



Memòries del Programa de XARXES-I³CE de qualitat,
innovació i investigació en docència universitària.
Convocatòria 2018-19

Memorias del Programa de REDES-I³CE de calidad,
innovación e investigación en docencia universitaria.
Convocatoria 2018-19

Rosabel Roig-Vila (Coord.)
Jordi M. Antolí Martínez, Asunción Lledó
Carreres, Neus Pellín Buades (Eds.)



Memòries del Programa de Xarxes-I3CE
de qualitat, innovació i investigació en
docència universitària.
Convocatòria 2018-19

*Memorias del Programa de Redes-I3CE
de calidad, innovación e investigación
en docencia universitaria.
Convocatoria 2018-19*

Rosabel Roig-Vila (Coord.), Jordi M. Antolí Martínez, Asunción
Lledó Carreres, Neus Pellín Buades (Eds.)

Memòries de les xarxes d'investigació en docència universitària pertanyent al Programa Xarxes-I3CE d'Investigació en docència universitària del curs 2018-19 / *Memorias de las redes de investigación en docencia universitatira que pertenece al Programa Redes -I3CE de investigación en docencia universitaria del curso 2018-19*

Organització: Institut de Ciències de l'Educació (Vicerectorat de Qualitat i Innovació Educativa) de la Universitat d'Alacant/ *Organización: Instituto de Ciencias de la Educación (Vicerrectorado de Calidad e Innovación Educativa) de la Universidad de Alicante*

Edició / *Edición*: Rosabel Roig-Vila (Coord.), Jordi M. Antolí Martínez, Asunción Lledó Carreres, Neus Pellín Buades (Eds.)

Comité tècnic / *Comité técnico*: Neus Pellín Buades

Revisió i maquetació: ICE de la Universitat d'Alacant/ *Revisión y maquetación*: ICE de la Universidad de Alicante

Primera edició: / *Primera edición*: Novembre 2019

© De l'edició/ *De la edición*: Rosabel Roig-Vila , Jordi M. Antolí Martínez, Asunción Lledó Carreres & Neus Pellín Buades.

© Del text: les autores i autors / *Del texto: las autoras y autores*

© D'aquesta edició: Institut de Ciències de l'Educació (ICE) de la Universitat d'Alacant / *De esta edición: Instituto de Ciencias de la Educación (ICE) de la Universidad de Alicante*

ice@ua.es

ISBN: 978-84-09-15746-4

Qualsevol forma de reproducció, distribució, comunicació pública o transformació d'aquesta obra només pot ser realitzada amb l'autorització dels seus titulars, llevat de les excepcions previstes per la llei. Adreceu-vos a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, www.cedro.org) si necessiteu fotocopiar o escanejar algun fragment d'aquesta obra. / *Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra sólo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, www.cedro.org) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.*

Producció: Institut de Ciències de l'Educació (ICE) de la Universitat d'Alacant / *Producción: Instituto de Ciencias de la Educación (ICE) de la Universidad de Alicante*

EDITORIAL: Les opinions i continguts dels resums publicats en aquesta obra són de responsabilitat exclusiva dels autors. / *Las opiniones y contenidos de los resúmenes publicados en esta obra son de responsabilidad exclusiva de los autores.*

52. Desarrollo de herramientas y metodologías para modelización geoquímica

D. Benavente García (1); N. García Martínez (2); J.C. Cañaveras Jiménez (1); I.F. Blanco Quintero(1); C. Pla Bru (3); A. Fernández Cortés (4) F. Martínez Conejero (1); M.A. Rodríguez García (1)

david.benavente@ua.es, ngm64@alu.ua.es, jc.canaveras@ua.es, if.blanco@ua.es, c.pla@ua.es, acortes@ual.es, felicianamartinez@ua.es, ma.rodriguez@ua.es

(1) Departamento de Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente

(2) Facultad de Ciencias

(3) Departamento de Ingeniería Civil

Universidad de Alicante

(4) Departamento de Biología y Geología.

Universidad de Almería

RESUMEN

El trabajo realizado en esta red docente se ha centrado en el desarrollo de estrategias para la modelización geoquímica a partir del uso de herramientas específicas para el tratamiento de datos y procesos geoquímicos que tienen lugar en el medio natural, principalmente en geoquímica acuosa y ambiental. El material elaborado se empleará en diferentes asignaturas del Grado en Geología y del Máster en Ingeniería Geológica de la Universidad de Alicante. La presente red-I³CE ha desarrollado material específico orientado a facilitar el autoaprendizaje y autoevaluación del alumnado e incluye el desarrollo de videos tutoriales, estadillos de prácticas, una página web específica y un Moodle para las prácticas. Gran parte de la red-I³CE se ha centrado en el programa informático de modelización geoquímica *PHREEQC*, por ser el más extendido en el ámbito de la geoquímica y tratarse de un software libre. Las metodologías y los recursos de aprendizaje desarrollados se han valorado a través de encuestas a los estudiantes, obteniendo una buena aceptación por parte del alumnado. Los resultados obtenidos han sido muy satisfactorios desde el punto de vista metodológico y formativo y han demostrado una mayor aceptación del alumnado a la modelización geoquímica.

Palabras clave:

Autoaprendizaje, prácticas de geoquímica con *PHREEQC*, Grado en Geología, Máster en Ingeniería Geológica.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Problema.

La experiencia adquirida previamente con la implementación del Grado en Geología en la Universidad de Alicante, ha puesto de manifiesto la necesidad de mejorar los métodos y recursos de aprendizaje enfocados a los procesos de modelización que se imparten en las diferentes asignaturas con contenidos geoquímicos.

Estos contenidos están enmarcados en asignaturas principalmente impartidas por el área de conocimiento de Petrología y Geoquímica desde el segundo al cuarto curso del grado en Geología, que incluyen: Cristalografía y Mineralogía (2º curso), Geoquímica y Prospección Geoquímica, Petrología Sedimentaria y Petrología Ígnea y Metamórfica (3º curso) y Petrología Aplicada (4º curso). Dentro del Máster de Ingeniería Geológica, se incluye la asignatura Ingeniería Geológica-Ambiental impartidas en el área de Hidráulica del Departamento de Ingeniería Civil.

Como expondremos en los siguientes apartados, los miembros del grupo ha participado en diferentes redes-I³CE docentes con el propósito de desarrollar material docente específico para las asignaturas anteriormente expuestas, aunque sin abordar estas competencias específicas.

Tanto nuestra experiencia adquirida durante los cursos precedentes como por la colaboración con grupos de investigación y empresas relacionadas con estudios geoquímicos, ha evidenciado la importancia y complejidad que presenta la modelización geoquímica.

La modelización en general, y la geoquímica en particular, requieren (i) un conociendo del medio natural y del proceso que ocurre (modelo real); (ii) su simplificación y estructuración (modelo conceptual) y (iii) el desarrollo y simulación mediante un software del proceso/s geoquímico/s (modelo teórico-predictivo). Desde el punto de vista docente, el alumnado presenta tradicionalmente importantes problemas en el aprendizaje del desarrollo del modelo conceptual y el teórico-predictivo.

La modelización de dichos procesos es muy habitual en muchos campos de aplicación donde nuestro alumnado desarrollará su actividad laboral, por lo que la modelización geoquímica está contemplada en los planes de estudios de diferentes grados y másteres de la Universidad de Alicante.

En dichas asignaturas se describen diferentes procesos geoquímicos básicos que se producen en la naturaleza, tanto de forma natural (ej.: intrusión marina en acuíferos; calidad de aguas; precipitación/disolución de carbonatos; etc.), como por la acción antrópica del hombre (ej.: contaminación por minería de suelos y aguas subterráneas, interacción radionúclidos-arcillas, recuperación de petróleo con aguas de mar diluidas; etc.). Pese a su gran importancia, su estudio se centra principalmente en la descripción del modelo real, es decir, se describen los procesos geoquímicos, objetivo del aprendizaje básico y necesario. Sin embargo, el modelo conceptual y el teórico-predictivo tiene un carácter introductorio, siendo en la mayoría de los casos insuficiente para su consolidación y aplicación transversal.

Con estos antecedentes, el equipo de la presente RED-I³CE planteó la necesidad desarrollar material específico, en las asignaturas anteriormente citadas, en plataformas que permitan el autoaprendizaje, donde se muestre la importancia y aplicabilidad de la modelización geoquímica (estrategia de motivación) y que potencie que el alumnado adquiriera una idea más clara y real de su significado y de su relación con el medio natural (estrategia para la adquisición de las competencias educativas).

Por último, hay que destacar la carencia en formación del alumnado en temas de análisis y de tratamiento de datos, en general, y de datos geoquímicos en particular, así como en el manejo de programas informáticos que permitan su análisis, manipulación y modelización.

El objetivo general de esta red-I³CE docente es el desarrollo de herramientas y metodologías docentes específicas para la modelización de datos geoquímicos de muestras acuosas y ambientales (geoquímica de baja temperatura).

1.2 Revisión de la literatura.

No hay una bibliografía básica referente a la introducción a la modelización geoquímica de baja temperatura. La bibliografía de referencia (ej.: Drever, 1988; Richardson y McSween, 1989; Stumm y Morgan, 1996; Langmuir, 1997; Faure, 1998; Zhu y Anderson, 2002) describen los procesos geoquímicos de forma clara y concisa y exponen diferentes ejemplos y casos de estudio. Sin embargo, el tratamiento a su modelización es escaso y no los desarrolla con programas informativos. En otros textos, por ejemplo; Bethke (2008), se compara diferentes programas, rutinas y ejemplos de modelización geoquímica, aunque sin un hilo conductor ni la claridad necesaria para la adquisición y asimilación de los contenidos que

requieren las asignaturas que impartimos en el Grado en Geología y en el Máster de Ingeniería Geológica de la Universidad de Alicante.

Destaca, sin embargo, el libro de referencia Appelo y Postma (2005) que si introduce ejemplos con *PHREEQC* (programa informático que utilizaremos y que posteriormente expondremos) de una forma complementaria dentro de el desarrollo de los capítulos. Sin embargo, no introduce la modelización de los procesos geoquímicos, en los términos generales de contextualización de cualquier proceso de modelización, es decir; modelo real (conocimiento del medio natural y del proceso que ocurre), modelo conceptual (simplificación y estructuración) y modelo teórico-predictivo (desarrollo, simulación y validación mediante un software). Por lo tanto, Appelo y Postma (2005) puede considerarse como un excelente material complementario y de consulta que permite al alumnado profundizar en diferentes modelos geoquímicos.

En Internet, en la misma línea que el libro Appelo y Postma (2005), hay material de gran calidad donde se pueden encontrar ejemplos de aplicación. Destaca el manual del programa *PHREEQC Version 3* (USGS, U.S. Department of the Interior) y el foro *PHREEQC Users* donde se realizan discusiones de diferentes casos de estudio y que está coordinada por el Prof. David Parkhurst (uno de los autores del programa).

La literatura de referencia y los manuales de los programas no contiene material docente que permita el autoaprendizaje del alumno, ni asimilar los conceptos de las asignaturas y aplicarlos de forma transversal. Estos textos son muy adecuados para su uso una vez se hayan adquirido los conocimientos básicos y además permiten la adquisición vocabulario técnico en inglés, esencial para la formación del alumnado.

1.3 Propósito.

Nuestro grupo ha participado en diferentes Redes de Investigación e Innovación Educativa en Docencia Universitaria (Redes-I³CE), donde destacan los siguientes por su relación con la temática a la presente red-I³CE:

- ✓ Red para la elaboración de materiales docentes en el análisis de datos estadísticos y geoestadísticos (3º y 4º del Grado en Geología) (Benavente *et al.*, 2013).
- ✓ Red para la elaboración de materiales docentes en el análisis y tratamiento de datos geoquímicos y petrológicos (Benavente *et al.*, 2015b).

- ✓ Métodos y técnicas de análisis de materiales geológicos: Materiales docentes en el Grado en Geología. (Benavente *et al.*, 2016).
- ✓ Elaboración de herramientas basadas en laboratorios virtuales para la docencia en Petrofísica (Benavente *et al.*, 2017).
- ✓ Geoestadística con software libre: material para prácticas docentes (Pla *et al.*, 2018)
- ✓ Desarrollo de herramientas y metodologías para la cuantificación de propiedades de los minerales y rocas a microescala (Benavente *et al.*, 2018).
- ✓ Elaboración de material docente multimedia para la asignatura de petrología sedimentaria (Grado en Geología, UA) (2017-2018). IP: J.C. Cañaveras.

En base a la experiencia adquirida en dichas redes-I³CE y las necesidades específicas de las asignaturas que nuestro grupo imparte, los objetivos específicos de esta red-I³CE incluyen:

i) investigar en nuevas metodologías y estrategias que permitan al alumnado desarrollar los modelos conceptuales y teóricos-predictivos a partir de modelos geoquímicos reales. Se innovará en el desarrollo de mapas conceptuales con el objetivo final de mejorar las destrezas del alumnado en la modelización y conceptualización de los procesos geoquímicos.

ii) elaboración de material docente multimedia relacionado con la modelización geoquímica en distintas asignaturas impartidas por nuestro grupo. La particularidad de estos materiales (manuales, páginas webs y vídeos) es que quedan englobados en el e-learning, lo que permite la interacción continua del usuario con el material (antes, durante y después del desarrollo de las prácticas).

iii) la elección de software libre, específico y de uso extendido, cuyo aprendizaje por parte del alumnado facilite la inserción laboral, valorando el uso en primera instancia el código geoquímico PHREEQC por ser el más utilizado y extendido.

Por otro lado, nuestro objetivo como grupo es crear plataformas que nos permitirán poco a poco desarrollar docencia no presencial (Benavente *et al.*, 2018). Con esta premisa, la presente red-I³CE pretende implementar la no prespecialidad en la docencia así como integrar los contenidos docentes de otras redes-I³CE anteriores, con el objeto final de lanzarlo y ofertarlo al alumnado en los próximos cursos a través de diferentes plataformas. Este propósito se alinea con los objetivos de la “Modalidad E: Redes sobre la aplicación de las Tecnologías (TIC o TAC) en la Enseñanza Superior”, donde se conjuga la tecnología y la metodología proporcionando nuevos escenarios de enseñanza y aprendizaje, para los

diferentes tipos de enseñanza: presencial, semipresencial (b-learning) y no presencial (e-learning) (Benavente *et al.*, 2018).

Las herramientas y metodologías desarrolladas están dirigidas a potenciar el autoaprendizaje y el desarrollo de destrezas en la modelización geoquímica acuosa y ambiental. Este enfoque metodológico del material desarrollado está basado en el descrito por Benavente *et al.*, (2016) y recopilado en Benavente *et al.*, (2017). De forma resumida, a continuación se exponen los criterios metodológicos seguidos para el desarrollo de los contenidos (Benavente *et al.*, 2018):

i) *Transversalidad dentro de las asignaturas del mismo plan de estudios.*

ii) *Competencias transversales*, debido a que no hay una asignatura específica que adquieran las competencias descritas anteriormente.

iii) *Estudio integral.* El aprendizaje prioriza la resolución del problema aplicando el conocimiento adquirido en las clases teóricas al estudio a microescala de las propiedades de los minerales y las rocas. Este tipo de actividades incluye tanto el trabajo individual como en grupo (aprendizaje cooperativo). El objetivo final es asimilar y aplicar conocimientos, adquirir y usar destrezas y desarrollar capacidades para resolver problemas.

iv) *Aproximación multidisciplinar.* Este tipo de actividades hace que el alumno adquiera la capacidad de entender el trabajo realizado por otras personas con diferente formación y la capacidad de agrupar y transmitir su labor en un trabajo final.

En esta red-I³CE se van a mostrar los resultados de la aplicación de herramientas y metodologías para modelización geoquímica, así como se describirá el tipo de material desarrollado: videos tutoriales, estadios de prácticas y página web de las prácticas, material que a su vez se puede implementar fácilmente en una plataforma Moodle. La utilización de dicho material permite alcanzar todos los objetivos anteriormente planteados. Finalmente se describirá la evaluación del material desarrollado, haciendo hincapié en las mejoras necesarias para el desarrollo final de actividades de tipo semipresencial y/o no presencial.

2. MÉTODO

2.1. Descripción del contexto y de los participantes

La red-I³CE que ha desarrollado el presente trabajo está formada por profesores del Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente de la Facultad de Ciencias, pertenecientes a las áreas de conocimiento de Petrología y Geoquímica (David Benavente García, Juan Carlos Cañaveras Jiménez, Idael Francisco Blanco Quintero y Miguel Ángel Rodríguez) y del Departamento de Ingeniería Civil de la Escuela Politécnica Superior (Concepción Pla Bru). Además, en la presente red-I³CE de investigación docente han participado activamente técnicos especialistas de laboratorio, pertenecientes al Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente (M^a Feliciano Martínez Conejero), Ángel Fernández Cortés (Departamento de Biología y Geología, Universidad de Almería) y un alumno de tercer curso del Grado de Geología (Noé García Martínez).

En este trabajo se desarrollan contenidos de varias asignaturas expuestas en el punto anterior (apartado 1.1), aunque se centrará principalmente en la asignatura; “Geoquímica y Prospección Geoquímica” del tercer curso del grado en Geología. Para el desarrollo de algunas prácticas, se han caracterizado mineralógica y geoquímicamente materiales naturales (aguas, rocas y suelos) con el objeto de reunir datos reales en paralelo a otras asignaturas. La caracterización mineralógica y geoquímica se ha llevado a cabo en las instalaciones del Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente (Laboratorio de Petrología Aplicada) y en los Servicios Técnicos de la Universidad de Alicante (SSTTI-UA).

2.2. Materiales

Como se ha expuesto anteriormente, en este trabajo nos centramos en mostrar un ejemplo significativo del material desarrollado para cada curso, específicamente en el marco de la red-I³CE: (1) video tutoriales, (3) estadillos de prácticas y (3) página web. Dicho material cumple con los requisitos para el desarrollo de un curso en Moodle (actualmente en proceso de elaboración).

2.3. Instrumentos

a) *Programas informáticos de modelización geoquímica*

La elección del programas de modelización geoquímica ha cumplido con los diferentes requisitos que nuestro grupo ha utilizado en las anteriores redes-I³CE (ej.: Benavente *et al.*, 2018), en concreto que:

i) Sean didácticos y con contenido curricular, es decir que permitan desarrollar los contenidos teórico-prácticos de las asignaturas.

ii) Sean específicos y ampliamente usados en para estudios académicos y técnicos con el objeto que les facilite la inserción laboral de nuestros egresados.

iii) Sean gratuitos o de libre acceso, con el objeto de fomentar en el alumno el conocimiento científico abierto, aunque intentando combinarlo con programas informáticos comerciales. La colaboración con profesionales o expertos externos nos ha mostrado que el estudiante debe saber usar software comercial que se utilizan en las empresas para su mejor inserción laboral. También tiene una connotación económica ya que no se necesita comprar licencias de uso.

iv) Favorezcan que el alumno se familiarice con la lectura en inglés y, en particular, con la terminología científico-técnica específica.

En base a estos requisitos, se seleccionó el programa de modelización geoquímica *PHREEQC* (Parkhurst y Appelo, 2013). *PHREEQC* (que proviene, del inglés, *PH REDox EQUilibrium*) es un software libre desarrollado en el Servicio Geológico de Estados Unidos de América (USGS), que cumple los requisitos anteriormente descritos así como las necesidades de aprendizaje de las asignaturas en las que se utilizará.

PHREEQC permite calcular estados de saturación mineral de disoluciones acuosas, realizar cálculos de procesos de transporte advectivo, simular reacciones irreversibles, mezcla de diluciones, equilibrio entre minerales-gas-agua, reacciones de superficies, simular el fraccionamiento isotópico, etc. (Benavente *et al.*, 2015a).

Desde el punto de vista metodológico, las actividades se basan en trabajar con una serie de plantillas o archivos “inputs” que simulan diferentes procesos geoquímicos. Para modelizar con el código geoquímico *PHREEQC* es necesario crear un archivo “input”, utilizando para ello una serie de sentencias o “keywords”. Debido a la cantidad de “keywords” que contiene *PHREEQC*, en estas prácticas se van a trabajar con un conjunto de plantillas típicas de cada problema o caso de estudio, en lugar de aprender a programar. Por lo tanto, la metodología de

trabajo se basa en utilizar cada una de las plantillas y entender qué hace el programa *PHREEQC* en cada una de sus partes. El aprendizaje de cada una de estas partes permitirá construir cualquier otra plantilla basada en éstas de forma fácil e intuitiva.

b) Creación del material multimedia

La metodología utilizada es similar a la descrita en Benavente *et al.*, (2018). El programa informático utilizado, tanto para la grabación como para la edición de vídeos, ha sido *Wondershare Filmora 8*. Reúne las características adecuadas debido a que permite la edición multipista de video, audio e imágenes, así como superponer gráficos adicionales sobre la pantalla grabada.

La página web se ha desarrollado con *Vualà* (gestor de contenidos de webs corporativas de la Universidad de Alicante), donde se utilizó un dominio anterior para desarrollar el contenido de la presente red-I³CE. La web generada es “*INTRODUCCIÓN A LA MODELIZACIÓN GEOQUÍMICA CON PHREEQC*”:

<https://personal.ua.es/es/david-benavente/docencia/geoquimica/phreeqc/introduccion-a-la-modelizacion-geoquimica-con-phreeqc.html>

Finalmente se está adaptando este material en una plataforma MoodleUA, dentro del Moodle de la asignatura (Geoquímica y prospección geoquímica), con el objeto de preparar un entorno para la enseñanza y aprendizaje semipresencial y no presencial.

c) Técnicas analíticas

Para la elaboración de las actividades se ha caracterizado diferentes tipos de rocas y aguas. Las técnicas utilizadas han sido seleccionadas siguiendo los resultados de redes-I³CE anteriores (principalmente la red-I³CE “Métodos y técnicas de análisis de materiales geológicos: Materiales docentes en el Grado en Geología”, Benavente *et al.*, 2016). Desde el desarrollo e implantación de dicha red-I³CE, se han incorporado de forma paulatina en las asignaturas de nuestro grupo que impartimos en el Grado en Geología de la Universidad de Alicante, diferentes métodos y técnicas analíticas de investigación mineralógicas y geoquímicas. Las técnicas utilizadas son difracción de rayos X, el microscopio óptico, microscopio electrónico de barrido, fluorescencia de rayos X, cromatografía iónica y

espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo (inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS). La caracterización se ha desarrollado principalmente en las instalaciones del Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente (Laboratorio de Petrología Aplicada-LPA) y en los Servicios Técnicos de Investigación de la Universidad de Alicante (SSTT).

2.4. Procedimientos

Al alumnado se le proporciona a través del UACloud el siguiente material docente; apuntes claros y concisos de las actividades a desarrollar así como las plantillas “input” para la modelización geoquímica.

Se trabaja con ellos en el aula de teoría, con sesiones coordinadas temporalmente con las prácticas de modelización, de modo que sirvan de presentación e introducción a las prácticas a desarrollar antes de cada sesión (o trabajo individual del alumno). Durante la sesión de prácticas de ordenador, se desarrollan algunos ejemplos enmarcados en el desarrollo teórico-práctico de la asignatura y con otras de forma transversal. En este punto es importante fomentar el trabajo individual y colectivo de manera no presencial que favorezca el autoaprendizaje. Dicha metodología se ha desarrollado y aplicado de forma exitosa en otras redes I³CE realizadas por nuestro grupo (Benavente *et al.*, 2012 y 2013).

La aceptación de las metodologías utilizadas se ha valorado a través de encuestas al alumnado de tercer curso del Grado de Geología (asignatura Geoquímica y Prospección Geoquímica, 10 estudiantes, curso 2018-2019). Por un lado, a través de las encuestas realizadas por el Secretariado de Calidad de la Universidad de Alicante y, por otro, lado en dos encuestas específicas desarrolladas específicamente para evaluar la metodológica basadas en redes-I³CE anteriores. Nos hemos centrado en esta asignatura de tercer curso porque gran parte de sus contenidos se adecua a la actividades de modelización geoquímica y porque el alumnado de tercer curso del Grado en Geología ya tiene los conocimientos geoquímicos adecuados.

3. RESULTADOS

En base a la experiencia de las redes-I³CE citadas anteriormente, se han desarrollado una serie de materiales que ahondan en el autoaprendizaje del alumnado, que se han centrado principalmente en estadios de prácticas, videos tutoriales, y página web de las prácticas.

Los estadillos de prácticas recogen, de forma clara y concisa, tanto los puntos teóricos más importantes y las ecuaciones para la obtención de los parámetros geoquímicos necesarios, como las tablas para el desarrollo de las actividades. Este material contiene la información mínima esencial para el desarrollo de las actividades y describe de forma didáctica los pasos a seguir para la modelización geoquímica en cada actividad, a diferencia de los manuales del programa *PHREEQC* y material de la red asociado, que en la mayoría de los casos es arduo e impreciso. Dentro del estadillo de prácticas o manuales, se ha hecho un esfuerzo importante en los diagramas de flujo conceptuales con el objeto de estructurar y enlazar los modelos reales- conceptuales- teórico-predictivo (Figura 1).

A. Saber desde el punto de vista teórico-conceptual

1. Saber las reacciones geoquímicas que ocurren en el medio natural
2. Cómo de lejos estamos del equilibrio y con qué fuerza nos movemos a él: grado de desequilibrio - índice de saturación.
3. Velocidad en la que ocurre el proceso: termodinámica vs. cinética.

B. Saber hacer (práctico-aplicado)

1. Identificar proceso/problema
2. Descripción conceptual y reconocer las variables que intervienen
3. Qué suposiciones voy a realizar y evaluar el error que voy a cometer.
4. Cálculo/modelización geoquímica. Validar el modelo: ¿reproduce la realidad?

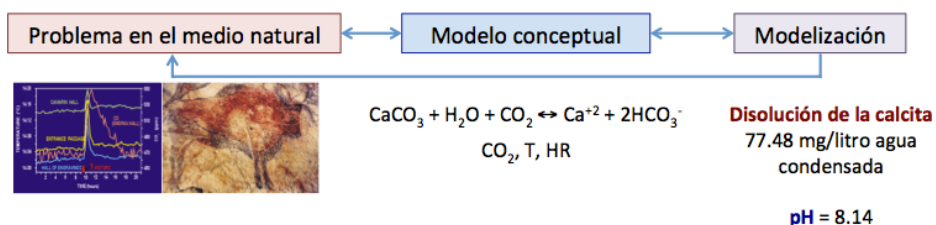


Figura 1. Ejemplo del diagrama de flujo conceptual sobre el impacto de las visitas por la variación de la temperatura (T), humedad relativa (HR) y concentración de CO_2 en cuevas kársticas. Se expone el modelo real (problema en el medio natural), modelo conceptual y modelo teórico-predictivo (modelización).

La proyección de los videos durante y después de las sesiones de prácticas, ayudan a visualizar y asimilar cómo se modelizan los procesos geoquímicos con *PHREEQC*. La utilización de este recurso audiovisual individualmente por parte del alumnado le permite preparar mejor las sesiones de prácticas y optimizar mejor la sesión de prácticas. En la figura 2 se muestra un ejemplo de video tutorial que muestra la especiación de una agua embotellada.

En la misma línea que las anteriores redes-I³CE (Benavente *et al.*, 2017 y 2018), parte de los materiales expuestos anteriormente se han integrado en una página web con el objetivo de

darle una mayor accesibilidad tanto a los estudiantes de la Universidad de Alicante, como de otras universidades, y ampliando su aplicación a otro profesorado e investigadores externos a nuestro grupo de trabajo. El material principal para la elaboración de la página web lo constituyen los videos, imágenes-esquemas y estadillos de prácticas ya que son los que proporcionan un información mas clara al estudiante.

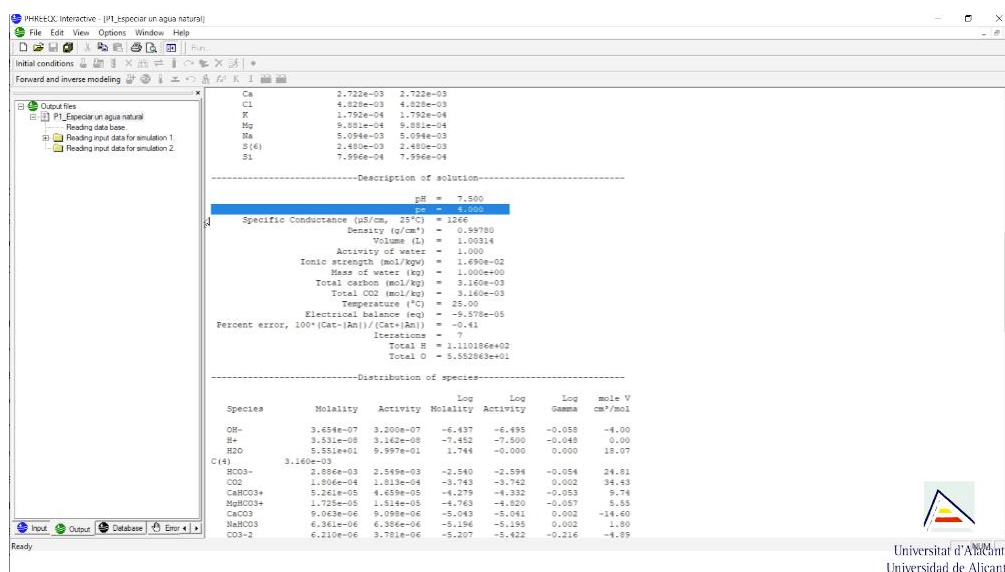


Figura 2. Ejemplo de un video tutorial que muestra los resultados (archivo output) de la especiación de una agua embotellada.

La web se ha incluido en la web de la Universidad de Alicante, donde otros materiales docentes desarrollados por el grupo se han publicado previamente:

<https://personal.ua.es/es/david-benavente/docencia/geoquimica/phreeqc/introduccion-a-la-modelizacion-geoquimica-con-phreeqc.html#Introduccion>

El uso de la web ha mostrado un excelente potencial, con gran aceptación por parte del alumnado, para el aprendizaje semipresencial y no presencial. La página web irá incluyendo más recursos docentes y del aprendizaje y actualizándose en cada curso académico.

En esta red-ICE se ha iniciado el desarrollo de un Moodle (2018-19_GEOQUÍMICA Y PROSPECCIÓN GEOQUÍMICA_25533) que integra gran parte de los tres tipos de materiales anteriores, además de actividades en grupo y la autoevaluación tanto por bloques como global.

La cuantificación de los resultados obtenidos en la investigación docente se ha valorado con el trabajo diario con los estudiantes y con encuestas realizadas a los estudiantes. Por un lado la encuesta realizada por el Secretariado de Calidad de la Universidad de Alicante en la asignatura Geoquímica y Prospección Geoquímica, y por otro lado por encuestas desarrolladas específicamente y basadas en la experiencia obtenida en redes-I³CE previas (ej.: Benavente *et al.*, 2017 y 2008). Éstas muestran una aceptación muy positiva de los recursos docentes elaborados.

Las encuestas fueron anónimas y realizadas por el alumnado de tercer curso del Grado de Geología que habían cursado la asignatura Geoquímica y Prospección Geoquímica (segundo semestre), en concreto un total de 10 estudiantes. La encuesta constaba de varias preguntas relacionadas con el proyecto de innovación docente: ¿consideras adecuados los materiales proporcionados (protocolos, estadillos, videos y web)?; ¿crees que son autosuficientes para el desarrollo de las prácticas?; ¿qué mejorarías de ellos? Los resultados mostraron una excelente aceptación, destacaron que la web eran el mejor recurso docente en su estado actual. Como sugerencia requerían una mayor base de los conceptos teóricos y más ejemplos de aplicación sencillos en la parte inicial de las prácticas.

4. CONCLUSIONES

Se han desarrollado herramientas y metodologías para modelización geoquímica que han mejorado sustancialmente el autoaprendizaje de los estudiantes de las asignaturas del grado de Geología y del Máster de Ingeniería Geológica, aunque principalmente se han implementado en la asignatura Geoquímica y Prospección Geoquímica (3º curso del grado en Geología).

Los resultados obtenidos con la implantación de estos materiales y metodologías han sido, según nuestro criterio, muy satisfactorios desde el punto de vista formativo ya que se han logrado los objetivos del aprendizaje establecidos en la memoria del Grado en Geología), tanto desde un punto de vista metodológico (coordinación entre los contenidos teóricos con la asignatura y con casos de estudio reales), como por su carácter motivador (trabajan con casos aplicados y de investigación, aumentando así su motivación) y calificativo.

Las prácticas han tenido una buena aceptación por parte de los estudiantes. El esfuerzo realizado en esta red-I³CE facilita la asimilación de los contenidos teórico-prácticos, tanto antes de comenzar las prácticas y durante su realización, así como posteriormente en el trabajo personal del alumno fuera del aula, es decir, se ha conseguido incentivar el

autoaprendizaje. El material desarrollado, tanto en la página web y el Moodle (que se está desarrollando en la actualidad) como el enfoque didáctico utilizado, ha mostrado tener un excelente potencial para el desarrollo de docencia semipresencial (b-learning) y no presencial (e-learning).

El futuro del funcionamiento de esta red-I³CE docente pasa por la implementación de los materiales docentes elaborados y el desarrollo de una web de calidad y un curso Moodle. Al igual que las diferentes redes-I³CE en las que nuestro grupo ha participado, esta red tiene una vocación de funcionamiento continuo, añadiendo más recursos docentes y de aprendizaje y actualizándose y adaptándose en cada curso académico.

5. TAREAS DESARROLLADAS EN LA RED-I³CE

PARTICIPANTE DE LA RED	TAREAS QUE DESARROLLA
David Benavente García	Coordinación de la Red; desarrollo contenido teórico-práctico de las asignaturas; elaboración de la web, estadillos de prácticas y elaboración del Moodle
Noé García Martínez	Elaboración y edición de videos
Juan Carlos Cañaveras Jiménez	Desarrollo contenido teórico-práctico de las asignaturas
Idael Francisco Blanco Quintero	Desarrollo contenido teórico-práctico de las asignaturas
Concepción Pla Bru	Desarrollo estadillos de prácticas y casos de estudio
Ángel Fernández Cortés	Desarrollo estadillos de prácticas y casos de estudio
M ^a Feliciano Martínez Conejero	Preparación de muestras y análisis geoquímicos
Miguel A. Rodríguez García	Contextualización de los casos de estudio

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Appelo C.A.J. y Postma D. (2005). *Geochemistry, groundwater, and pollution*. Balkema, Rotterdam, 649 p.
- Benavente, D., Cañaveras, J.C., Martínez Martínez, J., Muñoz Cervera, M.C., Ordóñez, S., Palomo, M, Rodríguez García, M.A. (2012). Red para la elaboración de materiales docentes en Petrología y Geoquímica (3º curso de Geología). En Álvarez Teruel, J.D.; Tortosa Ybáñez, M. T. y Pellín Buades, N. (Coords.), *Diseño de acciones de investigación en docencia universitaria*, pp. 1044-1063. Alicante: Vicerrectorado de Estudios, Formación y Calidad. Instituto de Ciencias de la Educación. Universidad de Alicante.
- Benavente, D., Cañaveras, J.C., Cuezva, S., Martínez Martínez, J., Muñoz Cervera, M.C., Ordóñez, S., Pla, C., Rodríguez García, M.A. (2013). Red para la elaboración de materiales docentes en el análisis de datos estadísticos y geoestadísticos (3º y 4º del Grado en Geología). En: Álvarez Teruel, J.D.; Tortosa Ybáñez, M. T. y Pellín Buades, N. (Coords.), *La Producción Científica y la Actividad de Innovación Docente en Proyectos de Redes*, pp. 2741-2755. Alicante: Vicerrectorado de Estudios, Formación y Calidad. Instituto de Ciencias de la Educación. Universidad de Alicante.
- Benavente, D., Brimblecombe, P., Grossi, C.M. (2015a). Thermodynamic calculations for the salt crystallization damage in porous built heritage using PHREEQC, *Environmental Earth Science* 74:2297-2313.
- Benavente, D., Puertas Poveda, R., Martínez Martínez, J., Pla, C., Cañaveras, J.C., Ordóñez Delgado, S. (2015b). Red para la elaboración de materiales docentes en el análisis y tratamiento de datos geoquímicos y petrológicos. En: Tortosa Ybáñez, M. T. Álvarez Teruel, J.D. y Pellín Buades, N. (Coords.) *XIII Jornadas de Redes de Investigación en Docencia Universitario: Nuevas estrategias organizativas y metodológicas en la formación universitaria para responder a la necesidad de adaptación y cambio*. Alicante: Universidad de Alicante. ISBN 978-84-606-8636-1, pp. 1605-1615.
- Benavente, D., Martínez-Martínez, J., Pla Bru, C., Cuevas González, J., Muñoz Cervera, M.C. Cañaveras, J.C., Ordóñez Delgado, S. (2016). Métodos y técnicas de análisis de materiales geológicos: Materiales docentes en el Grado en Geología. En: Tortosa Ybáñez, M.T.; Grau Company, S.; Álvarez Teruel, J.D. (coords.), *XIV Jornadas de Redes de Investigación en Docencia Universitaria. Investigación, innovación y enseñanza*

- universitaria: enfoques pluridisciplinares*. Alicante: Vicerrectorado de Estudios, Formación y Calidad. Instituto de Ciencias de la Educación. Universidad de Alicante. pp. 1818-1829.
- Benavente, D., Cañaveras, J.C., Rodríguez García, M.A. Muñoz Cervera, M.C., Cuevas González, J., Pla, C., Martínez Conejero, F., Crespo Jiménez, D., Gil Oncina, S. (2017). Elaboración de herramientas basadas en laboratorios virtuales para la docencia en Petrofísica. En: Roig-Vila, R. (coord.). *Memorias del Programa de Redes-I3CE de calidad, innovación e investigación en docencia universitaria. Convocatoria 2016-17*. Alicante: Universidad de Alicante, Instituto de Ciencias de la Educación (ICE), 2017. ISBN 978-84-697-6536-4, pp. 211-222.
- Benavente, D., Cañaveras Jimenez, J.C., Blanco Quintero, I.F., Pla, C., Pérez Tarruella, J., García Molina, M., Martínez Conejero, F., Muñoz Cervera, M.C., Cuevas González, J. (2018). Desarrollo de herramientas y metodologías para la cuantificación de propiedades de los minerales y rocas a microescala". En: Roig-Vila, Rosabel (coord.). *Memorias del Programa de Redes-I3CE de calidad, innovación e investigación en docencia universitaria. Convocatoria 2017-18*. Alicante: Universidad de Alicante, Instituto de Ciencias de la Educación (ICE), 2018. ISBN 978-84-09-07041-1, pp. 2639-2657
- Bethke, C.M. (2008). *Geochemical and Biogeochemical Reaction Modeling*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Cañaveras, J.C., Benavente, D., Blanco-Quintero, I.F., Muñoz Cervera, M.C., Rodríguez García, M.A., Martínez Conejero, F., Guardiola Bartolomé, J.V. (2018). Elaboración de material docente multimedia para la Asignatura de Petrología Sedimentaria (Grado en Geología, UA). En: Roig-Vila, Rosabel (coord.). *Memorias del Programa de Redes-I3CE de calidad, innovación e investigación en docencia universitaria. Convocatoria 2017-18*. Alicante: Universidad de Alicante, Instituto de Ciencias de la Educación (ICE), 2018. ISBN 978-84-09-07041-1, pp. 521-538
- Drever, J.I. (1988). *The Geochemistry of Natural Waters*. Second Edition, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 438p.
- Faure, G. (1998). *Principles and Applications of Geochemistry* (2nd Edition), Prentice Hall, 600 p.
- Langmuir, D. (1997). *Aqueous Environmental Geochemistry*, Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, N.J., 600 p.

- Parkhurst, D.L. y Appelo, C.A.J. (2013). Description of input and examples for PHREEQC
- Pla, C., Valdes-Abellan, J., Pardo Picazo, M.A., Jódar-Abellán, A., Trapote, A., Benavente, D., Fernández Cortés, A. (2018). Geoestadística con software libre: material para prácticas docentes. En: Roig-Vila, Rosabel (coord.). *Memorias del Programa de Redes-I3CE de calidad, innovación e investigación en docencia* universitaria. Convocatoria 2017-18. Alicante: Universidad de Alicante, Instituto de Ciencias de la Educación (ICE). ISBN 978-84-09-07041-1, pp. 945-960
- Richardson, S.M. y McSween, H.Y., JR. (1989). *Geochemistry. Pathways and Processes*, Prentice Hall, New Jersey 07632, p. 488.
- Stumm, W. y Morgan, J.J. (1996). *Aquatic chemistry: chemical equilibria and rates in natural waters*. Wiley.
- version 3—A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations: U.S. Geological Survey Techniques and Methods, book 6, chap. A43, 497 p., available only at <http://pubs.usgs.gov/tm/06/a43/>.
- Zhu, C. y Anderson, G.M. (2002). *Environmental Applications of Geochemical Modeling*. Cambridge University Press, London. 298 p.

Recursos de Internet básicos para el uso y manejo de PHREEQC.

- PHREEQC vs. 3; <https://www.usgs.gov/software/phreeqc-version-3/> (consulta [10/06/2019])
- PHREEQC Users: <http://www.phreeqcusers.org/> (consulta [10/06/2019])