.	191.	599, 2247,44
2.216, 522.	1869 (1º semestre)	3.	id.	114,29.	.	.	962,38.	40.	74, 1191,68
34.766, 897	Totales.	34.	id.	2.122,50	"	1.210,38	502	1.388.	16.117,08.

Fig. 4.- Información económica sobre la exportación de cobre entre enero de 1866 y junio de 1869 de la compañía Consolidada, radicada en el distrito oriental (Salterain, 1869). AHN, Ultramar, leg. 227, exp. 11, n.º 30.

“Consolidada y San José no han sido aún rehabilitadas tras la guerra”, aunque se habían descubierto nuevos criaderos en Caney, muy cerca de Santiago de Cuba; iii) minas de hierro en Santiago de Cuba, con registros comenzados en 1881 “que levantaron el espíritu industrial de esta comarca”; iv) las minas de oro en la provincia de Santa Clara, la más importante, San Blas, en el término municipal de Placetas (antes Guaracabuya), que había sido estudiada por Fernández de Castro (1864) y estaba abandonada desde 1868, por no dar ningún beneficio a causa de una mala dirección; y v) los importantes depósitos de guano explotados en los cayos de la costa meridional de la isla.

En el desarrollo de sus trabajos, Salterain se ocupó también de otros asuntos que precisaron de la colaboración de la inspección con otras instituciones, a semejanza de lo que venían haciendo sus homólogos en la inspección de las islas Filipinas (Rábano, 2020). Fue el caso, por ejemplo, de los terremotos, estudiando el que afectó especialmente a los pueblos de San Cristóbal y Candelaria, en la provincia más occidental de Cuba, Pinar del Rey, en la noche del 22 al 23 de enero de 1880; así como sus réplicas ocurridas en los días posteriores. Los efectos de estos eventos se extendieron a lo largo de la parte occidental de la isla, desde Matanzas y Cienfuegos por la parte oriental, hasta Mantua en la occidental, sintiéndose también en la isla de Pinos (actual isla de la Juventud) y en el norte de Cayo Hueso. Estos trabajos los realizó junto con el jesuita español Benito Viñes, pionero en el estudio de la meteorología tropical y director del Observatorio Magnético y Meteorológico del Real Colegio de Belén desde su llegada a Cuba en 1870.

Ambos realizaron un importante trabajo de campo entre el 27 de enero y el 10 de febrero, tratándose del primer evento sísmico del país estudiado sobre el terreno por especialistas en la materia (AHN, Ultramar, leg. 106, exp. 38, n.º 7; Viñes y Salterain, 1880; Salterain, 1883b; Cotilla, 1999, 2010).

Otro caso documentado fue la participación de Salterain, en julio de 1888, en una comisión científica nombrada por la Junta del Museo Biblioteca de Ultramar, para realizar “exploraciones geológicas y antropológicas en las cuevas de las lomas de Banao, término de Sancti Spiritus, provincia de Santa Clara” (AHN, Ultramar, leg. 227, exp. 5, n.º 3) y recolectar para el Museo materiales de interés. Esta comisión oficial encomendada a Salterain y a Fors (Fig. 5), se formó con motivo del hallazgo en la cueva de la Boca del Purial, situada en el pico Tuerto del Naranjal (Alturas de Banao), en la actual provincia de Sancti Spíritus, de unos restos óseos, excavados el mes anterior por un representante de la Academia de Ciencias de La Habana: Luis Montané y Dardé, médico y fundador de la antropología científica en Cuba. Además de unas piezas dentales, se encontraron también restos de cráneos humanos sobre los que, años más tarde, Florentino Ameghino basó una nueva especie de un presunto homínido criollo, el “*Homo cubensis*”, aunque se revelaron posteriormente como restos de tipo arqueológico (Rivero de la Calle y Puig-Samper Muñero, 1992; Borrego, 2022). Salterain informó en el parte enviado al Ministerio de Ultramar de que había recogido “rocas y fósiles” para analizar, aunque se desconoce la memoria que redactó al respecto (Salterain, s/f).



Fig. 5.- Noticia publicada por *El Espirituano* (03/07/1888) sobre la visita de Pedro Salterain a la cueva de la Boca del Purial. Tomada de Borrego (2022). Se desconoce quien fue Fors, la persona que acompañó al ingeniero de minas en la comisión.

### Los mapas geológicos

Aunque la misión principal de los ingenieros de minas destinados en las inspecciones ultramarinas era dedicarse a los aspectos técnicos de demarcación y vigilancia de minas, algunos de ellos fueron más allá y aportaron importantes datos para la cartografía geológica de las colonias. En esa época existían pocos antecedentes sobre estudios geológicos en la isla de Cuba. El más notable y utilizado sin ninguna duda por los ingenieros de la inspección, fue el del naturalista español Ramón de la Sagra, quien en el volumen primero de su monumental obra *Historia física, política y natural de la isla de Cuba* (1838-1861), recogió lo que se conocía hasta ese momento sobre la geología y mineralogía de este territorio desde el siglo XV y a partir de sus experiencias personales (La Sagra, 1838). Desde la dirección de la Comisión del Mapa Geológico, Manuel Fernández de Castro había trazado un plan para la realización de las cartografías geológicas provinciales con el fin de completar cuanto antes el mapa geológico nacional. Y esto es sin duda lo que se pretendía también en las colonias ultramarinas con unas órdenes remitidas en la década de 1870, que seguían la metodología aplicada por la Comisión para la península (AHN, Ultramar, leg. 268, exp. 9). En Cuba, sin embargo, Policarpo Cía había sido un adelantado, publicando en 1854 un texto, sin mapa, con sus “observaciones geológicas sobre una gran parte de la isla de Cuba”. Se trataba, según el autor, de “un trabajo prepa-

ratorio de alguna utilidad para cuando se trate de formar el mapa geológico” (Cía, 1854). No cabe ninguna duda de que este documento sirvió de base para las exploraciones geológicas que llevaron a cabo posteriormente Manuel Fernández de Castro y Pedro Salterain a lo largo de la isla, que culminaron en la producción de dos mapas.

El primero de ellos (Salterain, 1880) se centró en una región de la provincia de La Habana comprendida en las jurisdicciones de La Habana y Guanabacoa (Fig. 6). El informe oficial, fechado el 20 de abril de 1880, junto con el mapa original, se conserva en el Archivo Histórico Nacional (AHN, Ultramar, leg. 227, exp. 3, n.º 13 y AHN, Ultramar MPD.2957). A pesar de que “varios ingenieros han expuesto ya la dificultad de hacer estudios geológicos en la isla de Cuba por la ferocidad del suelo, cubierto a menudo por un gran manto de tierra vegetal [...] y los escasos puntos en que puede observarse la roca subyacente” (Salterain, 1880: 173), el ingeniero recogió informaciones detalladas, no solo geológicas, sino también geográficas y de población, así como sobre aguas mineromedicinales y yacimientos de asfalto, de muy escasa importancia estos últimos. Reconoció un macizo de rocas metamórficas a todo lo largo de la jurisdicción de Guanabacoa. También extensas unidades cretácicas y miocenas en las que reunió una amplia colección paleontológica. Entre los fósiles recogidos por Salterain, figuró un equinoideo mioceno procedente de una cantera de Calabazar, en la jurisdicción de La Habana. Fue estudiado por Daniel de Cortázar, ingeniero de la Comisión del Mapa Geológico, quien creó la nueva especie *Encope ciae*, dedicada al ingeniero Policarpo Cía (Cortázar, 1880) (Fig. 7). Fernández de Castro (1880) expresó en la presentación del volumen correspondiente del *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España* su entusiasmo porque se publicasen los resultados de Salterain, a quien había acompañado en muchos de los recorridos por Cuba, pues:

“a pesar del modesto título con que presenta su memoria el Sr. Salterain, es un concienzudo trabajo que, si como se refiere a dos jurisdicciones de las más pequeñas de aquella isla, abrazara una parte considerable del territorio, dejaría de ser el de aquella antilla uno de los menos conocidos de los dominios españoles [...] tratándose de un país cuyo clima y suelo dificultan las exploraciones; cuya superficie pasa de 120000 kilómetros cuadrados, para cuyo estudio geológico solo en estos últimos años se ha consignado una suma que apenas bastaría para recorrer algunos kilómetros de la Península”, y continúa anunciando que se trataba del “primer trabajo de la serie de los que acerca de la isla de Cuba se propone ir publicando la Comisión del Mapa Geológico de España, ya que ha dado casi todos los avances de las provincias peninsulares”.

El siguiente mapa fue el “Croquis geológico de la Isla de Cuba”, a escala 1:2.000.000, que publicaron Manuel Fernández de Castro y Pedro Salterain en el volumen de 1881 del *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España* (Fig. 8). Fue confeccionado entre 1869 y 1883 y para su base topográfica dispusieron, sin duda, del plano geográfico con el que La Sagra (1838) acompañó su *His-*

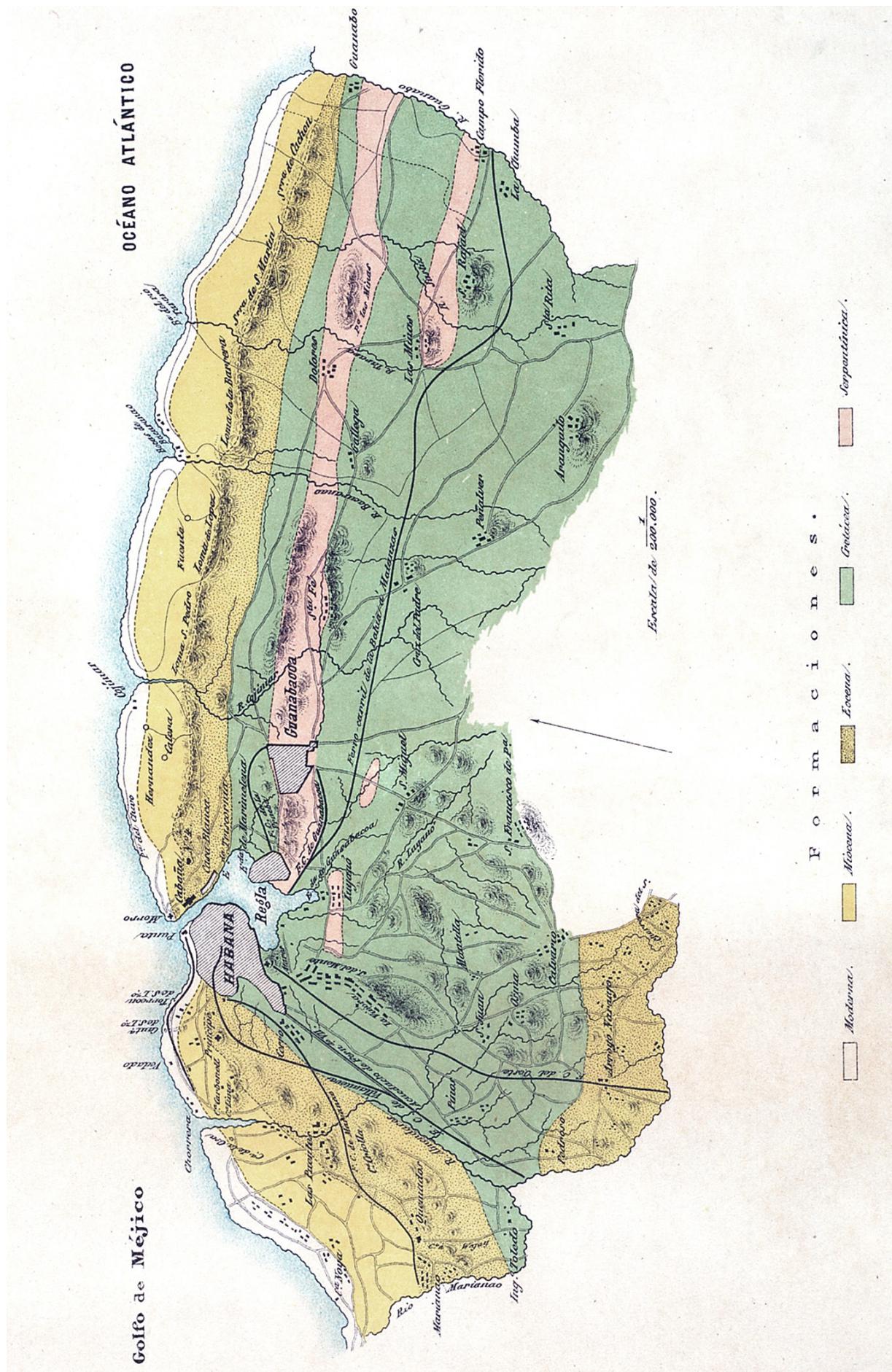


Fig. 6.- Mapa geológico y topográfico en bosquejo de las jurisdicciones de La Habana y Guanabacoa (Isla de Cuba), a escala 1:200 000 (Salterain, 1880).

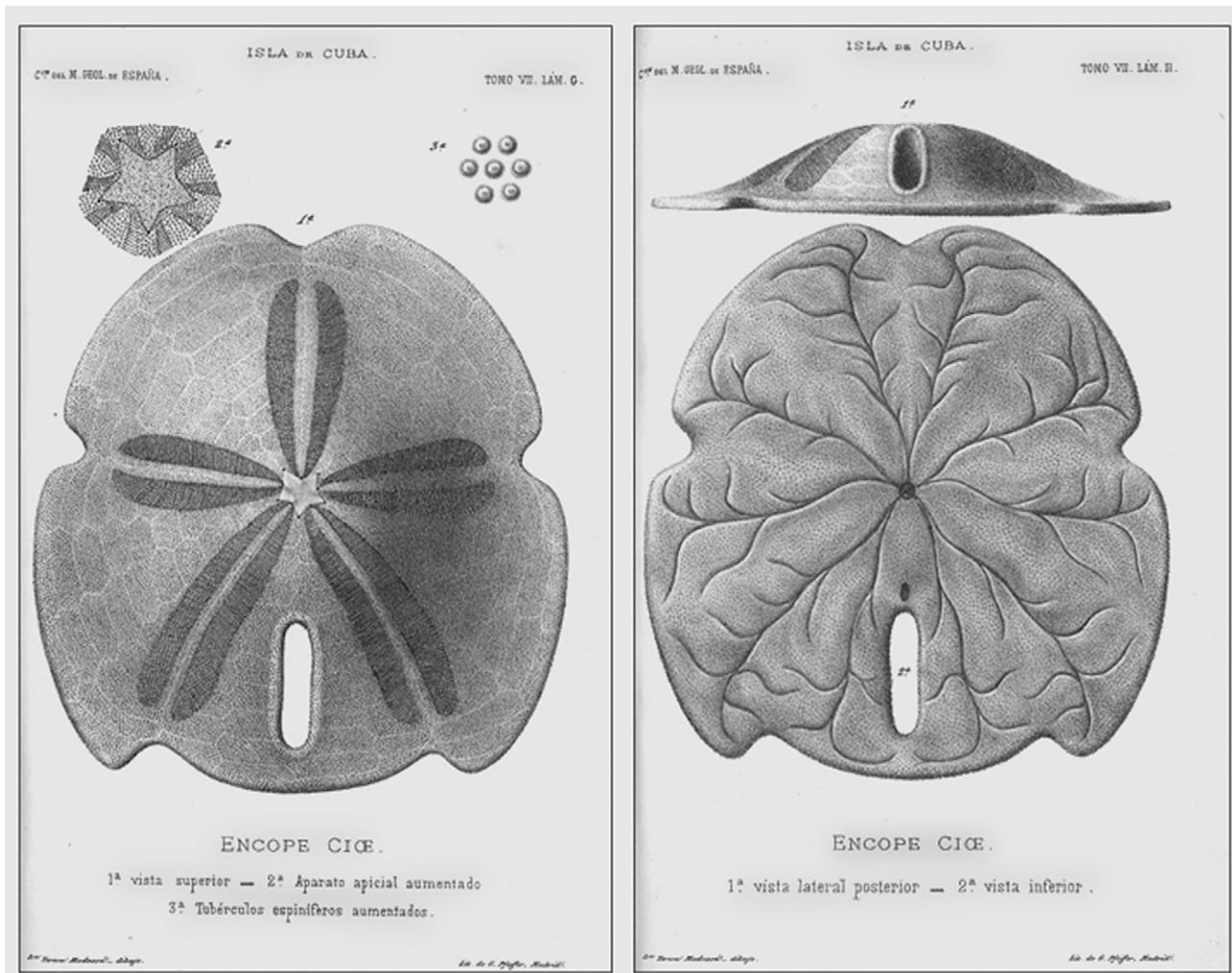


Fig. 7.- *Encope ciae* Cortázar, 1880, equinoideo del Mioceno de Calabazar, jurisdicción de La Habana, Cuba. Láminas G (izquierda, vista superior) y H (derecha, vistas lateral e inferior) de Cortázar (1880). Los dibujos son de Teresa Madasú, ilustradora habitual de fósiles en las publicaciones de la Comisión del Mapa Geológico a finales del siglo XIX. La litografía es de Gustavo Pfeiffer.

toria física, política y natural de la Isla de Cuba, así como la Nueva Carta Geo-Coro-Topográfica de la Isla de Cuba (1870-1874), del cartógrafo cubano Esteban Pichardo. Ambos mapas geográfico-topográficos, junto con el geológico de los ingenieros de minas, constituyeron hitos en la cartografía cubana del siglo XIX. El mapa geológico de Fernández de Castro y Salterain fue presentado a la comunidad científica en 1881, durante la celebración en Madrid del 4º Congreso Internacional de Americanistas, en el que Fernández de Castro (1881) expuso sus “pruebas paleontológicas de que la isla de Cuba ha estado unida al continente americano”, aportando una síntesis de la geología cubana acompañada del mapa. Se trató del primer mapa geológico de la isla antillana y el primero también de un país latinoamericano.

En opinión de Pérez Aragón (2021: 4-5), la confección de este mapa general de la isla de Cuba hubo de soslayar las dificultades propias de la topografía, la exuberancia de la vegetación y los malos accesos por ausencia, en muchos casos, de caminos y carreteras. Pese a todo, los autores reconocieron correctamente aspectos geológicos relevantes, como la “dirección cubana” por la que se distribuían las unidades a lo largo de un eje central de la isla.

Asignaron acertadamente una edad jurásica a las calizas de la cordillera de Guaniguánico, así como a los mármoles y a las pizarras del macizo metamórfico de la isla de Pinos (actual isla de la Juventud). Identificaron las rocas cretácicas del arco volcánico y el Mioceno sedimentario. Igualmente, cartografiaron los asomos de rocas intrusivas en los terrenos ígneos de Camagüey-Las Tunas, los “granitoides de Manicaragua”, así como los cuerpos rocosos de la corteza oceánica que conforman el cinturón de la asociación ofiolítica de Cuba, a los que agruparon bajo el nombre genérico de “dioritas, serpentinas y basaltos”. Sin embargo, asignaron erróneamente una edad triásica a las pizarras situadas en las partes septentrional y meridional de la cadena montañosa del oeste de Cuba, asimiladas actualmente a las formaciones San Cayetano y Castellano, de edades comprendidas entre el Jurásico Inferior y el Superior. También consideraron como del Cretácico algunos materiales ahora incluidos en el Arco Volcánico Paleógeno de la Sierra Maestra.

En la Biblioteca del Instituto Geológico y Minero de España se conserva un “Croquis geológico de la Isla de Cuba” (a escala 1:173.000), anónimo e inédito (Fig. 9), que bien podría tratarse de una versión previa al mapa publi-

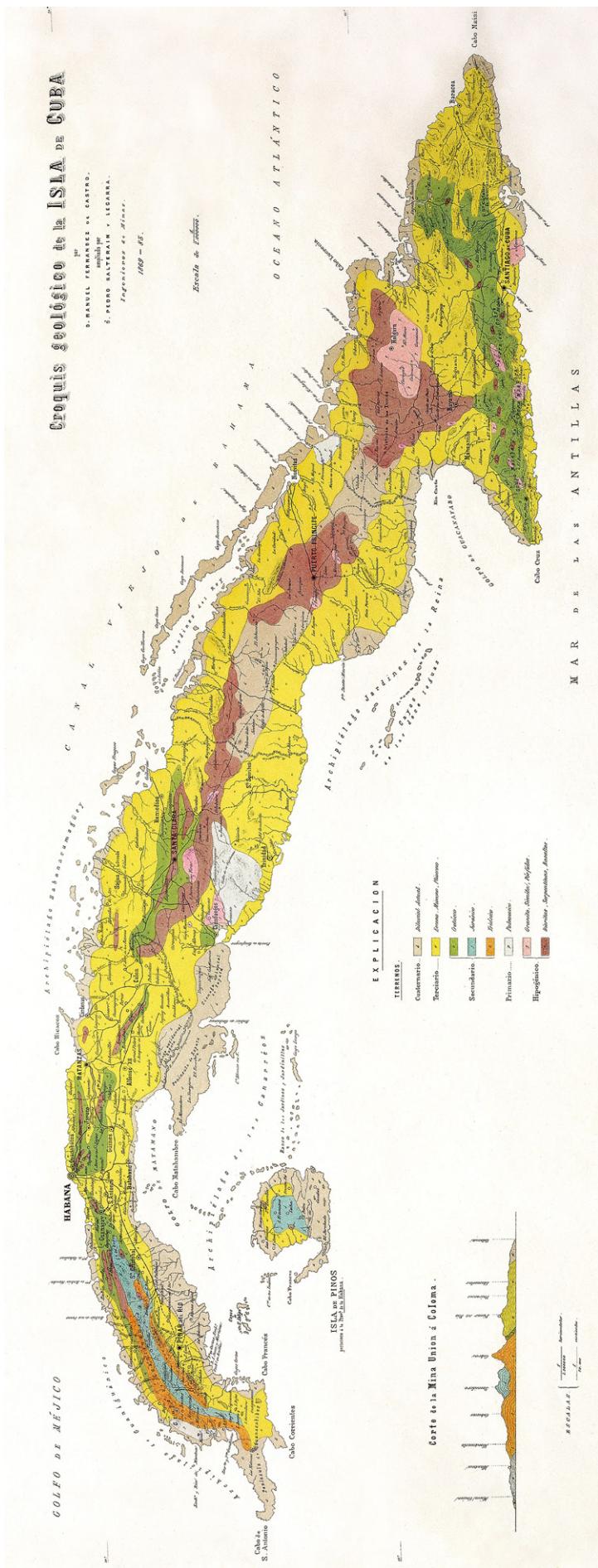


Fig. 8.- Croquis geológico de la Isla de Cuba, a escala 1:2.000.000, por Manuel Fernández de Castro y Pedro Salterain (1881).

cado por Fernández de Castro y Salterain (en Fernández de Castro, 1881). En él se cartografiaron tentativamente las unidades jurásicas y cretácicas, así como diversos terrenos metamórficos paleozoicos y cretácicos del centro de la isla cuya extensión muestra variaciones apreciables con respecto a la plasmada en el mapa final.

Tras la independencia de Cuba, desde el Servicio Geológico de Estados Unidos se elaboró un informe sobre la geología y minería cubanas que, sorprendentemente, no recogió el mapa de los ingenieros españoles (Hayes *et al.*, 1901). El informe fue traducido y publicado por la Dirección de Montes y Minas de la República de Cuba (Ortega Ros, 1925), en el que sí que se incluyó el mapa. El siguiente mapa geológico de Cuba, a escala 1:1.000.000, no se publicó hasta 1941-1946 (Brödermann *et al.*, 1946).

Los dos últimos resultados sobre la geología antillana que se dieron a conocer antes del abandono de la colonia fueron los de Ramón Adán de Yarza (1895) y Valentín Pellitero (1895). Dichos trabajos, en los que participó Salterain como jefe de la inspección aunque no constase su nombre, aparecieron en el volumen correspondiente a 1893 (publicado en 1895) del *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España*, año del fallecimiento de Salterain. El primero estudió la colección de rocas "hipogénicas" cubanas que habían reunido Fernández de Castro y Salterain durante sus recorridos por la isla. Es muy probable que esta colección, o parte de ella, se expusiera en 1892 en Madrid, entre las 600 rocas de Cuba que se mostraron en la Exposición Histórico-Americanica (Catálogo, 1893), celebrada en el Palacio de Bibliotecas y Museos Nacionales (edificio que alberga actualmente a la Biblioteca Nacional de España y al Museo Arqueológico Nacional) con motivo de la conmemoración del cuarto centenario de la llegada de Cristóbal Colón al continente americano (Fig. 10).

El segundo de los resultados consistió en otro mapa geológico de una pequeña región de la provincia de Santiago de Cuba (Fig. 11), obra de Valentín Pellitero (1895) quien estuvo destinado en la inspección de Cuba como auxiliar entre 1880 y 1887. De éste quedó documentado un corte geológico norte-sur, entre Sagua de Tánamo y Santa Catalina de Guantánamo, en la provincia de Santiago de Cuba (que actualmente se reparte entre las de Holguín y Guantánamo). Comparando siempre con los resultados obtenidos por Salterain (1880) en la provincia de La Habana, Pellitero se centró especialmente en los materiales que

## CROQUIS GEOLÓGICO DE LA ISLA DE CUBA



Fig. 9.- Croquis geológico de la Isla de Cuba, a escala 1:173.000. Sin fecha, sin autor. Biblioteca del Instituto Geológico y Minero de España (CSIC).

brindasen buenos suelos para la agricultura. Así, reconoció las areniscas verdes glauconíticas del llano de Guantánamo, muy beneficiosas para el cultivo de la caña de azúcar, y donde se asentaban algunos ingenios azucareros; o las areniscas cloríticas de tipo arcilloso próximas a Sagua de Tánamo. Estas últimas se explotaban con éxito para cultivos de árboles frutales, plataneras, piñas, maíz, arroz y patatas.

No era raro que los auxiliares facultativos de minas asumiesen cometidos superiores a los que tenían encomendados de acuerdo a su puesto. Ante la falta de personal en Cuba, en ocasiones se responsabilizaron de alguno de los distritos en ausencia del ingeniero titular, como le ocurrió a Pellitero, quien se encargó temporalmente del de Santiago de Cuba en ausencia de Gabriel Usera. También realizaron trabajos de cartografía geológica, como fue el caso que se acaba de citar. Otros ejemplos son los de Aniceto de la Peña, colaborador de Casiano de Prado, quien finalizó el mapa geológico de la provincia de Toledo (1871-1872), que se había quedado inconcluso tras el fallecimiento de Prado en 1866 (Rábano, 2015: tabla 6), o Enrique d'Almonte, en la inspección de minas de las islas Filipinas. Este último constituyó un caso paradigmático por sus excelentes dotes como dibujante y cartógrafo. Ocupa por ello un lugar destacado en la historia de la geografía y de la cartografía colonial (Rodríguez Esteban y Campos Serrano, 2018).

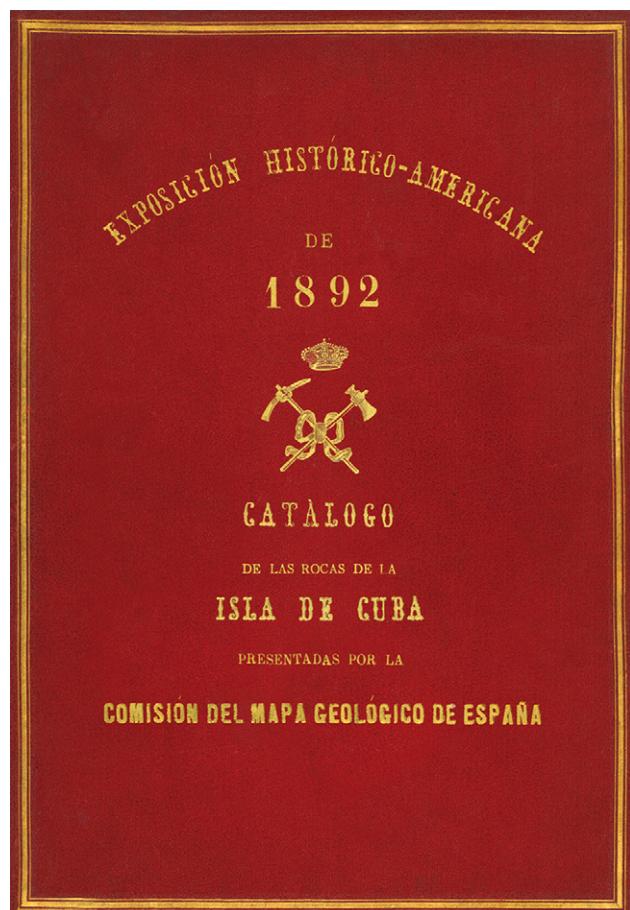


Fig. 10.- Portada del catálogo de la colección de 600 rocas de Cuba presentadas por la Comisión del Mapa Geológico de España en la Exposición Histórico-Americana (Madrid, 1892). Biblioteca del Instituto Geológico y Minero de España (CSIC).

## Conclusiones

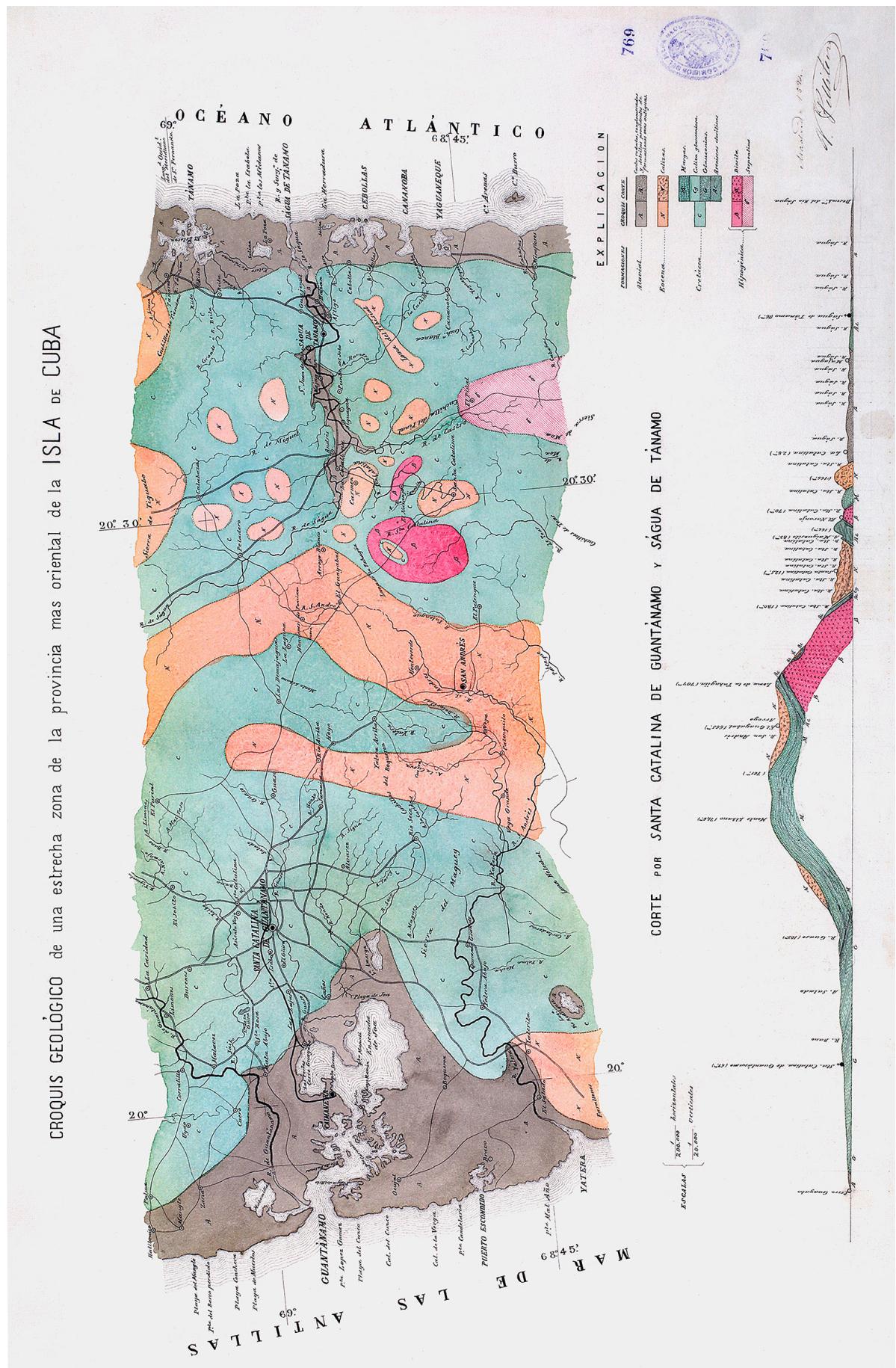
A pesar de la importancia que tuvo la minería en los territorios americanos durante la época colonial, una vez que culminó la independización de casi todos ellos a comienzos del siglo XIX, parece que el interés decayó en las colonias americanas y asiáticas que aún permanecían bajo la tutela de la Corona española: Cuba, Puerto y las islas Filipinas. La Constitución de 1837 les otorgó unas condiciones especiales y fue cuando se instalaron inspecciones de minas en todas ellas, dependientes de los gobiernos ultramarinos y atendidas por ingenieros de minas venidos desde la península. A la vez, se dictaron nuevas regulaciones mineras específicas para cada una de las colonias. Se trató sin duda de una solución práctica, en la que expertos en asuntos mineros debían apoyar a la administración local en temas que comenzaron a ser nuevamente de interés por lo que suponían para las arcas de Hacienda. En paralelo, y con el interés que había suscitado en la península la formación de mapas geológicos para el aprovechamiento de suelo y del subsuelo, los ingenieros de minas de las inspecciones comenzaron también a interesarse por el conocimiento científico del territorio, abordando trabajos cartográficos con mayor o menor fortuna.

En el caso de Cuba, y a semejanza de lo que ocurrió en las restantes colonias, la inspección de minas se encontró siempre infradotada en tema de recursos humanos, lo que hacía muy difícil la correcta atención de sus obligaciones. No fueron muchos los ingenieros y auxiliares facultativos de minas que formaron la nómina de la inspección, pero, según se desprende de la información conservada en los archivos del Ministerio de Ultramar, sí que llevaron a cabo un trabajo continuado de demarcación y de revisión de las pertenencias mineras, a la vez que contribuyeron a la estadística minera nacional. Sí es cierto que la complicada situación política y social por la que atravesó la isla con sus diferentes guerras de emancipación de España entre 1868 y 1898, imprimió muchas dificultades a la actividad minera.

La llegada en 1862 a la inspección de minas de Cuba de Pedro Salterain vino a reforzar al equipo que ya estaba allí instalado, si bien es cierto que las dificultades presupuestarias del gobierno de la metrópoli tras la Revolución de 1868, hicieron que se suprimieran algunas de las plazas de ingenieros en las colonias, con lo que Salterain estuvo solo al frente de la de Cuba durante casi veinte años. Sin embargo, Salterain se ocupó también de continuar las investigaciones geológicas que Manuel Fernández de Castro había comenzado como anterior responsable, con lo que ambos ingenieros llegaron a completar el mapa geológico de Cuba, el primero que se realizó de esta isla antillana.

## Agradecimientos y financiación

Agradezco a Rafael Rodríguez, director de la Biblioteca del Instituto Geológico y Minero de España (IGME, CSIC), su profesionalidad y paciencia con mis múltiples consultas, y al Archivo Histórico Nacional por el permiso de reproducción de sus fondos. Luis Quintana y un revisor anónimo aportaron



**Fig. 11.**- Croquis geológico de una estrecha zona de la provincia más oriental de la Isla de Cuba, a escalas 1:200.000 (horizontal) y 1:20.000 (vertical), por Valentín Pellitero (1894). El mapa fue publicado con el título “Croquis de una estrecha zona de la provincia de Santiago de Cuba”, en Pellitero (1895, lám. 5). Se trata de una versión firmada por el autor en 1894 (en la esquina inferior derecha). Biblioteca del Instituto Geológico y Minero de España (CSIC).

valiosos comentarios que han mejorado notablemente el texto de este artículo. La presente investigación no ha recibido ayudas específicas provenientes de agencias del sector público, sector comercial o entidades sin ánimo de lucro.

## Fuentes archivísticas

- AHN, Ultramar, leg. 77, exp. 3: Expediente general sobre la explotación de minas en la isla de Cuba.
- AHN, Ultramar, leg. 106, exps. 38, 39: Resúmenes trimestrales de la Inspección de Minas.
- AHN, Ultramar, leg. 227, exps. 1, 3: Memorias y trabajos de la Inspección General de Minas de Cuba.
- AHN, Ultramar, leg. 227, exp. 5: Partes trimestrales de la Inspección General de Minas de Cuba.
- AHN, Ultramar, leg. 227, exp. 11: Reorganización de la Dirección General de Minas de la isla de Cuba.
- AHN, Ultramar, leg. 228, exp. 9: Expediente personal del ingeniero de Minas Pedro Salterain Legarra.
- AHN, Ultramar, leg. 268, exp. 6: Expediente general sobre reformas del servicio y personal de Minas en las provincias de Ultramar.
- AHN, Ultramar, leg. 437, exp. 9: Condiciones con que pasan a servir en Ultramar los ingenieros de minas.
- AHN, Ultramar, leg. 437, exp. 10: Descubrimiento de oro en Luquillo y nombramiento de inspectores de Minas en Ultramar.

## Referencias

- Adán de Yarza, R., 1895. Rocas hipogénicas de la isla de Cuba. Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España, 20(1893): 71-88.
- [Admisión], 1854. [Admisión de alumnos]. Revista Minera, 5: 676.
- Alonso Romero, P., 2002. Cuba en la España liberal (1837-1898). Centro de Estudios Políticos y Constitucionales, Madrid, 223 p.
- Alonso Romero, P., 2004-2005. Entre asimilación y autonomía: la política colonial española para Cuba y Puerto Rico durante el siglo XIX. *Quaderni Fiorentini*, 33/34: 675-798.
- Álvarez Conde, J., 1957. Historia de la geología, mineralología y paleontología en Cuba. Segunda Parte. Datos biográficos de los principales investigadores que han realizado estudios geológicos, mineralógicos y paleontológicos en Cuba. Junta Nacional de Arqueología y Etnología, La Habana, 248 p.
- Borrego, M.L., 2022. El Homo cubensis de Sancti Spíritus. Escambray, Sancti Spíritus, 01/01/2022.
- Brödermann, J., de Albear, J.F., Andreu, A., 1946. Croquis Geológico de Cuba a escala 1:1.000.000. Comisión Técnica de Montes y Minas, Ministerio de Agricultura, La Habana.
- Calvache, A., 1944. Historia y desarrollo de la minería en Cuba. Editorial Neptuno, La Habana, 135 p.
- Calvache, A., 1968. La Geología en Cuba: 1868-1968. Academia de Ciencias de Cuba, La Habana, 24 p.
- [Catálogo], 1893. Catálogo general de la Exposición Histórico-Americanica de Madrid. Tomo I. Sucesores de Rivadeneyra, Madrid, 709 p.
- Cía, P., 1854. Observaciones geológicas de una gran parte de la Isla de Cuba. Revista Minera, 5: 365-381, 393-405, 419-426, 451-460. [Existe tirada aparte: Imprenta de la Viuda de D. Antonio Yenes, Madrid, 1854, 47 p.].
- Cortázar, D., 1880. Descripción de un nuevo equinodermo de la Isla de Cuba, Encope Ciae n. sp. Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España, 7: 227-232.
- Cotilla, M., 1999. Apuntes necesarios acerca de los acontecimientos sismológicos en Cuba. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 19: 71-93.
- Cotilla, M., 2010. Cuban seismology. *Revista de Historia de América*, 143: 43-98.
- Eizaguirre, J., 1841. Memoria sobre el estado de la industria minera en la isla y el arreglo del ramo. En: Expediente general sobre la explotación de minas en la isla de Cuba. AHN, Ultramar, leg. 77, exp. 3.
- Fernández de Castro, M., 1864. Estudio sobre las minas de oro de la Isla de Cuba, y muy particularmente sobre la de San Blas de las Meloneras, en el partido de Guaracabuya, jurisdicción de Remedios. *Anales de la Real Academia de Ciencias Médicas, Físicas y Naturales de La Habana*, 1: 171-177, 205-217, 253-269, 301-311, 356-366, 396-413.
- Fernández de Castro, M., 1880. [Presentación]. *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España*, 7: ix-xv.
- Fernández de Castro, M., 1881. Pruebas paleontológicas de que la Isla de Cuba ha estado unida al continente americano y breve idea de su constitución geológica. *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España*, 8: 357-372. Lámina G: Croquis geológico de la Isla de Cuba, a escala 1:2.000.000, por Manuel Fernández de Castro, ampliado por Pedro Salterain Legarra (1869-1883). [Existe tirada aparte del texto y mapa: Imprenta y Fundición de Manuel Tello, Madrid, 1884, 15 p.].
- Fernández de Castro, M., Valdés, N., Ruiz de León, J., Aenlle, J.F., Salterain, P., 1864. Informe que presentan al Excmo. Sr. Gobernador Capitán general de la Isla de Cuba, la comisión nombrada para inspeccionar las obras del Canal de Isabel II, proyectado por D. Francisco de Albear, con objeto de conducir a La Habana las aguas de los manantiales de Vento. Imprenta de la Viuda de D. Antonio Yenes, Madrid, 64 p. [Reproducido en Revista Minera, 15 (1864): 3-18, 33-45, 77-84, 107-117, 136-142, 170-178].
- Fradera, J.M., 2005. *Colonias para después de un imperio*. Edicions Bellaterra, Barcelona, 751 p.
- Fradera, J.M., 2015. *La nación imperial (1750-1918)*. Edhsa, Barcelona, 1392 p.
- González Loscertales, V., Roldán de Montaud, I., 1980. La minería del cobre en Cuba. Su organización, problemas administrativos y repercusiones sociales (1828-1849). *Revista de Indias*, 159-162: 255-299.
- Hayes, C.W., Vaughan, T.W., Spencer, A.C., 1901. Report on a geological reconnaissance of Cuba, made under the Direction of General Leonard Wood, Military Governor. Government Printing Office, United States Geological Survey, Washington, 123 p.
- Irigoyen Artexte, A., 2014. La Asociación Vasco-Navarra de Beneficencia y otras entidades vasco-cubanas. Servicio Central de Publicaciones, Gobierno Vasco, Vitoria-Gasteiz, 370 p.
- La Sagra, R. de, 1838. Historia física, política y natural de la Isla de Cuba. Tomo I. Introducción, geografía, clima y estadística. Imprenta de Maulde y Renou, París, 300 p. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.207>
- Le Riverend, J., 1974. Historia económica de Cuba. Editorial Pueblo y Educación, La Habana, 662 p.
- López Quintana, D., 1861. Rasgos especiales de una legislación minera para la Isla de Cuba. *Revista Minera*, 12: 499-509, 533-540, 551-560.
- Maffei, E., 1877. Centenario de la Escuela de Minas de España, 1777-1877. Imprenta y Fundición de Manuel Tello, Madrid, 300 p.
- Moyano Bazzani, E.L., Fernández Alonso, S., 1998. La minería cubana en las últimas décadas del siglo XIX. *Anuario de Estudios Americanos*, 55(1): 221-242.

- <https://doi.org/10.3989/aea.1998.v55.i1.373>
- Orihuela León, J., 2020. Epidemias de fiebre amarilla en Matanzas durante el siglo XIX. Librínula: Revista Digital de la Biblioteca Nacional de Cuba José Martí, 398: 1-7.
- Ortega Ros, P., 1925. Informe sobre un reconocimiento geológico de Cuba, practicado por disposición del general Leonard Wood. Imprenta de Rambla, Bouza y Cía, La Habana, 134 p.
- Pellitero, V., 1895. Apuntes geológicos referentes al itinerario de Sagua de Tánamo a Santa Catalina de Guantánamo en la isla de Cuba. Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España, 20(1893): 89-98.
- Pérez Aragón, R.O., 2021. Geological cartography of Cuba. En: Geology of Cuba, (M.E. Pardo Echarte, Ed.). Springer, Cham, 1-38. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-67798-5\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-67798-5_1)
- Rábano, I., 2015. Los cimientos de la geología: la Comisión del Mapa Geológico de España (1849-1910). Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 329 p.
- Rábano, I., 2016. Las investigaciones geológicas y mineras de Manuel Fernández de Castro en Cuba y Santo Domingo (1859-1869). *Geo-Temas*, 16(2): 247-250.
- Rábano, I., 2020. Encuentros y desencuentros con la metrópoli: la Inspección General de Minas de las islas Filipinas y sus ingenieros. *Illes i Imperis*, 22: 107-124. <https://doi.org/10.31009/illesimperis.2020.i22.06>
- Rábano, I., 2022. Manuel Fernández de Castro y Suero (1825-1895), director de la Comisión del Mapa Geológico de España. *Boletín Geológico y Minero*, 133(4): 7-35. <http://dx.doi.org/10.21701/bolgeomin/133.4/001>
- Rábano, I., Escuder-Viruete, J., 2022. La contribución de Manuel Fernández de Castro a la geología y minería de la República Dominicana. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 35(1): 36-55. <https://doi.org/10.55407/rsge.94883>
- [Reformas], 1876. Las reformas de la Isla de Cuba con relación a la minería. *Revista Minera*, 27: 94.
- Rivero de la Calle, M., Puig-Samper Mulero, M.A., 1992. Aportes de Miguel Rodríguez Ferrer a la antropología cubana. *Revista de Indias*, 52(194): 195-201.
- Rodríguez Esteban, J.A., Campos Serrano, A., 2018. El cartógrafo Enrique D'Almonte, en la encrucijada del colonialismo español de Asia y África. *Scripta Nova*, 22(586): 1-35. <https://doi.org/10.1344/sn2018.22.19305>
- Roldán de Montaud, I., 2003. La política española en Cuba: una década de cambios (1876-1886). *Ayer*, 52: 175-203.
- Roldán de Montaud, I., 2008. El ciclo cubano del cobre en el siglo XIX, 1830-1868. *Boletín Geológico y Minero*, 119(3): 361-382.
- Roldán de Montaud, I., 2017. Hacienda pública y evolución económica en Cuba (1765-1898). En: La Administración de Cuba en los siglos XVIII y XIX, (J. Alvarado Planas, Ed.). Boletín Oficial del Estado y Centro de Estudios Políticos y Constitucionales, Madrid, 107-144.
- Salterain, P., (s/f). Estudio de la Cueva del Purial. [Cita extraída de Trelles, 1919: 417].
- Salterain, P., 1865. Análisis de tres calizas de un potrero del Sr. D. Juan Poey al Sur de Alacranes. *Diario de La Marina*, La Habana, 15/04/1865.
- Salterain, P., 1869. Breve memoria sobre el ramo de minas en la isla de Cuba. La Habana, 2 de agosto de 1869. [Manuscrito, 52 p.]. En: Reorganización de la Dirección General de Minas de la isla de Cuba. Archivo Histórico Nacional, Ultramar, 227, Exp. 11, n.º 30.
- Salterain, P., 1873. [Informe sobre el aumento de personal facultativo]. En: Extracto del expediente general de Minas. Cuaderno segundo. [Manuscrito]. Archivo Histórico Nacional, Ultramar, 268, Exp. 6: 227-234.
- Salterain, P., 1880. Apuntes para una descripción física-geológica de las jurisdicciones de La Habana y Guanabacoa (Isla de Cuba). *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España*, 7: 161-225.
- Salterain, P., 1883a. Breve reseña de la minería de la isla de Cuba. Librería e Imprenta La Publicidad, La Habana, 24 p.
- Salterain, P., 1883b. Ligera reseña de los temblores de tierra ocurridos en la isla de Cuba. *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España*, 10: 371-385. [Reproducido en *Anales de la Real Academia de Ciencias Médicas, Físicas y Naturales de La Habana*, 21(1884): 203-218].
- Soto González, L.D., 1981. Apuntes sobre la historia de la minería cubana. Editorial Oriente, Santiago de Cuba, 121 p.
- Trelles, C.M., 1918. Biblioteca científica cubana. Tomo Primero. Imprenta de Juan F. Oliver, Matanzas, 471 p.
- Trelles, C.M., 1919. Biblioteca científica cubana. Tomo Segundo. Imprenta de Juan F. Oliver, Matanzas, 505 p.
- Viñes, B., Salterain, P., 1880. Excursión a Vuelta Debajo de Viñes y Salterain en ocasión de los fuertes temblores de tierra ocurridos en la noche del 22 al 23 de enero de 1880. Ediciones La Voz de Cuba, La Habana, 68 p.

MANUSCRITO RECIBIDO: 29-10-2024

REVISIÓN RECIBIDA: 26-11-2024

ACEPTACIÓN DEL MANUSCRITO REVISADO: 04-12-2024

## NEW APPROACH TO UNDERSTANDING THE SEISMOTECTONIC REGIME OF THE BUCARAMANGA SEISMIC NEST

*Nueva aproximación a la comprensión del régimen sismotectónico del nido sísmico de Bucaramanga*

Pérez Jhon Leandro<sup>1</sup>, Salcedo-Hurtado Elkin de Jesús<sup>1</sup>, Fernández-Córdoba Jhonattan<sup>1</sup>, Cardona-Parra César Augusto<sup>1</sup>, García-Millán Nathalie<sup>1</sup>

*GEORIESGO Research Group. Department of Geography, Universidad del Valle, Calle 13 # 100-00, 760042 Cali, Colombia.*

[leandro.perez@correounivalle.edu.co](mailto:leandro.perez@correounivalle.edu.co), [elkin.salcedo@correounivalle.edu.co](mailto:elkin.salcedo@correounivalle.edu.co), [jhonattan.fernandez@correounivalle.edu.co](mailto:jhonattan.fernandez@correounivalle.edu.co),  
[cesar.augusto.cardona@correounivalle.edu.co](mailto:cesar.augusto.cardona@correounivalle.edu.co), [nathalie.garcia@correounivalle.edu.co](mailto:nathalie.garcia@correounivalle.edu.co)

**Abstract:** This research focuses on understanding the Bucaramanga Seismic Nest (BSN) from a physical perspective. Therefore, it does not emphasize linking its genesis with plate behavior or interaction (geodynamic perspective). It is proposed that BSN activity could be associated with the fracturing of ultramafic rocks (partially melted) whose physical mechanism of rupture is thermal shear runaway. According to the inversion of the analyzed focal mechanisms, the total stress field of BSN is compressive ( $R = 0.91$  and  $R' = 2.91$ ) and susceptible to transitioning to a transcurrent regime (permutation between  $\sigma_2$  and  $\sigma_3$ ), where medium deformation responds to a strike-slip fault with an extensional component, consistent with the estimated  $b$  value  $\sim 1.0$  typical in this context. Additionally, BSN experiences high deformation rates (on the order of  $10^{-5}$  per year), with its maximum vertical deformation rate ( $z; \dot{\varepsilon}_3 = 2.6 \times 10^{-5}$ /year) indicating a relative deformation velocity of 52 cm/year, approaching values of rising magma plumes ( $\sim 200$  km depth). Thus, it is suggested not to discount the possibility that seismic activity from this source could be related to some geophysical anomaly resulting from convective processes.

**Keywords:** Bucaramanga Seismic Nest, seismotectonics, focal mechanisms, stress field, thermal shear runaway.

**Resumen:** Esta investigación se enfoca en comprender el Nido Sísmico de Bucaramanga (NSB), desde una perspectiva física. Por esta razón, no enfatiza en relacionar su génesis, con la interacción de placas (perspectiva geodinámica). En este sentido, se propone que la actividad del NSB podría estar asociada con el fracturamiento de rocas ultramáficas (parcialmente fundidas) cuyo mecanismo físico de ruptura es por inestabilidad térmica. De acuerdo con la inversión de los mecanismos focales analizados, el campo de esfuerzos total del NSB es compresivo ( $R = 0.91$  y  $R' = 2.91$ ) y susceptible de cambiar a uno transcurrente (permutación entre  $\sigma_2$  y  $\sigma_3$ ), donde la deformación del medio responde a una falla de rumbo con componente extensional, consistente con el valor  $b$  estimado  $\sim 1.0$  y que se relaciona con este tipo de contexto. Por otra parte, el NSB experimenta una alta deformación (del orden de  $10^{-5}$  año $^{-1}$ ) y su máximo valor en dirección vertical ( $z; \dot{\varepsilon}_3 = 2.6 \times 10^{-5}$ /año $^{-1}$ )

año) tiene una velocidad relativa de deformación de 52 cm/año, aproximándose a valores de velocidad de plumas magnéticas en ascenso (~200 km de profundidad) por lo que se sugiere no descartar que la actividad sísmica de esta fuente pudiera estar relacionada con alguna anomalía geofísica que se desprenda de procesos convectivos.

**Palabras clave:** *Nido Sísmico de Bucaramanga, sismotectónica, mecanismos focales, campo de esfuerzos, inestabilidad térmica.*

Pérez Jhon Leandro, Salcedo-Hurtado Elkin de Jesus, Fernández-Córdoba Jhonattan; Cardona-Parra Cesar Augusto, García-Millán Nathalie, 2024. New approach to understanding the seismotectonic regime of the Bucaramanga Seismic Nest. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 37(2): 31-43.

## Introduction

Intermediate-depth seismicity (50-300 km), unlike shallow seismicity, lacks a mainshock and does not have an aftershock pattern that follows Omori's law (exponential decay over time). Instead, it frequently occurs as clusters or "nests" (Barrett, 2015). In this context, a seismic nest is a volume where intense seismic activity is isolated from nearby activity and, unlike a "swarm" or aftershock sequence, these events persist over time (Prieto *et al.*, 2012). This seismicity occurs where temperatures and pressures exceed those expected for brittle or shear rupture mechanisms (Frohlich, 2006; Prieto *et al.*, 2012; Barrett, 2015).

The study of seismic nests can be approached from both a physical and a geodynamic perspective. In the first case, several physical rupture mechanisms have been proposed, with the most popular being dehydration embrittlement and thermal shear runaway (Frohlich, 2006; Prieto *et al.*, 2012; Barrett, 2015). In the second case, seismic nests can be generated, for example, at the edge of a plate due to contortion or tearing of the plate, or through plate overlap or collision (Nowroozi, 1971; Van der Hilst and Mann, 1994; Corredor, 2003; Cortes and Angelier, 2005; Zarifi *et al.*, 2007; Barrett, 2015). In general, scenarios involving the interaction of multiple plates are suggested to generate a seismic nest (Van der Hilst and Mann, 1994; Zarifi *et al.*, 2007; Barrett, 2015).

The Bucaramanga Seismic Nest (BSN) in Colombia, along with those of Vrancea in Romania e Hindu Kush in Afghanistan, are the most active intermediate-depth seismic sources on the planet (Zarifi and Havskov, 2003; Prieto *et al.*, 2012). From a geodynamic perspective, three broad hypotheses have been proposed regarding the genesis of the BSN beneath South America: 1) subduction of the Caribbean Plate or its tearing (Pennington, 1981; Taboada *et al.*, 2000; Corredor, 2003; Cortés and Angelier, 2005; Sánchez *et al.*, 2011; Prieto *et al.*, 2012; Vargas and Mann, 2013; Poveda *et al.*, 2015); 2) subduction of the Nazca Plate or its tearing (Van der Hilst and Mann, 1994; Chiarabba *et al.*, 2015; Wagner *et al.*, 2017); and 3) overlapping or collision of the Nazca and Caribbean plates (Zarifi *et al.*, 2007; Syracuse *et al.*, 2016; Londoño *et al.*, 2020; Cornthwaite *et al.*, 2021). From a physical perspective, some

authors favor the dehydration embrittlement mechanism (Schneider *et al.*, 1987; Frohlich *et al.*, 1995; Zarifi and Havskov, 2003; Londoño *et al.*, 2020; Pérez-Forero *et al.*, 2023) while others favor the thermal shear runaway mechanism (Prieto *et al.*, 2013; Poli *et al.*, 2016).

As can be seen, various seismological studies of the BSN have primarily focused on addressing two main questions regarding the relationship of this seismic source with: 1) the interaction between plates (oceanic and continental) beneath the South American plate, and 2) the potential physical mechanisms triggering seismic activity. In this study, the seismotectonic analysis approach proposed for the BSN does not aim to relate its genesis to plate interactions; instead, it suggests a different perspective from a physical standpoint.

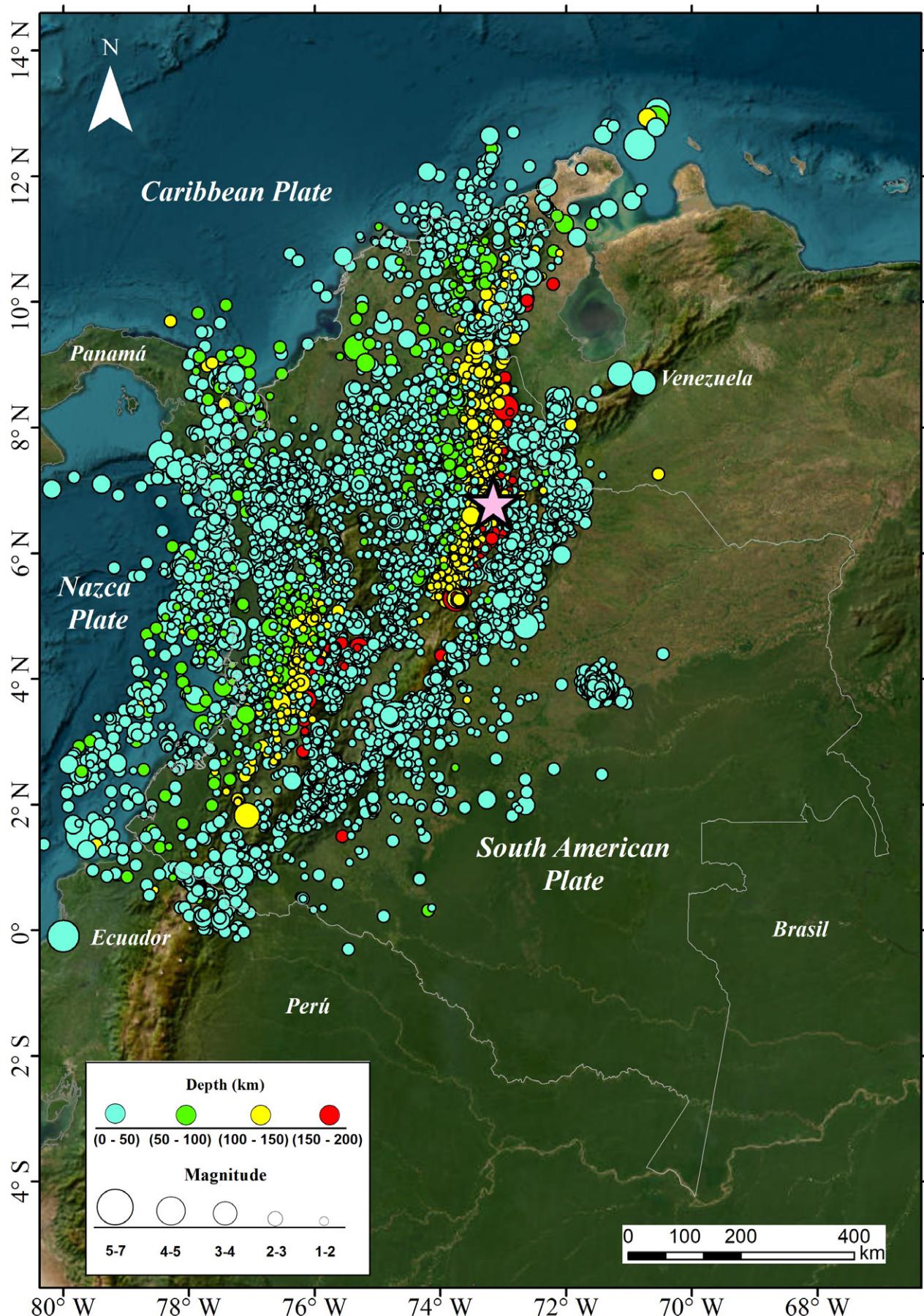
## General seismotectonic framework

The Nazca and Caribbean oceanic plates subduct beneath the northwestern corner of South America at rates of 5.3-5.5 cm/year and 1.0-1.2 cm/year, respectively (Mora-Páez *et al.*, 2019; Mora-Páez *et al.*, 2020). This subduction generates tectonic and geological complexity within Colombian territory, manifested through the uplift of three mountain ranges, evidence of multiple fault systems, volcanism (Fig. 1), and the occurrence of earthquakes at different depth ranges (Fig. 2). The recorded seismicity in Colombia primarily ranges between 0 and 200 km in depth, concentrated along the edges of the mountain ranges where the occurrence of earthquakes is associated with crustal deformation (<50 km depth) caused by the tectonic convergence between the Nazca plate, the Northern Andean Block (NAB), the Caribbean plate, and the Panamá-Chocó Block (García-Delgado *et al.*, 2022; Martínez-Jaramillo and Prieto, 2024).

With respect to intermediate-depth seismicity, it has a latitudinal distribution pattern. In the western part of the country (~4°N), there is an occurrence of seismic events around 120 km depth (Benioff zone) that could be associated with the dehydration of the Nazca plate (Chang *et al.*, 2017; Chang *et al.*, 2019). Meanwhile, to the east (~7°N), intermediate-depth seismicity is concentrated in the central zone of the Middle Magdalena Valley (MMV), where medium-sized earthquakes (5-6M) occur at depths between



**Fig. 1.-** General tectonic framework of Colombia. The Nazca and Caribbean oceanic plates subduct beneath the northwestern corner of South America at rates of 5.3-5.5 cm/year and 1.0-1.2 cm/year, respectively. The Panama-Chocó Block (PCB) collides with the Northern Andes Block (NAB) at a rate of ~2.0 cm/year; the boundaries of the PCB (outlined in pink) are defined by Suter *et al.* (2008), who classify this zone as an indenter. The relative GNSS displacements are taken from Mora-Páez *et al.* (2019).



**Fig. 2.-** Seismicity Recorded by the Colombian Geological Service between 2013 and 2017. Seismic events with varying magnitude ranges (1–7M) and depths (0–200 km) can be observed. The magenta star represents the location of the BSN.

50 and 160 km (more than 60% of the national seismicity is recorded in this area), mainly located in the BSN (Londoño *et al.*, 2019). This seismic source, centered at 6.8°N, 73.1°W, and ~150 km depth, has the highest density of intermediate-depth seismicity in the world, expressing a high proportion of seismic events ranging from low to intermediate magnitudes, corresponding to high values of the *b* parameter, the occurrence of at least one ~5M earthquake per month, high stress drops, and a wide variety of focal mechanisms (Frohlich *et al.*, 1995; Zarifi and Havskov, 2003; Zarifi *et al.*, 2007; Frohlich and Nakamura 2009; Prieto *et al.*, 2012; Prieto *et al.*, 2013).

## Data and methods

### Data

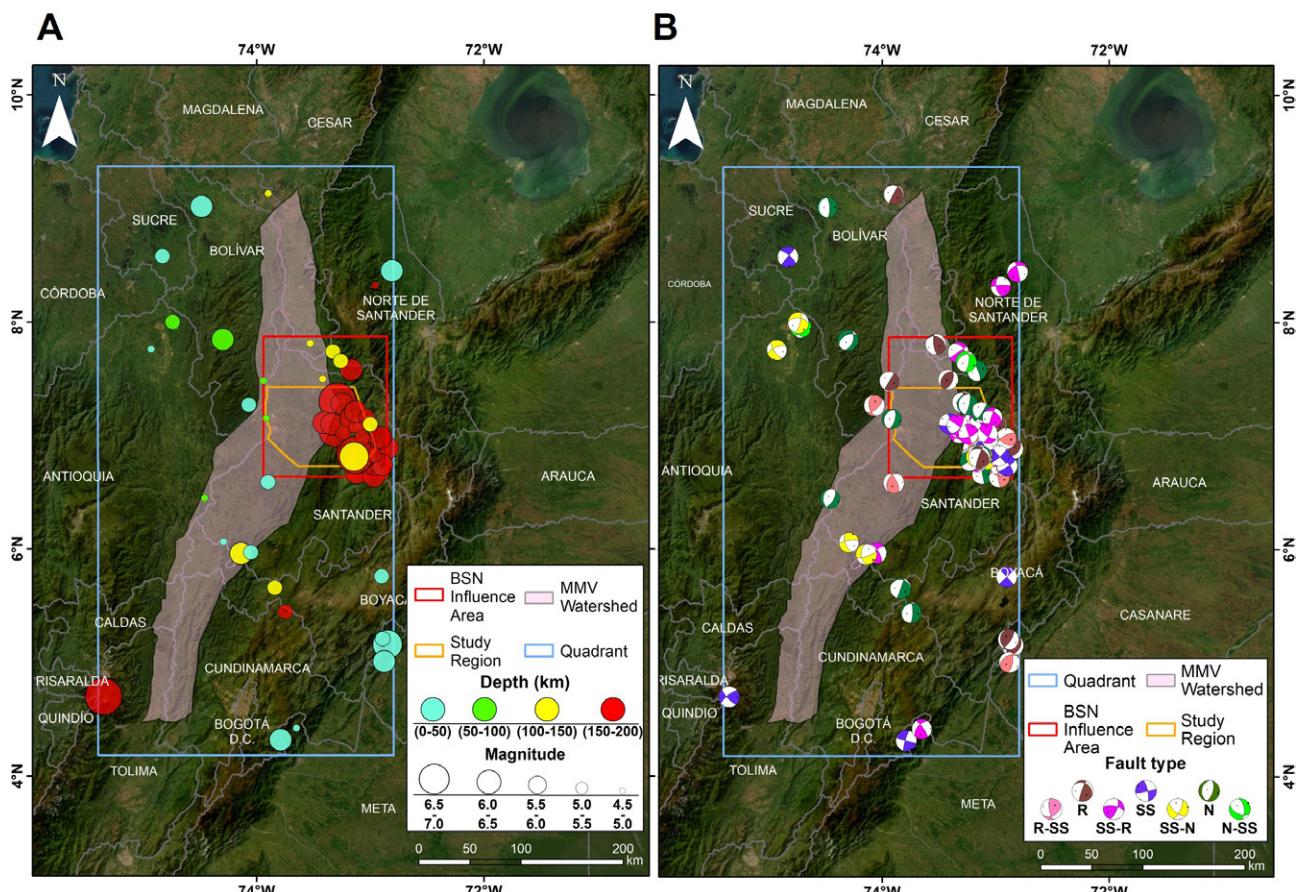
A total of 130 seismic events with focal mechanism solutions were collected from national sources such as the Colombian Geological Service (SGC), international sources like International Seismological Centre (ISC), and previous seismological studies in the study area (Cortes and Angelier, 2005; Zarifi *et al.*, 2007; Peñaranda-Arévalo, 2023). These events occurred between January 1966 and January 2024 (58 years), with magnitudes  $\geq 4.5$ Mw and depths ranging from 0 to 187 km (Fig. 3A).

The quadrant where the focal mechanisms are distributed includes the MMV region and the influence zone of the BSN (Fig. 3A-B). In this quadrant, 7 types of fault mechanisms are observed: pure strike-slip (SS), strike-slip with a reverse component (SS-R), reverse with a strike-slip component (R-SS), pure reverse (R), pure normal (N), normal with a strike-slip component (N-SS), and strike-slip with a normal component (SS-N). Additionally, out of the 130 focal mechanisms, 105 are in the influence zone of the BSN (81%; Fig. 4A), where there is a significant concentration of these mechanisms (71 events, corresponding to 67% of the BSN influence zone) between 140 and 160 km (Fig. 4B and Fig. 5A-B).

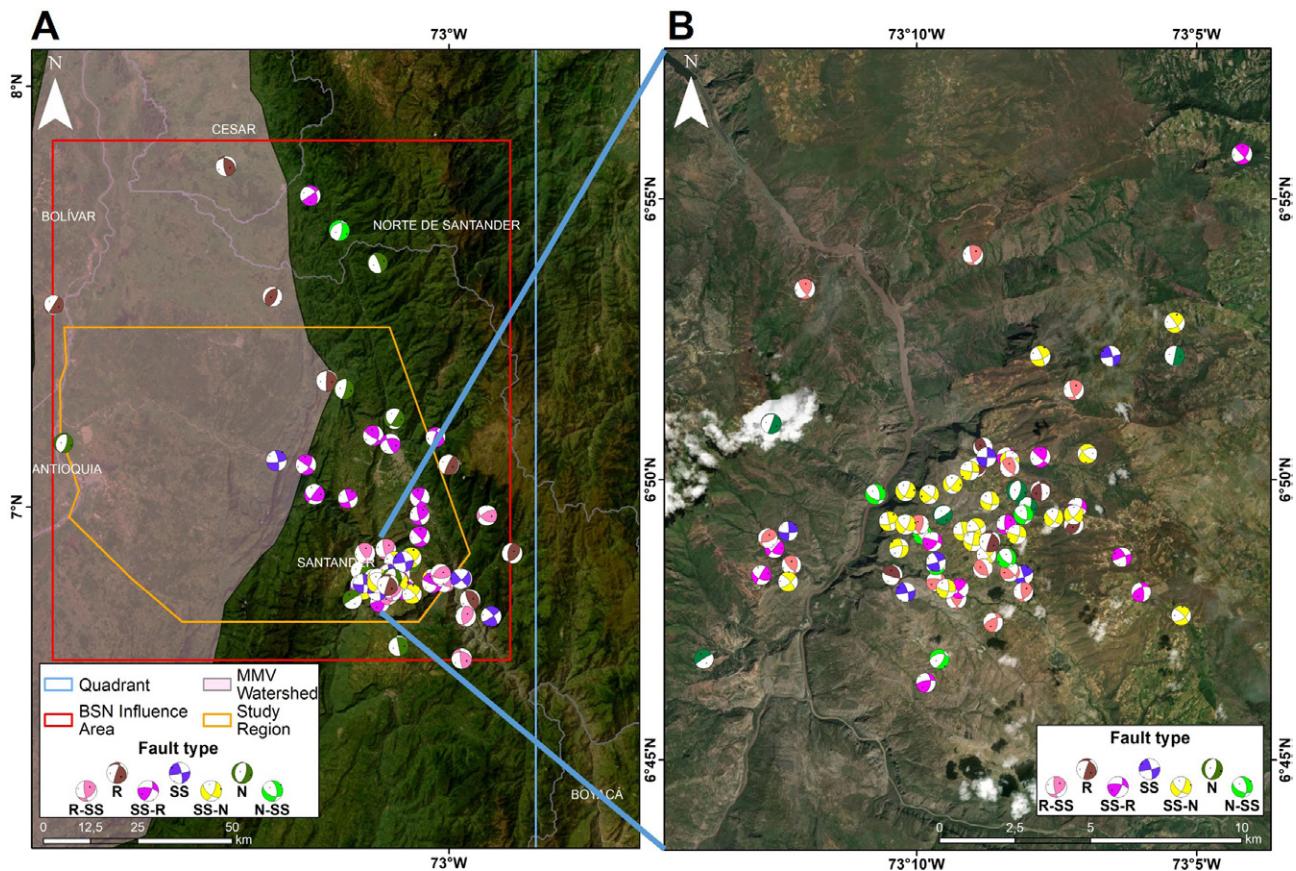
### Methods

In this seismotectonic analysis, the kinematic and dynamic regime evaluation was considered using ternary diagrams, estimation of the *b*-value, calculation of the seismic strain rate, as well as determination of stress and strain fields within the observed volume of the BSN.

To delimit the area covered by the concentration (cluster) of focal mechanisms, the Kernel density estimation method was applied (Silverman, 1986). Subsequently, the general pattern of kinematic behavior in both the influence zone and clustering of the BSN was evaluated based on ter-



**Fig. 3.-** Distribution of seismicity with focal mechanism solutions in the MMV. A) Depth and magnitude of the queried seismicity. B) Focal mechanisms. The dark blue rectangle represents the general query area of the MMV, and the red square represents the influence area of the BSN, which contains the orange polygon of the study area.



**Fig. 4.-** Distribution of focal mechanisms in the BSN. A) Zone of influence. B) Representation of focal mechanisms in the area where seismic events of the BSN are concentrated. A variety of mechanisms corresponding to 7 fault types are observed: pure strike-slip (SS), strike-slip with reverse component (SS-R), reverse with strike-slip component (R-SS), pure reverse (R), pure normal (N), normal with strike-slip component (N-SS), and strike-slip with normal component (SS-N). The classification of focal mechanisms follows the criteria established by Álvarez-Gómez (2014).

nary diagrams. These diagrams provide a practical way to represent the type of regime of a seismic source using fault mechanisms (Frohlich, 1992; Johnston *et al.*, 1994; Kavrina *et al.*, 1996; Kagan, 2005; Álvarez-Gómez, 2014).

The calculation of the b-value (Gutenberg and Richter, 1944; Gutenberg and Richter 1954; Aki, 1965) for the data sample was based on the method proposed by Utsu (1966). The importance of this parameter lies in its variation, which can be related to various physical processes such as high-temperature conditions, high heat flux, material heterogeneity in the observed medium, changes in rheology, variations in stress and strain states, as well as physical mechanisms of rupture (Frohlich, 2006; Prieto *et al.*, 2012; Barrett, 2015; Vargas, 2020).

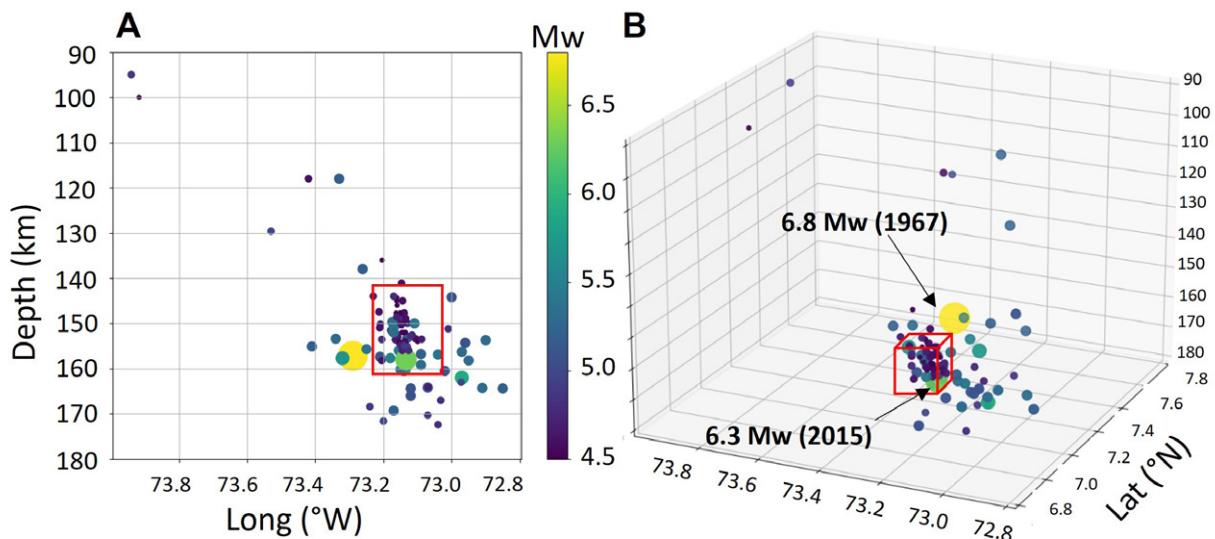
The seismotectonic deformation was determined based on the concept of seismic rock flow (Riznichenko, 1965a, Riznichenko, 1965b; Kostrov, 1974). The kinematic parameters of the seismic focal mechanism are generally correlated with the direction of the deformation axes (tensor) determined within a deformed volume. The Seismotectonic Deformation Tensor (SDT) is given by the following expression:

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2\mu VT} \sum_{n=1}^N M_{ij}^n \quad (1)$$

Where:  $\varepsilon_{ij}$  represents the seismotectonic deformation tensor,  $M_{ij}$  denotes the components of the seismic moment tensor,  $V$  corresponds to the volume of the study area,  $T$  is the duration of seismic deformation, and  $\mu$  is the rigidity modulus of the seismotectonic medium or environment.

Therefore, the SDT in a region can be calculated from the sum of the seismic moment components ( $M_{ij}$ ) of a set of events within a seismically active volume ( $V$ ), using a medium rigidity value ( $\mu = 0.75 \times 10^{11}$  Pa; Frohlich *et al.*, 1995) over an observation period ( $T$ ). In this case, the SDT of the cluster was determined, where the majority of the focal mechanisms of the NSB (67%) are concentrated over a period of  $T = 45$  years (1979-2024), within a depth range of 140 km to 160 km ( $h = 20$  km). The volume of the cluster is  $6283 \text{ km}^3$  (cylinder  $V = \pi r^2 h; r = 10 \text{ km}$ ).

The linear inversion method by Michael (1984), implemented in the StressInverse (Vavryčuk, 2014), was employed to calculate the stress field. By inverting the basic orientation parameters of fault planes from focal mechanism solutions (strike, dip, and rake), four parameters are obtained: the principal stress axes  $\sigma_1$  (maximum compression),  $\sigma_2$  (intermediate compression),  $\sigma_3$  (minimum compression) and the shape factor  $R = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)$ . This factor measures the relative magnitude of the principal stresses and indicates the type of tectonic regime that could be present (Delvaux *et al.*, 1995; Delvaux *et al.*, 1997; Ali, *et al.*, 2021).



**Fig. 5.-** Depth distribution of seismicity in the BSN. A) 2D seismicity distribution. B) 3D seismicity distribution. Events are concentrated between 140 km and 160 km (5A). Two high-intensity earthquakes are visible (5B), with the 2015 event documented by Poli et al. (2016).

The values of  $R$  range between 0 and 1; for values around 0.5, the stress tensor is stable, whereas at the extremes, approaching 0 or 1, the tensor is unstable, and stress permutation can occur. To express the relationship and resulting stress regime more clearly, the  $R'$  index was used (Delvaux *et al.*, 1997), which ranges from 0 to 3;  $R' = R$  when  $\sigma_1$  is vertical (extensional regime),  $R' = 2 - R$  when  $\sigma_2$  is vertical (strike-slip regime), and  $R' = 2 + R$  when  $\sigma_3$  is vertical (compressive regime). The deformation field is considered as a composite mechanism resulting from the averaging of a set of representative faults; this was estimated using the WinTensor (Delvaux and Sperner, 2003; Delvaux and Barth, 2010).

## Results

### Kernel density map and ternary diagrams

A kernel density map was generated to delimit the cluster of the BSN, centered at  $6.8^\circ\text{N}$  and  $-73.1^\circ\text{W}$ . Within this cluster, there are 71 events within a 10 km radius (Fig. 6). The ternary diagrams display the number of mechanisms by fault type (in percentage) for both the area of influence of the BSN (Fig. 7A) and the clustering (Fig. 7B). Specifically, for this cluster, the number of mechanisms by fault type is: 6 (SS), 11 (SS-R), 13 (R-SS), 6 (R), 6 (N), 6 (N-SS) and 23 (SS-N), with the latter being the dominant fault type (see Fig. 7B and yellow beach balls in Fig. 4B).

### *b*-Value

The *b*-value obtained from the data of the influence zone and clustering BSN are shown in Table 1.

BSN	<b>b</b>	Standard Deviation
Influence zone	1.01	0.10
Cluster	1.42	0.17

**Table 1.-** Estimated *b* value in this study for the BSN.

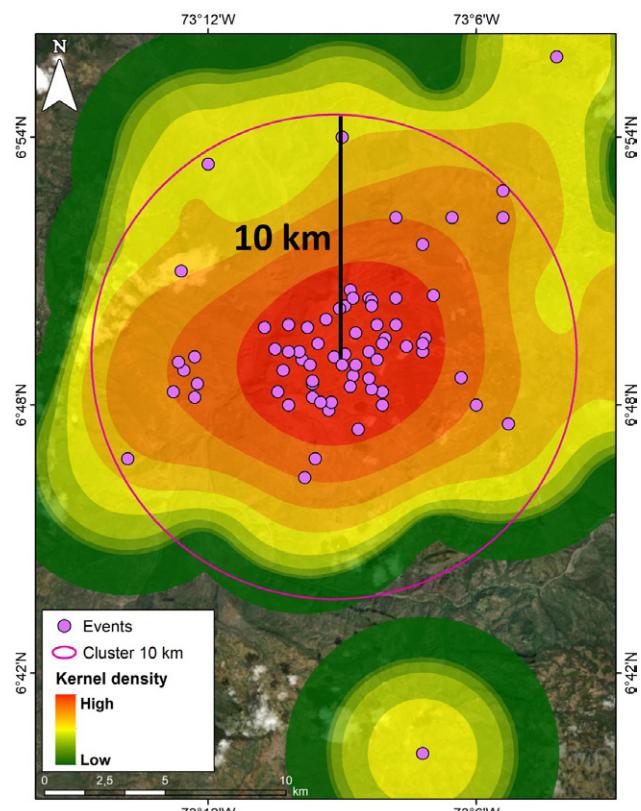
### Seismic deformation

The seismic moment tensor is expressed as follows:

$$M_{ij} = \begin{bmatrix} -4.52 & 0.68 & 6.34 \\ 0.68 & -3.56 & -0.11 \\ 6.34 & -0.11 & 8.09 \end{bmatrix} * 10^{20} \text{ N} \cdot \text{m} \quad (2)$$

From the combination of (1) and (2), it follows that TDS is:

$$\varepsilon_{ij} = \begin{bmatrix} -1.09 & 0.16 & -1.53 \\ 0.16 & -0.86 & -0.03 \\ 1.53 & -0.03 & 1.95 \end{bmatrix} * 10^{-5} / \text{year} \quad (3)$$



**Fig. 6.-** Kernel density map. The black line in the middle schematically indicates the 10 km radius length.

The eigenvalues of (3) are:

$$U = \begin{bmatrix} -1.8 \\ -0.8 \end{bmatrix} * 10^{-5} / \text{year} \quad (4)$$

The eigenvalues of  $U$  (in absolute magnitudes) are the principal components ( $x^0, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ ) in their respective directions ( $x, y, z$ ) within the analyzed volume; where ( $x$ ) is in the north direction, ( $y$ ) in the eastward direction, and ( $z$ ) in the vertical direction toward the center of the Earth.

Thus, the maximum deformation is  $2.6 * 10^{-5} / \text{year}$  (in the vertical direction  $z$ ), which results in a relative velocity of 52 cm/year ( $v = h\varepsilon_3$ ; where  $h$  is the thickness of the volume). On the other hand, the basis for the reported deformation values in this study is close to those estimated by Frohlich *et al.* (1995) for the BSN, ranging between  $10^{-6} / \text{year}$  and  $10^{-4} / \text{year}$  (analysis conducted in the depth range of 140 km to 180 km with 26 focal mechanisms contrasting with values calculated by Corredor (2003) of the order of  $10^{-10} / \text{year}$  for the Maracaibo Block, which is an area adjacent to the BSN (analysis conducted with 23 shallow crustal events at depths  $h \leq 40$  km).

#### Stress and deformation field

The Fig. 8 shows the result of the inversion of the focal mechanisms of the BSN.

$$\sigma_1 = 23/309, \sigma_2 = 17/211, \sigma_3 = 60/88 \\ R = 0.91 \text{ y } R' = 2.91$$

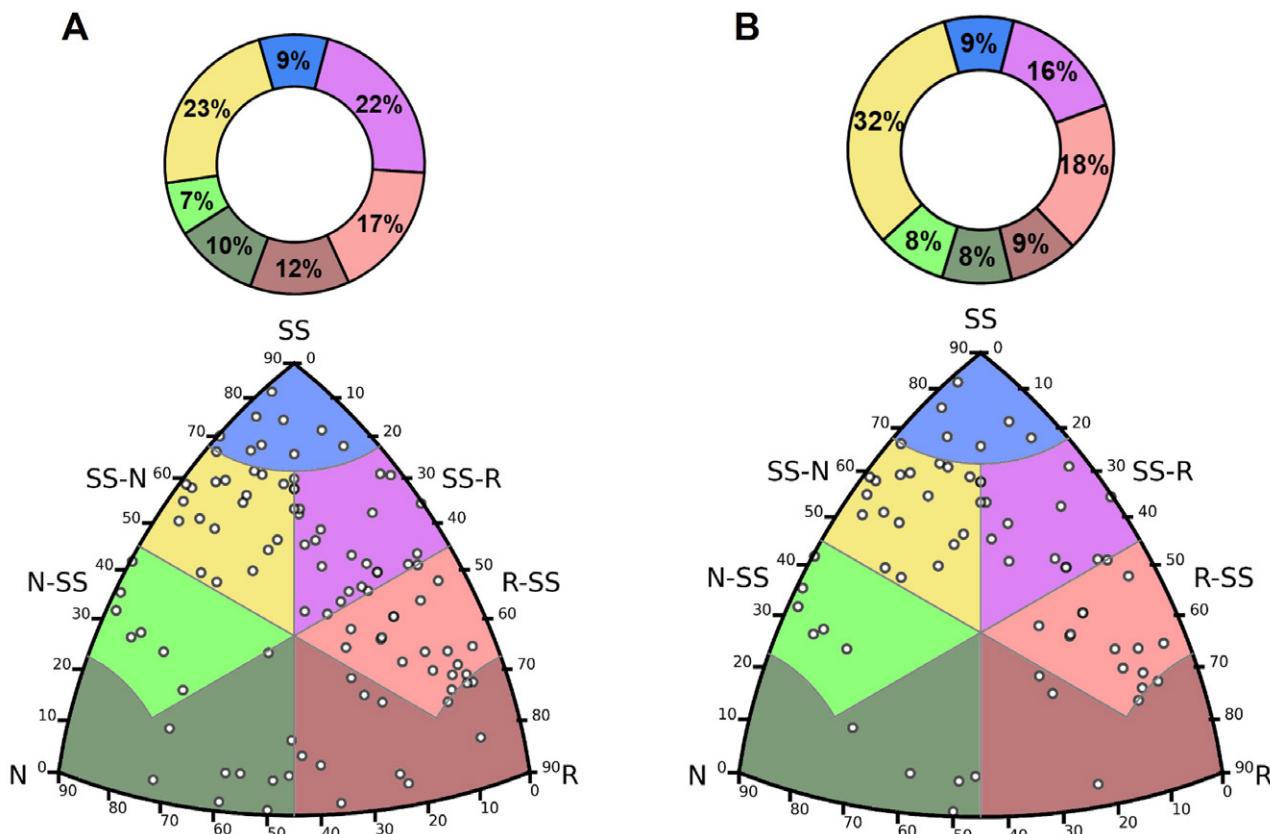


Fig. 7.- Distribution and classification of BSN event ruptures on Ternary Diagrams. A) BSN influence zone. B) BSN cluster.

The stress field was also discretized to observe its behavior with respect to depth (Fig. 9 and Table 2).

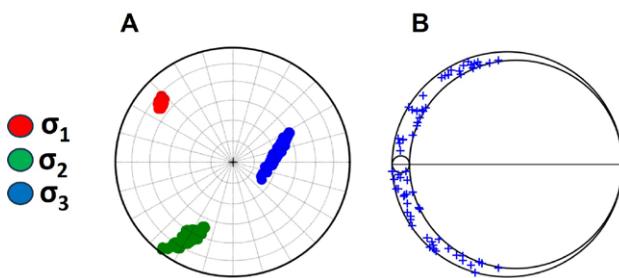
A complex stress regime with respect to Depth is evidenced (Fig. 9 and Table 2); from 140-145 km in the BSN, there is a compressive regime with relative stability (Fig. 9A and 9E). Between 145 and 155 km, the regime is unstable (Fig. 9B-C-F-G). Finally, at 155-160 km, there is again a compressive regime that could transition to a strike-slip regime (Fig. 9D and 9H; permutation between  $\sigma_2$  and  $\sigma_3$ ).

The composite focal mechanism calculated for the BSN represents a deformation field responding to a strike-slip fault with a normal component (SS-N; Fig. 10).

#### Discussion

The total stress field of the BSN is compressive (Fig. 8), and when discretized by depth range, it is observed that in the last 5 km (155-160 km), at the base of the BSN, the behavior is similar (Fig. 9D). Mohr's circles show that the compressive regime could transition to a strike-slip regime (permutation between  $\sigma_2$  and  $\sigma_3$ ; Fig. 8B and Fig. 9F-G-H). This is related to the ternary diagram of the BSN (Fig. 7), where both transtension and transpression are observed. There is a significant presence of strike-slip faults in all combinations of focal mechanisms, at least 70%.

Therefore, while the stress field affecting the BSN is compressive, the deformation primarily responds to a normal fault with a strike-slip component (Fig. 10). The calculated  $b$ -value of 1-1.4 (Table 1) specifically relates to



**Fig. 8.-** Dynamic field of the BSN. A) Total stress field of the BSN (in terms of plunge/azimuth). B) Mohr's circle.

this tectonic context (Schorlemmer *et al.*, 2005; Petruccielli *et al.*, 2019) and fits within the range ( $1 \leq b \leq 2$ ) estimated by other authors for this source and its vicinity (Frohlich *et al.*, 1995; Zarifi and Havskov, 2003; Frohlich and Nakamura, 2009; Prieto *et al.*, 2012; Londoño *et al.*, 2019; Vargas, 2020). Temperature is considered a determining factor for fracturing at intermediate seismic depths; thus, the physical mechanism of thermal shear runaway is suitable to explain fault activation in the BSN, as evidenced by Prieto *et al.* (2013).

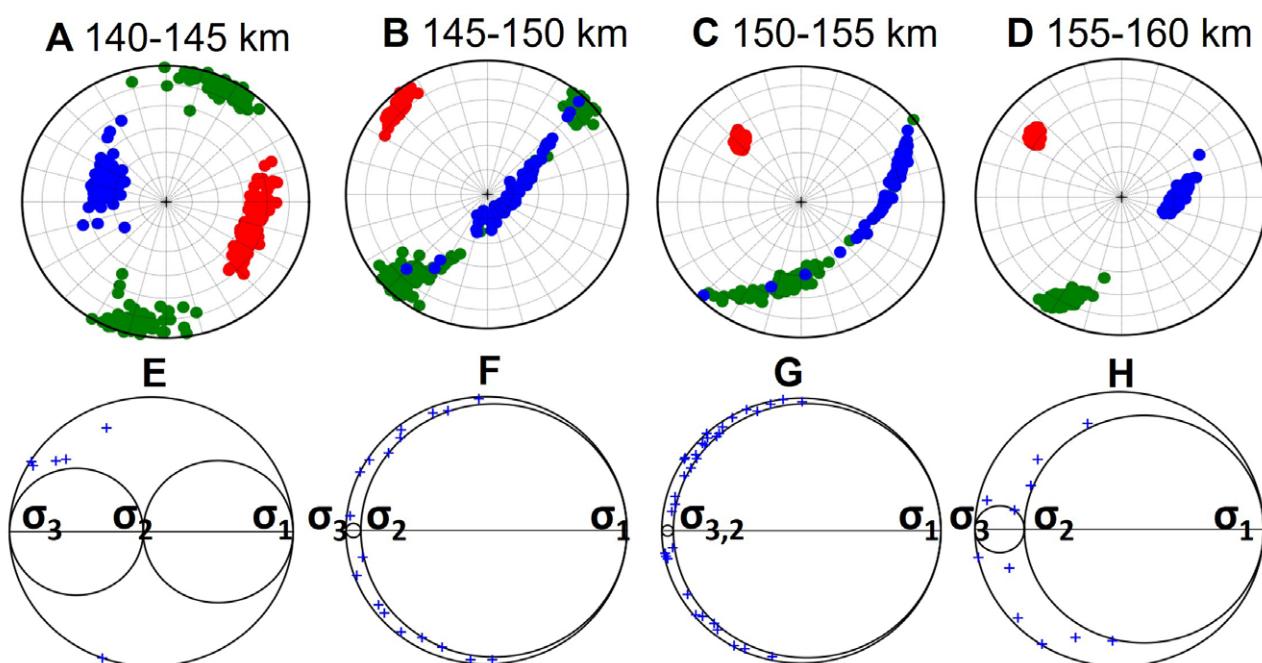
In general, the BSN experiences high deformation (on the order  $10^{-5}$ /year), with its maximum value in the vertical component ( $z$ ;  $\varepsilon_z = 2.6 \times 10^{-5}$  per year), exhibiting a relative deformation rate of 52 cm/year within the evaluated volume. This rate is comparable to values ranging from 23 to 54 cm/year, which have been estimated for the ascent velocity of magmatic plumes at approximately 200 km depth (Turcotte and Schubert, 2014; Arnould *et al.*, 2020). Considering that the clustering of the BSN occurs between 140 and 160 km depth, it is suggested not to rule out the possibility that the seismic activity of this source could be

potentially related to a geophysical anomaly resulting from convective processes.

Furthermore, given the significant occurrence of seismicity in the BSN ranging from small magnitudes ( $<2$ M and at least two earthquakes of  $\sim 4$ M per month) to large events ( $\sim 6$ M), occurring between 100 and 200 km depth (Prieto *et al.*, 2012), where the medium is presumed to be viscoplastic (low-velocity zone with temperatures  $>1000^\circ\text{C}$ ; Zaccagnino and Doglioni, 2022), it leads us to consider the possibility that there may be portions or fragments of partially solidified material (interacting within the mantle), experiencing an increase in differential stresses. However, what would be the origin of rocky material at these depths?

Lowrie and Fichtner (2020) propose that at depths between 100 and 200 km, there is an abundant presence of ductile silicate materials in solid state, partially or fully molten, which facilitate the movement of the rock material in the upper part of the mantle. At the same time, temperature and pressure can induce significant changes in the density and viscosity of the asthenospheric material. Despite the compositional differences between this zone and the crust, it can be considered that the composition of the materials at these depths is constant. At these conditions, due to the high temperature and relatively low pressure, large stresses are not required to achieve a certain degree non-brittle deformation. Consequently, this is a regime of plastic or viscoelastic flow, where stresses are primarily controlled by thermal activity processes.

It is possible that millions of years ago, there was a detachment of the lower part of the continental lithosphere which descended to approximately 150 km, becoming an anomalous body (high-density eclogitic drip, low poros-



**Fig. 9.-** Behavior of the BSN stress field with respect to Depth (between 140 and 160 km). The upper part (first row: A, B, C, and D;  $\sigma_1$  in red,  $\sigma_2$  in green, and  $\sigma_3$  in blue) shows the stress field by depth range (every 5 km), and the lower part (second row: E, F, G, and H) displays the corresponding Mohr's circles.

Akm	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_3$	R	R'	Observation
140-145	38/109	1/199	52/290	0.5	2.50	Compressive regime relatively stable
145-150	11/312	10/220	75/88	0.9	2.9	Unstable (overlap between $\sigma_2$ and $\sigma_3$ )
150-155	36/317	27/206	42/82	0.9	2.9	Unstable (overlap between $\sigma_2$ and $\sigma_3$ )
155-160	26/307	18/208	57/88	0.8	2.80	Compressive regime susceptible to transitioning to strike-slip regime (permutation between $\sigma_2$ and $\sigma_3$ )

**Table 2.-** Depth variation of principal stresses (Plunge/Azimuth) and Regime (R).

ity, and permeability) as proposed by Pérez-Forero *et al.* (2023). The presence of ultramafic rock material at these depths has been documented (Ringwood, 1991; Zaccagnino and Doglioni, 2022), consisting mainly of olivine (~51%), pyroxenes (~26% orthopyroxene and 11% clinopyroxene), and to a lesser extent, garnet (~9%). In the BSN, during the rupture process for earthquakes of 4-5Mw, there is a need for a temperature increase of 600-1000 °C (Prieto *et al.*, 2013), a range that includes, for example, the melting point of olivine and pyroxene ~1000 °C (Zaccagnino and Doglioni, 2022). This could provide further evidence supporting fracturing due to thermal shear runaway as a mechanism for intermediate-depth seismicity.

According to Wang (2016), Ben Ismaïl and Mainprice (1998), Karato *et al.* (2008), Bürgmann and Dresen (2008), the high seismicity observes in the vicinity of the BSN can be attributed to deformation mechanisms and olivine production processes that control the rheological behavior and seismic anisotropy of the upper mantle. In this context, dislocation creep and diffusion creep are the mechanisms that characterize olivine deformation (Wang *et al.*, 2018). These deformation mechanisms can operate simultaneously, but the dominant one governs the strain rate and olivine fabric.

The diffusion mechanism of olivine results from the accumulation of deformation in heated materials over extended periods. This process is governed by Fick's Law (Karato, 2008), which relates the mass flux diffused within a medium to the gradient of concentrations or pressures. As observed in the BSN, this leads to conditional deformation (Riznichenko, 1992), where stresses and strains reach their maximum values. This deformation mechanism tends to diffuse from regions of higher concentration, resembling the seismicity observed in the seismic region of the BSN. This phenomenon constitutes the seismic rock

flow (Riznichenko, 1992; Kostrov, 1974; Kostrov and Das, 1988), whose maximum contribution arises from numerous small seismic events occurring in the region (Klyuchevskii and Dem'yanovich, 2015). The concept of seismic rock flow has been applied in this study to the NSB, revealing that the increase in the number of seismic events is concentrated in a small volume, where maximum stresses and absolute seismotectonic displacements occur.

The complexity in understanding the seismic source of the BSN is reflected in various studies conducted to date, where there is limited correlation between results and interpretations regarding its seismotectonic analysis (Schneider *et al.*, 1987; Frohlich *et al.*, 1995; Corredor, 2003; Cortés and Angelier, 2005; Zarifi *et al.*, 2007; Londoño *et al.*, 2019; Peñaranda-Arévalo, 2023). However, the accumulated knowledge of this natural phenomenon thus far represents a valuable starting point. The BSN serves as an intriguing geophysical laboratory that should continue to be studied in the future with a multidisciplinary approach (e.g., potentially including deep magnetotelluric exploration) to enhance our understanding and contribute to the broader comprehension of Earth dynamics.

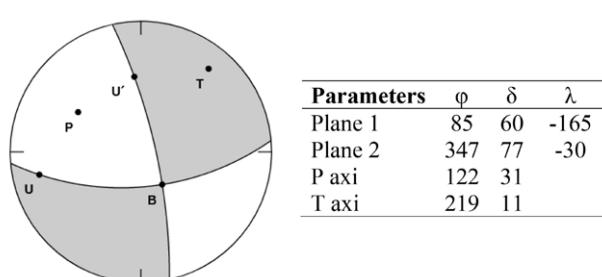
## Conclusions

It is suggested that the activity of the BSN could be associated with the fracturing of ultramafic rocks (partially melted), whose rupture mechanism is due to thermal shear runaway. Additionally, it is also suggested not to discount the possibility of interaction between the BSN and anomalies resulting from convective processes (e.g., mantle plumes). On the other hand, based on the results obtained, the total stress field of the BSN is compressive and susceptible to transitioning to a transcurrent stress regime (stress permutation), where the medium deformation primarily responds to a strike-slip fault with an extensional component.

The concept of seismic rock flow, applied to the BSN region, confirms the strong concentration of small seismic events, where maximum stresses and absolute seismotectonic displacements occur. This is can also attributed to the deformation and olivine production mechanism that govern the rheological behavior and seismic anisotropy of the upper mantle. The high temperature and relatively low pressure in this zone facilitate non-brittle deformation, where stresses are generally controlled by thermal activity.

## Acknowledgments and funding

We sincerely thank Dr. Stephen Johnston and the other anonymous reviewer for their constructive comments that have helped to improve the content of this paper. This Works received support from project 110287780668 titled "Seismotectonic model of the central-eastern region of the Middle Magdalena Valley as input to the knowledge of exploration and development models of hydrocarbon fields", funded through agreement 785-2019 between the National Hydrocarbons Agency, MINCIENCIAS and the Francisco José de Caldas Fund. The authors of this work thank the participating public and private entities (Industri-



**Fig. 10.-** Deformation field of the BSN.

al University of Santander, University of Valle, University of Pamplona, Colombian Association of Petroleum Geologists and Geophysicists, and Geofising S.A.S.), which, through contract 166 of 2021 signed with MINCIENCIAS and the partnership agreement therein, enabled the execution of this project. Additionally, we acknowledge the Vice Presidency of Research at the University of Valle, which through project CI 4425, supported the GEORIESGOS research group of the Seismological and Geophysical Observatory of Southwest Colombia (OSSO) in carrying out and completing these activities.

## Author contributions

Work development, J.L.P. and E.S.; methodology, J.L.P. and E.S., data collection, J.L.P., J.F.C., C.A.C. and N.G.M.; figures, J.L.P.; research/analysis, J.L.P. and E.S.; manuscript review, J.L.P. and E.S.

## References

- Aki, K., 1965. Maximum likelihood estimates of  $b$  in the formula  $\log N = a - bM$  and its confidence limits, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 43, 237-239.
- Ali, S.M., Abdelrahman, K., Al-Otaibi, N., 2021. Tectonic stress regime and stress patterns from the inversion of earthquake focal mechanisms in NW Himalaya and surrounding regions. *Journal of King Saud University-Science*, 33(2), 101351. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101351>
- Álvarez-Gómez, J.A., 2014. FMC: a one-liner Python program to manage, classify and plot focal mechanisms. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 16.
- Arnould, M., Coltice, N., Flament, N., Mallard, C., 2020. Plate tectonics and mantle controls on plume dynamics. *Earth and Planetary Science Letters*, 547, 116439. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2020.116439>
- Barrett, S.A., 2015. Seismological Constraints on the Mechanics of Intermediate-depth Earthquakes in the Bucaramanga Nest (Doctoral dissertation, Stanford University).
- Ben Ismaïl, W., Mainprice, D., 1998. An olivine fabric database: An overview of upper mantle fabrics and seismic anisotropy. *Tectonophysics*, 296(1-2), 145-157. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(98\)00141-3](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(98)00141-3)
- Bürgmann, R., Dresen, G., 2008. Rheology of the lower crust and upper mantle: Evidence from rock mechanics, geodesy, and field observations. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 36(1), 531-567. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.36.031207.124326>
- Chang, Y., Warren, L.M., Prieto, G.A., 2017. Precise locations for intermediate-depth earthquakes in the Cauca cluster, Colombia. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 107(6):2649-2663. <https://doi.org/10.1785/0120170127>
- Chang, Y., Warren, L., Zhu, L., Prieto, G.A., 2019. Earthquake focal mechanisms and stress field for the intermediate-depth Cauca cluster, Colombia. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 124(1):822-836. <https://doi.org/10.1029/2018JB016804>
- Chiarabba, C., De Gori, P., Faccenna, C., Speranza, F., Seccia, D., Dionicio, V., Prieto, G.A., 2015. Subduction system and flat slab beneath the Eastern Cordillera of Colombia. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 17(1), 16-27. <https://doi.org/10.1002/2015GC006048>
- Cornthwaite, J., Bezada, M.J., Miao, W., Schmitz, M., Prieto, G.A., Dionicio, V., Levander, A., 2021. Caribbean slab segmentation beneath northwest South America revealed by 3-D finite frequency teleseismic P-wave tomography. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 22(4). <https://doi.org/10.1029/2020GC009431>
- Corredor, F., 2003. Seismic strain rates and distributed continental deformation in the northern Andes and three-dimensional seismotectonics of northwestern South America. *Tectonophysics*, 372(3-4), 147-166. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(03\)00276-2](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(03)00276-2)
- Cortés, M., Angelier, J., 2005. Current states of stress in the northern Andes as indicated by focal mechanisms of earthquakes. *Tectonophysics*, 403(1-4), 29-58. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2005.03.020>
- Delvaux, D., Moeyns, R., Stapel, G., Melnikov, A., Ermikov, V., 1995. Palaeostress reconstructions and geodynamics of the Baikal region, Central Asia, Part I. Palaeozoic and Mesozoic pre-rift evolution. *Tectonophysics*, 252(1-4), 61-101. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(95\)80021-0](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(95)80021-0)
- Delvaux, D., Moeyns, R., Stapel, G., Petit, C., Levi, K., Miroshnichenko, A., San'kov, V., 1997. Paleostress reconstructions and geodynamics of the Baikal region, central Asia, Part 2. Cenozoic rifting. *Tectonophysics*, 282(1-4), 1-38. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(97\)00210-2](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(97)00210-2)
- Delvaux, D., Sperner, B., 2003. New aspects of tectonic stress inversion with reference to the Tensor program. *Geol Soc London Spec Publ*, 212:75-100. <https://doi.org/10.1146/GSL.SP.2003.212.01.06>
- Delvaux, D., Barth, A., 2010. African stress pattern from formal inversion of focal mechanism data. *Tectonophysics* 482:105-128. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2009.05.009>
- Frohlich, C., 1992. Triangle diagrams: ternary graphs to display similarity and diversity of earthquake focal mechanisms. *Physics of the Earth and Planetary interiors*, 75(1-3), 193-198. [https://doi.org/10.1016/0031-9201\(92\)90130-N](https://doi.org/10.1016/0031-9201(92)90130-N)
- Frohlich, C., 2006. Deep earthquakes. *Institute for Geophysics, Jackson School of Geosciences University of Texas at Austin*. 592p. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107297562>
- Frohlich, C., Kadinsky-Cade, K., Davis, S.D., 1995. A reexamination of the Bucaramanga, Colombia, earthquake nest. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 85(6), 1622-1634.
- Frohlich, C., Nakamura, Y., 2009. The physical mechanisms of deep moonquakes and intermediate-depth earthquakes: How similar and how different? *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 173(3-4), 365-374. <https://doi.org/10.1016/j.pepi.2009.02.004>
- Garcia-Delgado, H., Velandia, F., Bermúdez, M.A., Audemard, F., 2022. The present-day tectonic regimes of the Colombian Andes and the role of slab geometry in intraplate seismicity. *International Journal of Earth Sciences*, 111(7), 2081-2099. <https://doi.org/10.1007/s00531-022-02227-9>
- Gutenberg, B., Richter, C.F., 1944. Frequency of earthquakes in California. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 34 (4): 185-188. <https://doi.org/10.1785/BSSA0340040185>
- Gutenberg, B., Richter, C.F., 1954. Magnitude and energy of earthquakes, *Ann. Geofis.*, 9, 1-15. <https://doi.org/10.4401/ag-5590>
- Johnston, A.C., Kanter, L.R., Coppersmith, K.J., Cornell, C.A., 1994. The earthquakes of stable continental regions. Volume 1, Assessment of large earthquake potential, Final report No. EPRI-TR-102261-V1. United States: N. Web. <https://www.epricommunity.org/research/products/TR-102261-V1>
- Kagan, Y.Y., 2005. Double-couple earthquake focal mechanism: random rotation and display. *Geophysical Journal International* 163, 1065-1072. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2005.02781.x>

- Karato, S.I., 2008. Deformation of Earth Materials. An Introduction to the Rheology of Solid Earth. 463 p. <https://doi.org/10.1017/S0016756809006323>
- Karato, S.I., Jung, H., Katayama, I., Skemer, P., 2008. Geodynamic significance of seismic anisotropy of the upper mantle: New insights from laboratory studies. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 36(1), 59-95. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.36.031207.124120>
- Kaverina, A.N., Lander, A.V., Prozorov, A.G., 1996. Global creepex distribution and its relation to earthquake-source geometry and tectonic origin. *Geophysical Journal International* 125 (1), 249-265. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1996.tb06549.x>
- Klyuchevskii, A.V., Dem'yanovich, V.M., 2015. The 3D seismotectonic flow of geological masses in the lithosphere of the Baikal Rift Zone. *Journal of Volcanology and Seismology*, 9, 48-64. <https://doi.org/10.1134/S0742046315010042>
- Kostrov, B.V., 1974. Seismic moment and energy of earthquakes and seismic flow of rock. *Izv. Acad. Sci. USSR Earth Phys.* 1, 23-44.
- Kostrov, B.V., Das, S., 1988. Principles of earthquake source mechanics. Cambridge University Press. 286 p.
- Londoño, J.M., Quintero, S., Vallejo, K., Muñoz, F., Romero, J., 2019. Seismicity of Valle Medio del Magdalena basin, Colombia. *Journal of South American Earth Sciences*, 92, 565-585. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2019.04.003>
- Londoño, J.M., Vallejo, K., Quintero, S., 2020. Detailed seismic velocity structure of the Caribbean and Nazca Plates beneath Valle Medio del Magdalena region of NE Colombia. *Journal of South American Earth Sciences*, 103, 102762. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102762>
- Lowrie, W., Fichtner, A., 2020. Fundamentals of geophysics. Cambridge University Press. 419 p. <https://doi.org/10.1017/9781108685917>
- Martínez-Jaramillo, D., Prieto, G.A., 2024. Tectonic setting of the northwestern andes Constrained by a high-resolution earthquake catalog: Block Kinematics. *Journal of South American Earth Sciences*, 134, 104761. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104761>
- Michael, A.J., 1984. Determination of stress from slip data: faults and folds. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 89 (B13):11517-11526. <https://doi.org/10.1029/JB089iB13p11517>
- Mora-Páez, H., Kellogg, J.N., Freymueller, J.T., Mencin, D., Fernandes, R.M., Diederix, H., Corchuelo-Cuervo, Y., 2019. Crustal deformation in the northern Andes—A new GPS velocity field. *Journal of South American Earth Sciences*, 89, 76-91. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2018.11.002>
- Mora-Páez, H., Kellogg, J.N., Freymueller, J.T., Gómez, J., Pinilla-Pachon, A.O., 2020. Contributions of space geodesy for geodynamic studies in Colombia: 1988 to 2017. *The Geology of Colombia*, 4, 479-498. <https://doi.org/10.32685/pub.esp.38.2019.14>
- Nowroozi, A.A., 1971. Seismotectonics of the Persian plateau, eastern Turkey, Caucasus, and Hindu-Kush regions, *Bullet. Seism. Soc. Am.*, 61, (2), 317-341.
- Peñaranda, A.W.E., 2023. Inversión del tensor de momentos de eventos pertenecientes al nido sísmico de Bucaramanga utilizando datos regionales. (Tesis de Maestría). Universidad Industrial de Santander. Colombia. <https://noesis.uis.edu.co/handle/20.500.14071/14409>
- Pennington, W.D., 1981. Subduction of the eastern Panama Basin and seismotectonics of northwestern South America. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 86(B11), 10753-10770. <https://doi.org/10.1029/JB086iB11p10753>
- Pérez-Forero, D., Koulakov, I., Vargas, C.A., Gerya, T., Al Arifi, N., 2023. Lithospheric delamination as the driving mechanism of intermediate-depth seismicity in the Bucaramanga Nest, Colombia. *Scientific Reports*, 13(1), 23084. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-50159-4>
- Petrucelli, A., Schorlemmer, D., Tormann, T., Rinaldi, A.P., Wiemer, S., Gasperini, P., Vannucci, G., 2019. The influence of faulting style on the size-distribution of global earthquakes. *Earth and Planetary Science Letters*, 527, 115791. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2019.115791>
- Poli, P., Prieto, G.A., Yu, C.Q., Florez, M., Agurto-Detzel, H., Mikesell, T.D., Pedraza, P., 2016. Complex rupture of the M 6.3 2015 March 10 Bucaramanga earthquake: Evidence of strong weakening process. *Geophysical Journal International*, 205(2), 988-994. <https://doi.org/10.1093/gji/ggw065>
- Poveda, E., Monsalve, G., Vargas, C.A., 2015. Receiver functions and crustal structure of the northwestern Andean region, Colombia. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 120(4), 2408-2425. <https://doi.org/10.1002/2014JB011304>
- Prieto, G.A., Beroza, G.C., Barrett, S.A., López, G.A., Florez, M., 2012. Earthquake nests as natural laboratories for the study of intermediate-depth earthquake mechanics. *Tectonophysics*, 570, 42-56. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2012.07.019>
- Prieto, G.A., Florez, M., Barrett, S.A., Beroza, G.C., Pedraza, P., Blanco, J.F., Poveda, E., 2013. Seismic evidence for thermal runaway during intermediate-depth earthquake rupture. *Geophysical Research Letters*, 40(23), 6064-6068. <https://doi.org/10.1002/2013GL058109>
- Ringwood, A.E., 1991. Phase transformations and their bearing on the constitution and dynamics of the mantle. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 55(8), 2083-2110. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(91\)90090-R](https://doi.org/10.1016/0016-7037(91)90090-R)
- Riznichenko, Yu.V., 1965a. Seismic rock flow, in: *Dinamika zemnoi kory* (Dynamics of the Earth's Crust). Nauka, Moscow, 56–63 (in Russian).
- Riznichenko, Yu.V., 1965b. Relationship between the seismic flow of the rock mass and seismicity. *Report of the Academy of Sciences of the USSR*, 161(1), 97-99 (in Russian).
- Riznichenko, Yu.V., 1992. Problems of seismology: selected papers. Mir Publishers. 462 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-09446-4>
- Sánchez, J., Götze, H.J., Schmitz, M., 2011. A 3-D lithospheric model of the Caribbean-South American plate boundary. *International Journal of Earth Sciences*, 100, 1697-1712. <https://doi.org/10.1007/s00531-010-0600-8>
- Schneider, J.F., Pennington, W.D., Meyer, R.P., 1987. Microseismicity and focal mechanisms of the intermediate-depth Bucaramanga Nest, Colombia. *Journal of Geophysical Research* 92, 13913-13926. <https://doi.org/10.1029/JB092iB13p13913>
- Schorlemmer, D., Wiemer, S., Wyss, M., 2005. Variations in earthquake-size distribution across different stress regimes. *Nature* 437, 539-542. <https://doi.org/10.1038/nature04094>
- Silverman, B.W. 1986. Density estimation for statistics and data analysis. In: *Monographs on Statistics and Applied Probability* 26. Chapman and Hall, London. 177 p.
- Suter, F., Sartori, M., Neuerth, R., Gorin, G., 2008. Structural imprints at the front of the Chocó-Panamá indenter: Field data from the North Cauca Valley Basin, Central Colombia. *Tectonophysics*, 460(1-4), 134-157. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2008.07.015>
- Syracuse, E.M., Maceira, M., Prieto, G.A., Zhang, H., Ammon, C.J., 2016. Multiple plates subducting beneath Colombia, as illuminated by seismicity and velocity from the joint inversion of seismic and gravity data. *Earth and Planetary Science Letters*, 444, 139-149.

- <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2016.03.050>
- Taboada, A., Rivera, L.A., Fuenzalida, A., Cisternas, A., Philip, H., Bijwaard, H., Rivera, C., 2000. Geodynamics of the northern Andes: Subductions and intracontinental deformation (Colombia). *Tectonics*, 19(5), 787-813.  
<https://doi.org/10.1029/2000TC900004>
- Turcotte, D., Schubert, G., 2014. Geodynamics. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511843877>
- Utsu, T., 1966. A statistical significance test of the difference in *b*-value between two earthquake groups. *Journal of Physics of the Earth*, 14(2), 37-40.  
<https://doi.org/10.4294/jpe1952.14.37>
- Van der Hilst, R., Mann, P., 1994. Tectonic implications of tomographic images of subducted lithosphere beneath northwestern South America. *Geology*, 22, 451-454.  
[https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1994\)022%3C0451:TIO%3E2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1994)022%3C0451:TIO%3E2.3.CO;2)
- Vargas, C.A., 2020. Subduction geometries in northwestern South America. In: Gómez, J. and Pinilla-Pachón, A.O. (editors), *The Geology of Colombia, Volume 4 Quaternary*. Servicio Geológico Colombiano, Publicaciones Geológicas Especiales. 397-422. Bogotá.  
<https://doi.org/10.32685/pub.esp.38.2019.11>
- Vargas, C.A., Mann, P., 2013. Tearing and breaking off of subducted slabs as the result of collision of the Panama Arc-Indenter with northwestern South America. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 103(3), 2025-2046.  
<https://doi.org/10.1785/0120120328>
- Vavryčuk, V., 2014. Iterative joint inversion for stress and fault orientations from focal mechanisms. *Geophysical Journal International*, 199(1), 69-77. <https://doi.org/10.1093/gji/ggu224>
- Wagner, L.S., Jaramillo, J. S., Ramírez-Hoyos, L.F., Monsalve, G., Cardona, A., Becker, T.W., 2017. Transient slab flattening beneath Colombia. *Geophysical Research Letters*, 44(13), 6616-6623. <https://doi.org/10.1002/2017GL073981>
- Wang, Q., 2016. Homologous temperature of olivine: Implications for creep of the upper mantle and fabric transitions in olivine. *Science China Earth Sciences*, 59, 1138-1156.  
<https://doi.org/10.1007/s11430-016-5310-z>
- Wang, S., Yu, H., Zhang, Q., Zhao, Y., 2018. Absolute plate motions relative to deep mantle plumes. *Earth Planet. Sci. Lett.* 490, 88-99. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2018.03.021>
- Zaccagnino, D., Doglioni, C., 2022. Earth's gradients as the engine of plate tectonics and earthquakes. *La Rivista del Nuovo Cimento*, 45(12), 801-881.  
<https://doi.org/10.1007/s40766-022-00038-x>
- Zarifi, Z., Havskov, J., 2003. Characteristics of dense nests of deep and intermediate-depth seismicity. *Advances in geophysics*, 46, 238-278. [https://doi.org/10.1016/s0065-2687\(03\)46004-4](https://doi.org/10.1016/s0065-2687(03)46004-4)
- Zarifi, Z., Havskov, J., Hanyga, A., 2007. An insight into the Bucaramanga nest. *Tectonophysics*, 443(1-2), 93-105.  
<https://doi.org/10.1016/j.tecto.2007.06.004>

MANUSCRITO RECIBIDO: 30-07-2024

REVISIÓN RECIBIDA: 24-10-2024

ACEPTACIÓN DEL MANUSCRITO REVISADO: 11-12-2024



## REVISORES Y REVISORAS DEL VOLUMEN 37, NÚMEROS 1 Y 2 (AÑO 2024)

### REVIEWERS OF VOLUME 37, ISSUES 1 AND 2 (2024 YEAR)

La Revista de la Sociedad Geológica de España agradece a las personas que han participado en la revisión de los trabajos que componen los dos números del volumen 37 su esfuerzo y dedicación en la revisión de los manuscritos encomendados. Su trabajo ha mejorado indudablemente la calidad de la Revista.

Amelia Calonge García (*Universidad de Alcalá de Henares*)  
 Antonio Azor Pérez (*Universidad de Granada*)  
 Beatriz Bádenas Lago (*Universidad de Zaragoza*)  
 Ester Boixereu Vila (*Instituto Geológico y Minero de España, IGME-CSIC*)  
 Gerardo J. Soto (*Secretaría Técnica Nacional Ambiental, SETENA*)  
 Gonzalo Márquez (*Universidad de Huelva*)  
 Guillermo Booth-Rea (*Universidad de Granada*)  
 Hector Mora-Paez (*Universidad de Manizales*)  
 Isabel Rábano (*Instituto Geológico y Minero de España, IGME-CSIC*)  
 Javier Arzúa Touriño (*Universidad Católica del Norte de Chile*)  
 Jesús David Fernández-Gutiérrez (*Geoconsult España*)  
 José Martínez Díaz (*Universidad Complutense de Madrid*)  
 Juan Ramón Colmenero Navarro (*Universidad de Salamanca*)  
 Julia Cuevas Urionabarrenechea (*Euskal Herriko Unibertsitatea*)  
 Katya Reategui (*Universidad Central de Venezuela*)  
 Luis Quintana (*Investigador independiente de España*)  
 María del Carmen Cabrera Santana (*Universidad de Las Palmas de Gran Canaria*)  
 Matthias van Ginneken (*Vrije Universiteit Brussel*)  
 Patricia Ruano Roca (*Universidad de Granada*)  
 Pedro Farias Arquer (*Universidad de Oviedo*)  
 Pierre Rochette (*Aix-Marseille Université, Emeritus*)  
 Rafael Lozano Fernández (*Instituto Geológico y Minero de España, IGME-CSIC*)  
 Rogelio Daniel Acevedo Fernandez (*Universidad Autónoma de Barcelona*)  
 Stephen T Johnston (*University of Alberta*)  
 Teresa Sánchez-García (*Instituto Geológico y Minero de España, IGME-CSIC*)

**AUTORES Y AUTORAS DEL VOLUMEN 37, NÚMEROS 1 Y 2 (AÑO 2024)*****AUTHORS OF VOLUME 37, ISSUES 1 AND 2 (2024 YEAR)***

Adrián Javier Acuña (*Universidad Tecnológica Nacional*)  
André Singer (*Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas, FUNVISIS*)  
Cándido Manuel García Cruz (*INHIGEO*)  
Carlos Rafael Borges-Sellén (*Sociedad Cubana de Geología*)  
Cesar Augusto Cardona-Parra (*Universidad del Valle*)  
Elkin de Jesús Salcedo-Hurtado (*Universidad del Valle*)  
Francisco López Martínez (*Universidad de Málaga*)  
Franck A. Audemard M. (*Universidad Central de Venezuela*)  
Germán Javier Tomas (*Universidad Tecnológica Nacional*)  
Isabel Rábano (*Instituto Geológico y Minero de España, IGME-CSIC*)  
Jhon Leandro Pérez (*Universidad del Valle*)  
Jhonattan Fernández-Córdoba (*Universidad del Valle*)  
Johanset Orihuela (*Florida International University*)  
José Antonio Rodríguez A. (*Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas, FUNVISIS*)  
Luz María Rodríguez (*Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas, FUNVISIS*)  
Nathalie García-Millán (*Universidad del Valle*)  
Raffaella Meffe (*Instituto IMDEA Agua*)  
Rodrigo Andrés-Bercianos (*Instituto Geológico y Minero de España, IGME-CSIC*)  
Virtudes Martínez-Hernández (*Instituto IMDEA Agua*)  
Yasmani Ceballos (*Biblioteca Digital Cubana de Geociencias*)

# NORMAS DE PUBLICACIÓN EN LA REVISTA DE LA SOCIEDAD GEOLÓGICA DE ESPAÑA

La Revista de la Sociedad Geológica de España es una **publicación semestral de acceso abierto** de la Sociedad Geológica de España que da cabida a trabajos de investigación científica, en español o en inglés, en relación con cualquier área de las Ciencias de la Tierra. Los trabajos de geología de la Península Ibérica y áreas próximas son particularmente bienvenidos, además de los relacionados con la Historia de la Geología, el Patrimonio Geológico, y temáticas similares. Los trabajos de revisión o recopilación de información de temas específicos con una perspectiva científica actualizada, también serán valorados para su posible publicación en la revista. Los trabajos deberán ser originales, es decir, no publicados (o no aceptados) en otra revista, sea íntegramente o por partes y/o en otro idioma. Todos los artículos serán revisados, al menos, por dos especialistas y por el Comité Editorial.

## PREPARACIÓN DEL MANUSCRITO

### *Organización del texto*

El texto se elaborará siguiendo la **Plantilla RSGE** (formato DOC), disponible en <https://recyt.fecyt.es/index.php/RevSocGeoEsp/index>. El texto seguirá este orden: 1) Título en español e inglés. 2) Nombre y apellidos de autores/as. 3) Dirección postal y electrónica completa de autores/as. 4) Resumen en español e inglés, de 200 palabras para el idioma del manuscrito, de 400 en el segundo idioma. 5) Palabras clave (3 a 5, en español y en inglés). 6) Título corto para el encabezamiento, en el idioma del manuscrito. 7) Texto principal. Los encabezamientos del texto principal se ordenarán jerárquicamente en tres tipos, sin numeración alguna: **Apartado**, **Subapartado de primer orden** y **Subapartado de segundo orden**, con punto y seguido el texto. En el texto, se incluirán sólo citas de trabajos publicados o en prensa, con el apellido de autores/as y año de publicación en orden cronológico (ej., Pérez, 2004; Mateos y Jiménez, 2007; Teixell *et al.*, 2007). Las figuras y tablas se indicarán de forma correlativa (ej., Fig. 1, Fig. 2, Figs. 3-5, Tabla 1, Tabla 2...etc.). 8) Agradecimientos y financiación. Se citarán los agradecimientos personales y a las personas que han revisado el trabajo. Además, es necesario indicar las fuentes de financiación del estudio. 9) Contribución de autores/as. Se especificará, en un párrafo corto, la contribución individual de cada persona. 10) Referencias. Deberán ir ordenadas alfabéticamente por el apellido de autores/as y cronológicamente, en el caso de que se repitan. Deberán indicarse las referencias que dispongan de **DOI** con un enlace tipo [https://doi.org/...](https://doi.org/) (según los ejemplos indicados abajo). 11) Pies de figuras y tablas.

- Arce Durante, J.M., Fernández Tomas, J., Monteserín López, V., 1977. Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 24 (Mondoñedo). IGME, Madrid.
- Díaz Martínez, E., 1988. El Cretácico Inferior del sector de Jubera (norte de la Sierra de Los Cameros, La Rioja). II Congreso Geológico de España, Comunicaciones, 1: 67-70.
- Lobo, F.J., Hernández-Molina, F.J., Somoza, L., Díaz del Río, V., 2001. The sedimentary record of the post-glacial transgression on the Gulf of Cadiz continental shelf (Southwest Spain). Marine Geology, 178: 171-195. [https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(01\)00176-1](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(01)00176-1)
- Ortega Gironés, E., Gil Ibarguchi, J.I., 1983. La Unidad de Malpica-Tuy. En: Libro jubilar, J.M. Ríos. Geología de España, Tomo I, (J. Comba, Ed.). IGME, Madrid, 430-440.
- Parra, J., 2001. Análisis paleoambiental de los sistemas continentales y el vulcanismo asociado del Neógeno del Valle del Cajón en los Andes Occidentales (Catamarca, República Argentina). Tesis Doctoral, Univ. Huelva, 272 p.
- Woodroffe, C.D., 2002. Coasts. Cambridge University Press, New York, 623 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9781316036518>

### *Figuras y tablas*

Para el diseño de tablas y figuras (incluyendo dibujos y fotografías) se tendrá en cuenta el tamaño de caja de la revista (248 x 170 mm). Las figuras y tablas pueden ocupar la anchura de una columna (82 mm) o de una página (170 mm). Las tablas irán en formato DOC. El tamaño de letra deberá ser como mínimo de 7 ptos. y la anchura de línea oscilará entre 0,3 y 1,5 ptos. Las partes de una figura se denotarán con letras mayúsculas (A, B, C, etc.). Los dibujos deben tener una buena calidad en cuanto a tramas, tonos de grises y leyendas. Las fotografías deben ser claramente visibles, tener contraste suficiente y acabado brillante, y deben contener escalas u objetos que sirvan de referencia.

### *Extensión del manuscrito*

Como norma general, la extensión del manuscrito, incluyendo texto y espacio equivalente de figuras y tablas, no podrá exceder 20 páginas. Una página de la Plantilla RSGE (en fuente Times New Roman 10, a espacio simple) equivale a unas 1000 palabras aproximadamente.

## ENVÍO Y REVISIÓN DEL MANUSCRITO

El manuscrito será enviado electrónicamente a través de la plataforma de envío de artículos dentro del Repositorio Español de Ciencia y Tecnología (RECYT) de la RSGE en <https://recyt.fecyt.es/index.php/RevSocGeoEsp/index>, también accesible desde el enlace de la página web de la SGE <https://sociedadgeologica.org/publicaciones/revista-sge/>, en 2 documentos: 1) el texto en formato DOC (**Plantilla RSGE**), y 2) las figuras y tablas en un documento PDF y numeradas correlativamente. En la plantilla, se deberá proporcionar el nombre, institución y correo electrónico de 5 posibles revisores/as. Existe la posibilidad de vetar a personas, siempre que esté debidamente justificado.

El Comité Editorial valorará la adecuación del manuscrito a las normas de publicación. Si el trabajo se ajusta a las normas, será enviado para su revisión a 2 especialistas y, en caso de discrepancia, se remitirá a una tercera persona. Teniendo en cuenta la opinión de las personas que han revisado el trabajo, el Comité Editorial decidirá si el trabajo es aceptado o requiere de modificaciones menores, moderadas o importantes, o si es rechazado. En caso de que sea aceptado con modificaciones, el manuscrito original deberá ser corregido siguiendo las observaciones de los/las revisores/as. La nueva versión del documento será enviada a través de la plataforma RECYT para valorar la necesidad de una segunda revisión o, en su caso, se aceptará definitivamente.

## MANUSCRITO ACEPTADO

Una vez aceptado el manuscrito se enviará la versión final de las tablas (en formato DOC) y de las figuras (en formato JPG o TIFF), en archivos individuales. Si se usa el formato TIFF y la figura sólo contiene dibujos de líneas, la resolución deberá ser de 600 ppp. Si la figura tiene trama de grises o es en color, la resolución deberá ser de 300 ppp. Los/las autores/as recibirán las pruebas de impresión para la corrección de erratas, sin que se acepten modificaciones del texto original. Para resolver cualquier duda pueden contactar con la Editora Principal por correo electrónico [nieves.lopez@ieo.csic.es](mailto:nieves.lopez@ieo.csic.es).

# PUBLICATION RULES OF THE JOURNAL OF THE GEOLOGICAL SOCIETY OF SPAIN

The Journal of the Geological Society of Spain is an **open access biannual publication** of the Geological Society of Spain. This journal publishes original research contributions in Spanish or English that cover all Earth Science topics, in particular those concerning the Iberian Peninsula and nearby areas, as well as those related to the History of Geology, Geological Heritage, and similar topics. Review papers or compilations on specific topics with an up-to-date scientific perspective will also be considered for possible publication in the journal. The submitted manuscripts must be original research papers that have not been published (or not accepted) totally or partially elsewhere, in any language. All the papers will be reviewed by a minimum of two referees and by the Editorial Board.

## MANUSCRIPT PREPARATION

### *Text organization*

The text is to be formatted using the **RSGE Template** (DOC format), which is available at <https://recyt.fecyt.es/index.php/RevSocGeoEsp/index>. It should be organized as follow: 1) Title in English and Spanish. 2) Name and surnames of authors. 3) Full postal and electronic addresses of authors. 4) Abstract in Spanish and English, not exceeding 200 words in the language of the main text, and no more than 400 words in the second language. 5) Keywords (3 to 5, in Spanish and English). 6) Short title to use as header, in the language of the main text. 7) Main text. Headings should be hierarchically sorted into three types without any numbering: **Section**, **First-order subsection** and **Second-order subsection**, with dot and followed by the text. In the main text, cite only published or in press publications. Any cited publications should be referred to the authors' surname and year of publication, arranged chronologically (e.g., Pérez, 2004; Mateos and Jiménez, 2007; Teixell *et al.*, 2007). The figures and tables must be sequential (e.g., Fig. 1, Fig. 2, Fig 3-5, Table 1, Table 2...etc.). 8) Acknowledgements and funding. Personal acknowledgements and those to the persons who have reviewed the work will be cited. In addition, it is necessary to indicate the funding sources of the study. 9) Author contributions. The individual contributions of each author must be provided in a short paragraph. 10) References. The list of references should be arranged alphabetically by authors' surnames and chronologically in case of repetition. References with a **DOI** should be indicated with a link such as <https://doi.org/>... (see examples below). 11) Figure and table captions.

- Arce Durante, J.M., Fernández Tomas, J., Monteserín López, V., 1977. Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 24 (Mondoñedo). IGME, Madrid.
- Díaz Martínez, E., 1988. El Cretácico Inferior del sector de Jubera (norte de la Sierra de Los Cameros, La Rioja). II Congreso Geológico de España, Comunicaciones, 1: 67-70.
- Lobo, F.J., Hernández-Molina, F.J., Somoza, L., Díaz del Río, V., 2001. The sedimentary record of the post-glacial transgression on the Gulf of Cadiz continental shelf (Southwest Spain). *Marine Geology*, 178: 171-195. [https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(01\)00176-1](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(01)00176-1)
- Ortega Gironés, E., Gil Ibarguchi, J.I., 1983. La Unidad de Malpica-Tuy. In: Libro jubilar, J.M. Ríos. *Geología de España*, Tomo I, (J. Comba, Ed.). IGME, Madrid, 430-440.
- Parra, J., 2001. Análisis paleoambiental de los sistemas continentales y el vulcanismo asociado del Neógeno del Valle del Cajón en los Andes Occidentales (Catamarca, República Argentina). Doctoral Thesis, Univ. Huelva, 272 p.
- Woodroffe, C.D., 2002. *Coasts*. Cambridge University Press, New York, 623 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9781316036518>

### *Figures and tables*

The page size of the journal, 248 x 170 mm, should be considered when preparing figures (both drawings and photographs) and tables. The figures and tables can occupy either one column (82 mm width) or the whole width of the page (170 mm width). Lettering should be a minimum of 7 pt. Line widths should range from 0.3 to 1.5 pt. Tables shall be in DOC format. Figure parts should be denoted by uppercase letters (A, B, C, etc.). Line drawings must be of good quality in terms of patterns, grey tones and legends. Photographs should be clear, have good contrast and a glossy aspect, and employ some indication of scale.

### *Manuscript length*

As a general rule, manuscripts must not exceed 20 pages, including text and the equivalent space for figures and tables. One single-spaced RSGE Template page, written with font Times New Roman 10, contains approximately 1000 words.

## MANUSCRIPT SUBMISSION AND REVISION

Manuscripts should be submitted electronically through the article submission platform within the Spanish Science and Technology Repository (RECYT) of the RSGE at <https://recyt.fecyt.es/index.php/RevSocGeoEsp/index>, also accessible from the link on the SGE website <https://sociedadgeologica.org/publicaciones/revista-sge/>, in 2 separated files: 1) the text in DOC format (*RSGE Template*), and 2) the figures and tables in a PDF document and numbered sequentially. In the template, the name, address and email of 5 possible reviewers should be provided. When justified, opposed reviewers can be named.

The Editorial Board will assess the suitability of the manuscript to ensure that it follows the requirements of the journal. If the manuscript receives a positive evaluation, it will be sent for review to 2 referees, but given conflicting reviews, the manuscript will be sent to a third referee. Once revised, the Editorial Board will decide whether the manuscript is accepted or requires minor, moderate or major modifications, or it is rejected. If it is accepted with modifications, the original manuscript must be adapted following the reviewers' suggestions. The new version of the manuscript will be sent through the RECYT platform to assess the need for additional revisions or if it is acceptable for publication.

## ACCEPTED MANUSCRIPT

Once the manuscript is accepted, the final version of the tables and figures will be sent in separated files. Tables must be in DOC format and figure files must be provided as JPG or TIFF files. For TIFF format figures containing only lines drawings, a resolution of 600 dpi is required. For greyscale or colour figures, a resolution of 300 dpi is sufficient. Authors will receive the print proofs, to be checked for typesetting/editing. Questions should be directed to the Editor-in-chief by email [nieves.lopez@ieo.csic.es](mailto:nieves.lopez@ieo.csic.es).

# SOCIEDAD GEOLÓGICA DE ESPAÑA

La **Sociedad Geológica de España** fue fundada en 1985 y tiene como fines la promoción, fomento y difusión del conocimiento, progreso y aplicaciones de la Geología, el asesoramiento en materia científica y educativa a las Instituciones y Entidades que lo requieran, y la representación de los intereses científicos de la comunidad geológica de España a nivel internacional. Sus miembros tienen derecho a participar en todas las actividades organizadas por la Sociedad, a optar a ocupar cualquiera de sus cargos directivos y a recibir gratuitamente las publicaciones periódicas de la Sociedad: Geogaceta y Revista de la Sociedad Geológica de España.

## JUNTA DE GOBIERNO

(*Presidencia*) **Ana Ruiz Constán**

Instituto Geológico y Minero de España, Unidad de Granada  
Urb. Alcázar del Genil, 4-Edif. Zulema, Bajo, 18006 Granada (España)  
Tel: +34 958 691 031; e-mail: [a.ruiz@igme.es](mailto:a.ruiz@igme.es)

(*Secretaría 1º*) **Manuela Chamizo Borreguero**

Instituto Geológico y Minero de España, Dpto. Geología y Subsuelo  
C/ Calera, 1. Despacho 02-PB-03, 28760 Tres Cantos, Madrid (España)  
Tel: +34 917 285 192; e-mail: [m.chamizo@igme.es](mailto:m.chamizo@igme.es)

(*Secretaría 2º*) **Miguel Gómez Heras**

Universidad Autónoma de Madrid, Dpto. de Geología y Geoquímica  
Facultad de Ciencias  
C/ Francisco Tomás y Valiente 7 (Módulo 06-406), 28049 Madrid (España)  
Tel: +34 914 975 407; e-mail: [miguel.gomezheras@uam.es](mailto:miguel.gomezheras@uam.es)

(*Tesorería*) **Blanca M. Martínez García**

Universidad del País Vasco  
C/ Sarriena s/n, 48940 Leioa, Vizcaya (España)  
e-mail: [blancamaria.martinez@ehu.eus](mailto:blancamaria.martinez@ehu.eus)

(*Vicepresidencia*) **Pedro Huerta Hurtado**

Universidad de Salamanca, Dpto. de Geología  
Facultad de Ciencias  
Plaza de la Merced s/n, 37008 Salamanca (España)  
Tel: +34 920 353 500; e-mail: [phuerta@usal.es](mailto:phuerta@usal.es)

(*Vicesecretaría*) **Ramón Casillas Ruiz**

Universidad de La Laguna, Dpto. de Biología Animal, Edafología y Geología  
Sección de Biología de la Facultad de Ciencias  
C/ Astrofísico Francisco Sánchez s/n, 28200 La Laguna, Santa Cruz de Tenerife (España)  
Tel: +34 922 845 268; e-mail: [rcasilla@ull.edu.es](mailto:rcasilla@ull.edu.es)

(*Vocalías*) **Antonio José Olaiz Campos**

**Davinia Moreno García**  
**Desireé Palomino Cantero**  
**Iván Martín Rojas**  
**José F. Mediato Arribas**  
**Juana Vegas Salamanca**  
**Raquel Martín Banda**  
**Pedro Huerta Hurtado**  
**Raquel Martín Banda**

## SEDE ADMINISTRATIVA

Sociedad Geológica de España:

Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca, Plaza de la Merced s/n, 37008 Salamanca, (España)  
<http://www.sociedadgeologica.org>

**Suscripciones:** Toda la correspondencia debe ser dirigida a la Sede Administrativa de la Sociedad. El precio de la suscripción anual es de 67 € para España y Portugal y 76 € para el resto del mundo.

# REVISTA DE LA SOCIEDAD GEOLÓGICA DE ESPAÑA

Volumen 37, Número 2, (2024)

FRANCISCO LÓPEZ-MARTÍNEZ

La geología, ¿una ciencia suficientemente valorada en educación secundaria? / *Is geology a sufficiently valued science in secondary school?* ..... 3

ISABEL RÁBANO

Pedro Salterain y Legarra (1834-1893): Minería y Geología en la Cuba colonial /  
*Pedro Salterain y Legarra (1834-1893): mining and geology in colonial Cuba* ..... 14

JHON LEANDRO PÉREZ, ELKIN DE JESÚS SALCEDO-HURTADO, JHONATTAN FERNÁNDEZ-CÓRDOBA, CÉSAR

AUGUSTO CARDONA-PARRA Y NATHALIE GARCÍA-MILLÁN

New approach to understanding the seismotectonic regime of the Bucaramanga  
seismic nest / *Nueva aproximación a la comprensión del régimen sismotectónico  
del nido sísmico de Bucaramanga* ..... 31