

Indagación, Exoplanetas y Competencia Científica. Los Estudios de Caso como ABP para las Ciencias

*Inquiry, Exoplanets and Scientific Competence.
A Case Study PBL sequence*

NEUS RUIZ¹, ISABEL LLORENTE¹ Y JORDI DOMÈNECH-CASAL^{1,2}

¹ Institut Marta Estrada (Granollers, Barcelona).

² Departament de Didàctica de les Matemàtiques i les Ciències Experimentals, Universitat Autònoma de Barcelona.
E-mail: jdomen44@xtec.cat

Resumen El desarrollo de la competencia científica implica aspectos conceptuales, procedimentales y epistémicos para los que es necesario ubicar el alumnado en actividades de creación del conocimiento científico. El Estudio de Casos es una metodología activa de enseñanza que incorpora enfoques de la Enseñanza de las Ciencias Basada en la Indagación y el Aprendizaje Basado en Proyectos. Hemos desarrollado y aplicado una secuencia didáctica de Estudio de Casos para la enseñanza de la astronomía alrededor de los exoplanetas. Se describe la actividad y los resultados de su aplicación se recogen con la ayuda de una encuesta, un examen y análisis de producciones del alumnado. Se discuten las oportunidades de este tipo de actividades para el desarrollo de la competencia científica y se proponen vías para el desarrollo de actividades similares.

Palabras clave: Aprendizaje Basado en Proyectos, astronomía, Estudios de Caso, exoplanetas, indagación.

Abstract *The development of scientific competence includes conceptual, procedural and epistemic dimensions which make it necessary to place students in activities aimed at constructing scientific knowledge. Case Study is a methodology including aspects from Inquiry-Based Science Education and Project-Based Learning. We have developed and applied a didactic sequence for astronomy teaching on exoplanets. We describe the didactic sequence, and its results are discussed with the help of a survey and a test. The possibilities of Case Studies as a tool to develop scientific competence are analyzed, and we propose ways to develop other similar activities.*

Keywords: *Astronomy, Case Studies, exoplanets, inquiry, Project-Based Learning.*

INTRODUCCIÓN

La astronomía: un horizonte en expansión

Desde que el año 1961 el astronauta ruso Yuri Gagarin realizó el primer vuelo orbital a la Tierra en la misión *Vostok-1*, las misiones espaciales se han ido sucediendo. Una consulta breve en Wikipedia arroja más de 200 misiones¹ desde el principio de la carrera espacial, y el número no deja de crecer. Desde entonces, el imaginario colectivo según el cual la exploración espacial se basa en naves tripuladas que viajan por el sistema solar ha sido superado: las misiones son ahora constituidas por telescopios orbitales y sondas espaciales, y cada vez hay más misiones que

apuntan a obtener información de lo que hay más allá del Cinturón de Kuiper, fuera de los límites de nuestro sistema solar. Los horizontes de la astronomía se han expandido: las noticias en periódicos sobre misiones de exploración a Marte u otros astros de nuestro sistema como Encélado (incluso con el descubrimiento de evidencias de agua líquida) son superadas por las noticias de la sonda Kepler y los incesantes descubrimientos de nuevos exoplanetas fuera de nuestro sistema solar. Los exoplanetas –o planetas extrasolares– son planetas que orbitan alrededor de otra estrella distinta de la nuestra. La detección y análisis de exoplanetas es un campo emergente que, además de tener implicaciones en el desarrollo de las ciencias planetarias (Anguita, 2003), conecta con cuestiones esenciales como “¿Existe vida fuera de la Tierra?” o “¿Existen otros planetas habitables?”, que son objeto de controversia y despiertan el interés del alumnado (Jakosky, 1999). Los exoplanetas se hallan a grandes

¹ Misiones Espaciales ordenadas cronológicamente y por objetivos de exploración: https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Misiones_espaciales

distancias y su detección suele basarse en técnicas indirectas, que incluyen el análisis de tránsitos, el bamboleo estelar o la medida de la velocidad radial (Bellot, 2003, Caballero, 2003, Ollivier *et al.*, 2009). Su composición y estructura se infiere de estos datos en conjunto con otras medidas indirectas como la espectrometría, induciendo a partir de esos datos parciales y fragmentados su historia geológica y características ambientales (Anguita y Domingo, 2003). La primera detección de exoplanetas tuvo lugar en 1992, detectándose varios planetas del tamaño de la Tierra orbitando un púlsar (Wolszczan y Frail, 1992), y desde entonces han sido confirmados 3557 sistemas planetarios (Schneider, 2016), muchos de ellos orbitando alrededor de estrellas similares a nuestro Sol. Los planetas que están situados en la “zona de habitabilidad” (a una distancia media de su Sol que permitiría niveles de radiación y temperaturas moderadas y la presencia de agua líquida) despiertan especial interés entre los astrónomos y la comunidad científica en general (Ollivier *et al.*, 2009, Scharf, 2009). Se calcula que “sólo” en nuestra galaxia, la Vía Láctea, hay unos 300.000 millones de estrellas, y que cada estrella tendría una media de 1,5 planetas orbitando (Cassan *et al.*, 2012), lo que arroja un cálculo aproximado de 450.000 millones de exoplanetas en nuestra galaxia. De estos, “sólo” unos 40.000 millones estarían orbitando en la zona de habitabilidad de su estrella (Petigura *et al.*, 2013).

Los horizontes de la enseñanza de la astronomía en secundaria

La enseñanza de la astronomía en la Enseñanza Obligatoria (Primaria y Secundaria) se centra en el Sistema Solar, sus dinámicas y los planetas y satélites que lo componen y la conexión del Sistema Sol-Tierra-Luna con fenómenos observables como las estaciones, las fases de la Luna o la “salida” del Sol (Carmona, 1994, García, 2014, Vílchez-González y Ramos-Tamajón, 2015, González *et al.*, 2015). Esta visión *Sistema-Solar-Céntrica* que se suele trabajar en la escuela (García, 2014) choca con los horizontes que ofrecen en la actualidad la investigación científica y las noticias de los periódicos (o, incluso, referentes culturales como las películas de la saga *Star Wars*). Estudiantes que ya han oído hablar de Aldebarán, Alderamín o Alfa-Centauri en el cine y consideran natural la existencia de planetas extrasolares “regresan” al sistema solar en la escuela, a veces de la mano de referentes como la misión Apolo XI (en la que el Hombre caminó por primera vez sobre la Luna y que data de cuando todavía existía la Unión Soviética, un país desconocido para nuestros alumnos). Mientras, se ignoran las misiones *Mars PathFinder*, *Hubble* o *Kepler* actuales, lo que transmite la sensación de que la astronomía en secundaria se haya parado en 1969 y mantenga un obstinado telón en el Cinturón de Kuiper, el límite exterior del sistema solar. Las pocas veces que la astronomía escolar se asoma fuera del sistema solar, los alumnos suelen trabajar exclusivamente las constelaciones desde un punto de vista de su ubicación en la cúpula celeste y efectos de la rotación en su posicionamiento, lo que promueve una concepción de “Planetario” en 2 dimensiones, y elimina del modelo de universo su vertiginosa profundidad, sustentando la concepción

errónea de que los cuerpos celestes se encuentran todos en un mismo espacio “ahí afuera” indeterminado (Leite y Hosoume, 2009) y homogéneo, como si no hubiera miles de años luz entre una rica diversidad de cuerpos celestes, y alimentando una concepción Geocéntrica del Cosmos.

Estas deficiencias pueden considerarse la combinación de la falta de formación astronómica del profesorado de secundaria y de un tradicional maltrato de la disciplina a nivel de currículum, que ubicaba la astronomía únicamente en 1º de ESO y mantenía una aproximación “Sistema-Solar-céntrica”. La propuesta curricular de la LOMCE es un paso en la buena dirección, pero aún insuficiente: se mantiene una astronomía centrada en el sistema Sol-Tierra-Luna en 1º de ESO (con un solo ítem extra-Solar, referido a las teorías sobre el origen del universo) y se incorpora a la materia de Cultura Científica en 4º de ESO un bloque entero dedicado a ítems astronómicos más actualizados, haciendo referencia, por ejemplo a la estructura del universo más allá del sistema solar, los agujeros negros y las condiciones para la vida en otros planetas (Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2015). Aun así, la materia de Cultura Científica es cursada solo por algunos alumnos, por lo que la propuesta no ofrece todavía un tratamiento suficientemente amplio de los exoplanetas, la materia y energía oscura, o las técnicas de estudio en astronomía, como los telescopios o las sondas espaciales, todos ellos aspectos de actualidad en astronomía.

Las concepciones erróneas y la comunicación científica en astronomía

En la enseñanza de la astronomía suelen persistir concepciones erróneas difíciles de modificar, en ocasiones debido a concepciones alternativas de los docentes o errores en los materiales didácticos o a las dificultades inherentes a las escalas de tamaño de los elementos que la configuran (Solbes y Palomar, 2011, Varela *et al.*, 2012, García, 2014). Los alumnos de secundaria y bachillerato mantienen concepciones erróneas sobre la posición y movimiento de los cuerpos celestes (Domínguez y Varela, 2008, Leite y Hosoume, 2009), en particular respecto al sistema Sol-Tierra-Luna (De Manuel y Montero, 1995, Bach y Franch, 2004). Además, conocen poco sobre la estructura de nuestra galaxia (la Vía Láctea) y el universo en general (Afonso *et al.*, 1995). En el tema de los exoplanetas, el desconocimiento de aspectos epistémicos de la ciencia y de los métodos de la astronomía puede hacer que el público en general y el alumnado juzgue erróneamente que las imágenes de noticias de periódicos que ilustran los nuevos exoplanetas descubiertos son “fotografías” en lugar de reconstrucciones a partir de datos parciales y sujetos a niveles de (in)certidumbre. Precisamente por esa distancia epistemológica entre noticia e investigación científica, las noticias científicas constituyen un recurso para aprender sobre la naturaleza del conocimiento científico (Oliveras *et al.*, 2013, García-Carmona, 2015). Asimismo, las expectativas de una “nueva Tierra” y los referentes de Venus y Marte pueden generar la concepción de que todos los planetas son rocosos y tienen atmósfera.

MARCO METODOLÓGICO

Varios autores advierten que la persistencia de las concepciones alternativas en la enseñanza de la astronomía requiere una enseñanza de la astronomía activa, más problematizada y que ponga en conflicto los conceptos y modelos científicos y los fenómenos observables (García-Carmona, 1994, Bach et al., 2006, López-Llamas, 2013, Palomar y Solbes, 2015, Domènech-Casal, 2015b). Esta propuesta enlaza con consideraciones generales sobre la enseñanza de las ciencias (Hodson, 1994, Gilbert, 2006, Rocard, 2007, Sadler, 2009, Sanmartí et al., 2011) que defienden la importancia del contexto, y la participación activa del aprendiz en prácticas científicas y epistémicas propias de la ciencia. Los contextos deben ser relevantes (para el alumnado) y significativos (para el desarrollo de la Competencia Científica) (Pedrinacci et al., 2012, Sanmartí, 2016). En esta perspectiva, la OCDE estructura la competencia científica (OCDE, 2013, Garrido y Simarro, 2014) en tres dimensiones: la dimensión conceptual, que abarca los conocimientos de ciencia (hechos, conceptos, teorías y modelos); La dimensión procedimental, que se ocupa de las prácticas y enfoques en los que se basa la investigación empírica (toma de datos, control de variables...); La dimensión epistémica, que se ocupa de la comprensión de la forma en que se genera el conocimiento científico y la función que desarrollan en la Ciencia las preguntas, observaciones, teorías, hipótesis, modelos y argumentos).

Han sido varias las propuestas didácticas que han pretendido dar respuesta a esa necesidad de una metodología activa para el desarrollo de la competencia científica, comentamos a continuación sólo algunas de ellas usadas como referencia en esta propuesta.

La Enseñanza de las Ciencias Basada en la Indagación (ECBI) propone como metodología la construcción en primera persona por parte del alumnado de los modelos que constituyen el conocimiento científico siguiendo el proceso de creación del conocimiento científico (Llewellyn, 2005, Rocard, 2007, Osborne y Dillon, 2008; Caamaño, 2012). Según la ECBI y distintas variantes que responden al nombre de “Indagación” (Simarro et al., 2013), el alumnado seguiría en primera persona el proceso de formular preguntas, investigarlas mediante métodos científicos e inducir conceptos y modelos científicos. Si bien esta aproximación ha sido promovida desde distintas instituciones internacionales (Rocard, 2007), varios autores alertan que sus expectativas no se han cumplido del todo (Hattie, 2009), por la dificultad de que los alumnos consigan inducir modelos científicos complejos a un nivel y complejidad suficiente como para formar un marco global (Viennot, 2011) y porque en su aplicación la ECBI ha desarrollado versiones muy rudimentarias del proceso de indagación y de los modelos científicos, pobres en eventos de modelización y argumentación (Couso, 2014, 2015), claves en aspectos epistemológicos como la naturaleza de la ciencia.

Una propuesta alternativa para la enseñanza activa de las ciencias es el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP). Inicialmente formulado de forma

genérica por Kilpatrick (1918), parte de la necesidad filosófica de un propósito en los procesos de enseñanza-aprendizaje, lo que Kilpatrick llama “*Purposeful act*”, y del que existirían 4 tipos:

“Tipo 1, en el que el propósito es desarrollar una idea u objetivo externo, como construir un barco, escribir una carta, representar una obra; Tipo 2, donde el propósito es disfrutar una experiencia estética, como escuchar una historia o sinfonía, o apreciar una pintura; Tipo 3 cuando el propósito es resolver un conflicto intelectual, resolver un problema [...]; Tipo 4: cuando el propósito es desarrollar un nivel de dominio de una habilidad o conocimiento como aprender los verbos irregulares en francés”.

Los tres primeros tipos propuestos por Kilpatrick comparten enfoque con las reformulaciones actuales del ABP (Larmer et al., 2015): la existencia de un objetivo externo (p.e.: construir un barco) que se usa como contexto para instrumentalizar el aprendizaje de modelos y procedimientos científicos (p.e.: Empuje, Flotabilidad,...) dando lugar a escenarios en los que el alumnado se autogestiona y planifica en distintos grados (actividades abiertas, estructuradas y cerradas) (Grau, 2009, Trujillo, 2016, Chiva y Martí, 2016, Domènech-Casal, 2017a). Dentro de este grupo se incluiría el Aprendizaje Basado en Problemas, estrategia metodológica que comparte siglas (ABP) y propone la resolución de un problema como contexto en el que instrumentalizar la adquisición de nuevos conocimientos (Morales y Landa, 2004).

La ECBI y el ABP ofrecen elementos didácticos de interés para el desarrollo de las dimensiones de la Competencia científica, si bien cada uno de ellos por separado presenta limitaciones: mientras en la ECBI los procedimientos y elementos epistémicos pueden desarrollarse con cierta pertinencia, la construcción de los modelos científicos por parte del aprendiz es a menudo insuficiente. En cambio, en el ABP los modelos son aprendidos en su instrumentalización, si bien la orientación a un objetivo externo suele implicar secuencias interdisciplinarias (Grau, 2009, Guillaumes, 2016, Del Moral, 2016), en las que es complejo en ocasiones el desarrollo de aspectos procedimentales o epistémicos propios de las ciencias (Miró *et al.*, 2016).

Los Estudios de Caso son un tipo concreto de Aprendizaje Basado en Problemas en que se propone al alumnado una situación inicial concreto (real o verosímil) contextualizada en un ámbito del conocimiento, con pruebas a interpretar que presentan un problema a resolver (Wasserman, 1999) mediante el uso instrumental de modelos teóricos y dinámicas de discusión y argumentación. Esta metodología, muy usada en la enseñanza de ciencias sociales (derecho, economía,...) fue exportada a la enseñanza de las ingenierías y las ciencias como la medicina con la inclusión de dinámicas epistémicas científicas (Herreid, 1994) y varios autores defienden su aplicación para un desarrollo más profundo de conocimientos y procedimientos (Hudson y Buckley, 2004). Un tipo particular de los Estudios de caso es el “*Método de Caso Dirigido*” (Cliff y Wright, 1996, Cliff y Nesbit-Curtin, 2000), usado por los universitarios de medicina en la universidad McMaster, de Canadá

(Barrows, 1986, Morales y Landa, 2004), en que después de proponer el caso inicial, se proporcionan al alumnado nuevas pruebas de forma progresiva (Glew, 2003, Herreid, 2003), emulando la forma en que la Ciencia aborda los problemas, mientras los alumnos reciben clases teóricas sobre los modelos científicos implicados para que los alumnos establezcan conexiones con el problema a resolver. Los Estudios de Caso suponen un escenario de interés para el desarrollo de las tres dimensiones de la Competencia Científica, ya que el alumnado instrumentaliza modelos científicos en contextos (dimensión conceptual), desarrolla procesos de razonamiento científico (dimensión procedimental) y participa en dinámicas epistémicas propias de la Ciencia (dimensión epistémica) (Domènech-Casal, 2017a).

CONTEXTO, METODOLOGÍA Y OBJETIVOS

En esta línea, los exoplanetas y su investigación constituyen un ámbito temático de interés para la enseñanza de las ciencias desde una perspectiva conceptual (por sus implicaciones con preguntas esenciales y modelos básicos como el movimiento de translación y la estructura de sistemas solares), procedimental (por el trabajo investigador a partir de medidas indirectas) y epistémico (por las consideraciones relativas a la comunicación científica y la incertidumbre de unos datos en general escasos). Nos hemos propuesto desarrollar una secuencia sobre exoplanetas con los siguientes objetivos de aprendizaje: 1) Entender los métodos de detección y estudio de los exoplanetas; 2) Dominar el concepto de zona de habitabilidad y los factores que intervienen en ella; 3) Usar evidencias para inferir modelos y detectar pautas (inductivo); 4) Usar modelos para realizar predicciones (deductivo); 5) Contextualizar y dar sentido a léxico específico (órbita, período, masa, gravedad,...); 6) Aprender a escribir un texto periodístico. La actividad se ha desarrollado como Estudio de Caso siguiendo orientaciones de anteriores experiencias (Domènech-Casal, 2014a, 2015a, 2016a, 2017a):

- Los alumnos parten del análisis de pruebas de una situación-caso inicial verosímil ubicada en un contexto epistémico propio de las ciencias (excavación arqueológica, investigación biomédica...).
- A lo largo de la secuencia se incorporan modelos científicos, andamios lingüísticos y eventos epistemológicos científicos (seminarios de laboratorio, congresos científicos...).
- Los alumnos trabajan en equipos, siguiendo una secuencia estructurada en etapas de las que resultan productos parciales.
- A lo largo de la secuencia se aportan de manera paulatina nuevas pruebas.
- Se elabora un producto final en formato de comunicación científica (artículo, póster, peritaje...).

El proyecto de indagación *Exos* ha sido diseñado y aplicado el curso 2016-2017 con 60 alumnos de 1º de ESO en el Instituto de Secundaria Marta Estrada

(Granollers), un centro de nueva creación cuyos ejes pedagógicos incluyen la orientación a la ciencia y la tecnología y la metodología ABP. En la actividad se propuso al alumnado trabajar por parejas (equipos base) como investigadores astronómicos para partir de evidencias iniciales para caracterizar dos posibles exoplanetas y comunicar sus descubrimientos en forma de artículo periodístico. El trabajo por parejas pretende en esta secuencia provocar la discusión sobre conceptos entre iguales, instrumentalizando el léxico. Cada equipo investiga evidencias de dos posibles exoplanetas. La actividad sigue varias etapas (que se describen en la Tabla I) y los materiales de apoyo generados (diario de observación y fichas de evidencias) están disponibles en la página web creada *ad hoc* <https://sites.google.com/site/huntingexos/guia-didactica/>

A lo largo de las sesiones los alumnos han ido anotando sus progresos en su diario de observación. Como apoyo, el diario de observación incluye varios andamios lingüísticos (iniciadores de frase, conectores, léxico específico,..) para apoyar el desarrollo de habilidades cognitivo-lingüísticas de las ciencias (describir, comparar argumentar,...), tal como proponen otros autores, en particular para la producción de textos científicos (Sanmartí et al., 1999) y géneros lingüísticos propios del área (como artículos científicos, ensayos...) (Domènech-Casal, 2016b).

Como producto final del proyecto se ha elegido la elaboración de un artículo periodístico porque: 1) es un género lingüístico reconocible y que se estructura en base a preguntas (Qué, Quién, Dónde, Cuándo, Porqué...) 2) es fácilmente convertible a un producto colectivo (Revista) 3) es un formato probable de acceso del alumnado a información astronómica una vez terminada su etapa formativa. El trabajo se realizó como colaboración entre las asignaturas de Ciencias Naturales y Lengua Castellana, ésta última aportando el trabajo específico sobre el texto periodístico.

Nuestros objetivos en este artículo son:

1. Testar la capacidad de los Proyectos de Indagación para ofrecer oportunidades para el desarrollo de las tres dimensiones de la competencia científica (conceptual, procedimental y epistémica).
2. Mostrar un módulo de organización de aprendizaje basado en proyectos en el ámbito de la astronomía.
3. Promover y evaluar el cambio en las concepciones sobre astronomía del alumnado.

Recogida de datos

Como herramientas de seguimiento y evaluación, se ha usado la observación cualitativa en el aula y el análisis de las producciones del alumnado en distintas etapas de la actividad (fichas de evidencias y diario de observación). Al final de la actividad se aplicó una encuesta a los alumnos participantes en la que se propuso a los alumnos distintas frases en relación a los ejes conceptual, procedimental y epistémico de la actividad, y los alumnos puntuaron su grado de acuerdo/desacuerdo en una escala del 6 al 1. Para algunas de las preguntas se pidió tam-

| ETAPA Y DESCRIPCIÓN. | OBJETIVO EN LA SECUENCIA | Objetivo de aprendizaje y dimensión de Competencia Científica asociada (CONCEPTUAL, PROCEDIMENTAL, EPISTÉMICA) | Productos (EN TODAS LAS ETAPAS: DIARIO DE OBSERVACIÓN) |
|--|---|---|---|
| O. Introducción y motivación. Visualización del Documental “Los confines del universo” y conversación. Formación de equipos de astrónomos. Gran grupo. 1h. | Comunicar el rol investigador esperado en el alumnado. Familiarizar al alumnado con las complejidades de la investigación astronómica en exoplanetas | Entender la Astronomía como conocimiento en construcción. E Comprender la naturaleza indirecta de los datos astronómicos. E | Discusión oral. |
| A. Lectura cooperativa de artículos periodísticos sobre descubrimientos de exoplanetas. Grupos cooperativos. 2h. | Familiarizarse con la estructura de los artículos periodísticos sobre ciencia, para poder escribir uno al final de la secuencia. | Conocer la estructura de la comunicación científica periodística. P, E. Identificar léxico (tránsito, zona de habitabilidad, gravedad) y técnicas clave en la investigación sobre exoplanetas. C, P. | Fichas de análisis de la lectura. |
| B. Análisis de tránsitos planetarios. Equipos base. 2h. | Determinar el tamaño y frecuencia de rotación (duración del año) de 2 posibles exoplanetas. | Interpretar datos en distintos formatos científicos. P. Colectar, describir y catalogar pruebas P. Inducir un modelo a partir de datos y determinar el rango de certidumbre. C, P, E. Conceptos de translación, plano de la eclíptica, órbita, tránsito, espectrometría, y medida indirecta C. | Fichas de análisis de datos. diario de observación. |
| C. Análisis espectrométricos. Equipos base. 1h. | Determinar la composición del planeta en referencia a compuestos clave para el desarrollo de vida (Agua, atmósfera,...). | Entender la ciencia como la construcción paulatina de modelos a partir de evidencias. E. | |
| Reconstrucción de la órbita y velocidad de los planetas. Inferir su temperatura mediante el uso tentativo de un simulador. Equipos base. 2h. | Usar los datos de masa y frecuencia de translación para inducir una distancia media de la estrella y velocidad probable. Inducir a partir de la distancia su temperatura media probable. | Entender las relaciones entre masa, distancia, velocidad, atracción gravitatoria y órbita. C. Elaborar hipótesis, diseñar experimentos y sacar conclusiones de datos. P | Simulación en ordenador. diario de observación. |
| E. Construir una imagen de los exoplanetas. Equipos base. 2h. | Preparar imágenes para ilustrar la noticia del descubrimiento. | Comunicar científicamente P. Entender las imágenes que aparecen en los medios como representaciones (y no fotografías) de datos complejos, verdaderas, pero inciertas. E. Geodiversidad morfológica y paisaje en Ciencias Planetarias. C, P. | Análisis del texto de referencia. Dibujo de los exoplanetas. |
| F. Comunicación de los resultados. Equipos base/gran grupo. 4h. | Sintetizar la investigación y los datos en forma de artículo periodístico. | Conocer la estructura de la comunicación científica periodística. P, E. Entender los artículos sobre investigaciones como un resumen muy sintetizado de un proceso muy largo e incompleto. E. | Artículo periodístico. Revista digital. |

bién a los alumnos que valoraran el impacto de la actividad identificando su grado de apoyo a cada frase antes de realizar la actividad. Para simplificar el análisis de los datos, se han agrupado las respuestas como *De acuerdo* (valores del 4 al 6) o *En desacuerdo* (valores del 1 al 3). La encuesta se pasó a los alumnos una vez terminada la actividad y por razones organizativas, sólo pudieron recogerse 35 encuestas de los 60 participantes.

Adicionalmente, con un grupo-clase (18 alumnos) se realizó posteriormente a la secuencia un examen en el que se incluyó una pregunta destinada a evaluar específicamente su habilidad para el razonamiento inductivo y deductivo, siguiendo propuestas anteriores (Goytia *et al*, 2015), en la que los alumnos debían asociar descripciones de observaciones astronómicas a posiciones de los astros en el plano de la eclíptica (razonamiento inductivo-deductivo). Asimismo se incluyó una pregunta destinada a evaluar el dominio de léxico específico en que debían asociar a distintas definiciones términos de léxico que correspondieran. El formulario de la

encuesta y los enunciados de las preguntas del examen están disponibles para su consulta². Se revisaron los artículos periodísticos de estos 18 alumnos en relación al desarrollo de aspectos conceptuales (presencia y uso correcto de léxico específico en el contexto), procedimentales (vinculación de las conclusiones con los datos presentados) y epistémicos (presencia de expresiones relativas al grado de certidumbre de las conclusiones).

DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD

Los enunciados de la secuencia de tareas propuestas al alumnado están disponibles en el ejemplar de diario de observación individual disponible en la web de la actividad. En las etapas O y A, se realizó el visionado del vídeo inicial y la actividad

² Descarga libre en: <https://app.box.com/s/hpnr27xb3a-nelmofe74d4w4sgqca78s4>

Tabla 1. Representación de las etapas de la secuencia. Cada etapa desarrolla un papel lógico en la narrativa de la secuencia (objetivo en la secuencia) y promueve unos objetivos de competencia científica relacionados con las dimensiones conceptual, procedimental y epistémica.

de lectura cooperativa de artículos. Se promovieron los debates y discusiones sobre las actividades. Esto permitió clarificar aspectos del léxico (bamboleo estelar, tránsito, eclipse,...) y de las preguntas periodísticas (*Qué, Quién, Cómo, Cuándo, Porqué*) asociadas a apartados de una noticia (algunos alumnos tuvieron dificultades en identificar la respuesta a las clásicas preguntas periodísticas *¿Qué? o ¿Cómo?*).

Etapas B y C: Tránsitos planetarios y análisis espectrométricos

En estas etapas los alumnos parten de evidencias parciales (gráficos del nivel de luminosidad de una estrella, datos espectrométricos...) detalladas en fichas de evidencias para inducir de ellos la composición, tamaño y frecuencia de translación de dos exoplanetas (distintos para cada equipo).

Los datos iniciales (Fig. 1) contienen réplicas, de modo que al obtener varios resultados, se inician discusiones interesantes en las que los alumnos llegan a la necesidad de calcular valores me-

dios o, incluso, desestimar aquellos valores que resulten muy discrepantes con el resto. Las fichas de evidencias piden al alumnado determinar el grado de certidumbre de cada conclusión mediante iniciadores de frase (Fig. 2). Estos iniciadores promueven una discusión epistémica sobre el rango de certidumbre de los resultados y sobre aspectos procedimentales como el diseño de experimentos.

Etapas D: Medida tentativa de la velocidad y distancia de los exoplanetas

En esta etapa se propone a los alumnos el uso de un simulador astronómico de acceso libre en el que los alumnos introducen la masa de los exoplanetas que están investigando (Fig. 3). Los alumnos deben realizar distintas tentativas con distintos valores de velocidad y distancia de la estrella central hasta conseguir una órbita que se ajuste al período de translación medido en la etapa anterior. La actividad con laboratorios virtuales promueve ciclos rápidos de propuesta de hipótesis, diseño de experimentos y construcción de modelos explicativos (Domènech-Casal, 2014b). En el diálogo, los alum-

Fig. 1. Alumnos haciendo cálculos para inducir el tamaño de un exoplaneta a partir de la atenuación lumínica de sus tránsitos. Imágenes de espectrometrías y tránsitos con los que trabajan los alumnos.

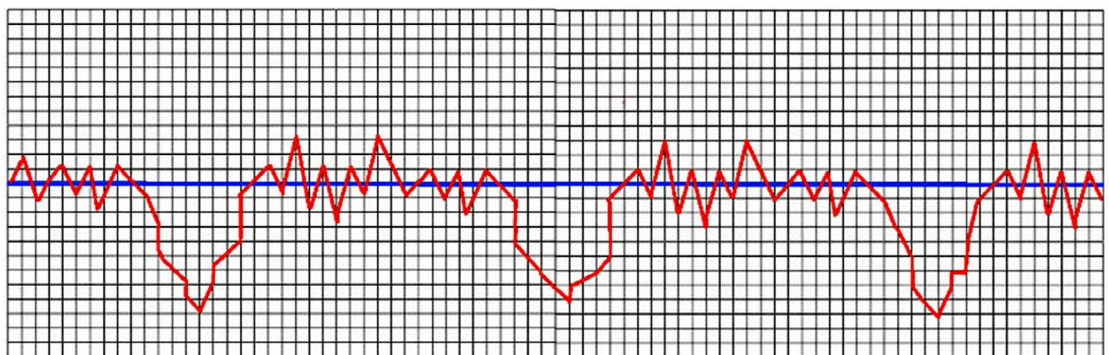
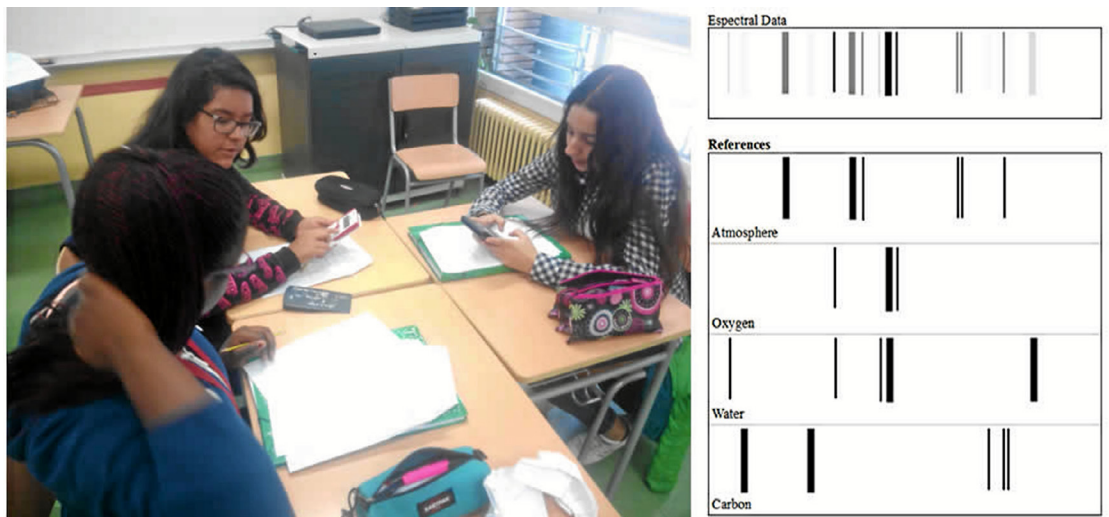


Fig. 2. Parte final de la Ficha de análisis de tránsitos. Se incluyen iniciadores para ayudar al alumnado a establecer grados de certidumbre y realizar una primera aproximación al diseño de experimentos al pedirle que explicite qué necesitarían para mejorar la certidumbre de los resultados.

Se trata de un cuerpo celeste de una masa de veces la masa de la Tierra. Estamos muy/bastante/poco seguros, porque.....

Su órbita tiene un período de Estamos muy/bastante/poco seguros, porque

Para estar más seguros, nos haría falta....

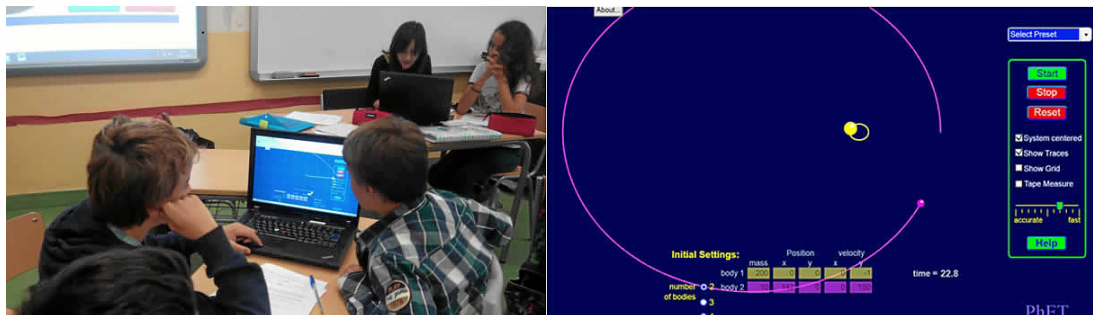


Fig 3. Alumnos investigando mediante el simulador de sistemas astronómicos Simulador My Solar System <https://phet.colorado.edu/en/simulation/my-solar-system>

-Alumno 1.- Probemos aquí y con poca velocidad.
 -Alumno 2.- [...] Se “cae” en la estrella. En el sol. Hay que poner más velocidad.
 -Alumno 3.- No, más lejos.
 -Alumno 1.- Si lo ponemos más lejos, se caerá igual, porque al final la estrella lo atrae igual. Hay que poner velocidad, porque si no no tiene fuerza para ir girando sin caer.
 -Alumno 3.- Vale. Pon más velocidad.
 -Alumno 2.- [...] Ahora sí. Se aguanta. [...] Pero mira, tarda mucho más de lo que tarda el nuestro.
 -Alumno 3.- Profe, no nos sale el tiempo. Tarda demasiado.
 -Profesor-Qué podríais hacer para que el recorrido sea más corto?
 -Alumno 2.- Lo acercamos, menos distancia. Pero entonces se caerá, ¿no?
 -Profesor-Colisionará con la estrella. ¿Qué podríais hacer para que no lo hiciera?
 -Alumno 1.- Ah, como antes, más velocidad. Así se va escapando y puede girar sin colisionar.
 -Profesor.-Orbitar.
 Alumno 1.- Sí ... orbitar más cerca, sin colisionar.
 Alumno 2.- Bajo 10 de distancia.
 Alumno 3.- No, mejor 20. No subas mucho de velocidad.
 Profesor.-Disminuir... aumentar...
 Alumno 3.- Eso. Aumenta sólo un poco la velocidad, porque si no la órbita será demasiado ancha y tardará más.
 Profesor 4.-¿Cómo sería “tardar más”? ¿Cómo se dice en término científico?
 Alumno 1.- Período. Un período más largo. ¿Así nos saldrá?
 Profesor.- Prueba, a ver.

Fig 4. Reconstrucción de un diálogo en el que los alumnos interaccionan con el simulador incorporando en la discusión los términos de léxico científico.

nos instrumentalizan conceptos como la atracción gravitatoria, órbita, fuerza centrífuga, y el desarrollo de discusiones procedimentales sobre el diseño de experimentos (Fig. 4).

Etapa E: Representación de los exoplanetas.

En esta etapa se ofrecen dos espacios y orientaciones (qué colores identifican la composición, qué

aspecto tiene un planeta sin atmósfera: con cráteres/sin cráteres...) para que los alumnos preparen una representación artística de las características de sus exoplanetas de estudio (Fig. 5). Aunque esta etapa se ubica al final de la secuencia, en cada una de las etapas anteriores B, C y D de análisis de evidencias, se invita al alumnado a hacer una aportación a esta sección, de modo que se visualiza el cambio de representación a medida que se incorporan nuevos datos. Esta etapa pretende que los alumnos comprueben en primera persona la naturaleza creativa de la ilustración científica: no son imágenes reales, sino verosímiles.



Fig 5. Representaciones de exoplanetas en función de la presencia/ausencia de atmósfera, agua, temperatura media, etc.

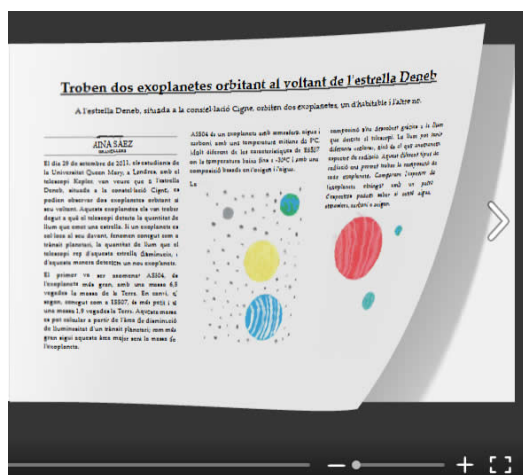


Etapa F. Elaborar un artículo periodístico

Los alumnos trabajan por parejas y se apoyan en andamios lingüísticos y ejemplos de artículos reales para elaborar el artículo periodístico de su descubrimiento, en el que incluyen las ilustraciones. Parte de los artículos elaborados por el alumnado fueron publicados en una revista elaborada como parte de una exposición astronómica organizada por el Instituto en el Museo de Ciencias de la Ciudad (Fig. 6).

Como apoyo a la escritura de los artículos, se analizaron con los alumnos las características de los textos iniciales.

Fig. 6. Recorte de uno de los artículos periodísticos de la revista elaborada, disponible en digital en: <https://issuu.com/jdomenechca/docs/llibre>.



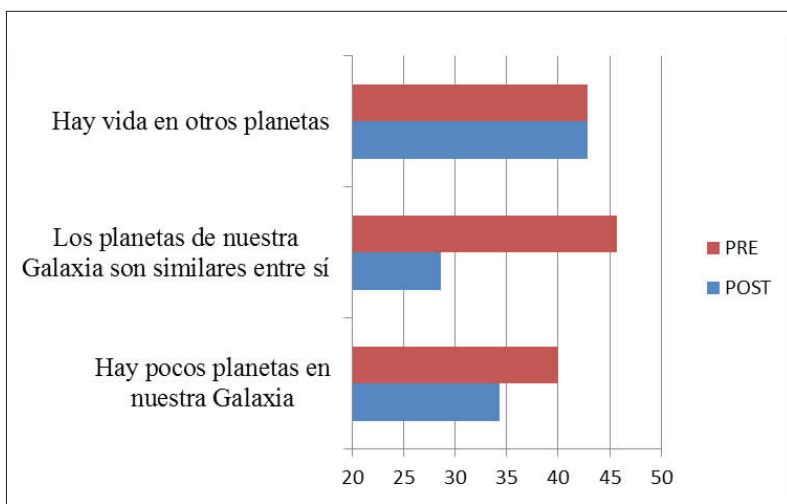
RESULTADOS

Observaciones y producciones del alumnado

Los alumnos participaron con interés e implicación en la investigación. En los análisis de fichas de evidencias los alumnos muestran un dominio avanzado de términos de léxico específico como período, masa o zona de habitabilidad. Atribuyen correctamente a los datos discrepantes o a la falta de precisión fuentes de incertidumbre y proponen de manera espontánea soluciones como realizar más medidas o cambiar el telescopio por otro más preciso.

En el uso del laboratorio virtual, se han observado muchas discusiones con impacto en

Fig. 7. Representación del % de alumnos que apoyan las afirmaciones (Post), en contraste con lo que afirman que pensaban al inicio de la actividad.



aspectos procedimentales, como el diseño de experimentos. En la representación de los exoplanetas, el alumnado ha conseguido representarlos de modo que manifiesten características ambientales (temperatura, atmósfera, presencia de agua,...), participando en primera persona en el rol de “representador” o divulgador de conclusiones científicas con niveles de certidumbre diversos. En los 9 artículos periodísticos revisados al final de la actividad, más allá de aspectos lingüísticos como la coherencia o la estructura de artículo periodístico, la mayoría (8) cumple las condiciones que hemos considerado relevantes desde el punto de vista de las tres dimensiones de la competencia científica: presencia y uso correcto de léxico específico en el contexto, vinculación de las conclusiones con los datos presentados y presencia de expresiones relativas al grado de certidumbre de las conclusiones.

Encuesta al alumnado

En la encuesta, varios alumnos mencionan espontáneamente como elementos positivos: el trabajo con el laboratorio virtual, que fuera “su” exoplaneta y el hecho de actuar como si fueran investigadores. En las frases que inciden sobre aspectos epistemológicos de la astronomía al final de la actividad los alumnos refutan frases como “Los científicos se inventan cómo son los exoplanetas” (88% de refutación), “Las imágenes de noticias sobre exoplanetas representan con exactitud su aspecto” (56%), “Los científicos lo saben todo sobre el universo” (66%) o “Sólo son científicas las cosas de las que estamos seguros” (60%). La frase “Los científicos están completamente seguros de sus conclusiones cuando las cuentan” es refutada sólo por un 34% del alumnado.

En relación a concepciones sobre el universo o la galaxia, a lo largo de la actividad decrece el %de alumnos que consideran que los planetas de la galaxia son similares entre sí o que hay pocos planetas en la galaxia (Fig. 7).

Al pedir al alumnado que valore del 1 al 6 su apoyo a frases relativas al aprendizaje de aspectos conceptuales, procedimentales o epistémicos, los alumnos puntúan de media que investigando como si fueran científicos, aprenden mejor los conceptos (4,3), aprenden mejor a investigar (4,9) y a conocer cómo funciona la ciencia (4,5).

Evaluación de conceptos y habilidades científicas

En la pregunta de evaluación de habilidades de indagación (realizada por un grupo-clase de 18 alumnos), sólo 3 de los alumnos realizaron de forma incorrecta o incompleta la actividad, lo que significa que un 83% demostró habilidades procedimentales de razonamiento inductivo-deductivo. En los resultados de la pregunta sobre léxico (que incluía 10 términos), el 77% del alumnado (14 alumnos) identificó correctamente 9 o 10 de las 10 las definiciones de términos vinculados al proyecto: cráter, gravedad, zona de habitabilidad, espectrometría, bamboleo estelar, tránsito, translación... Sólo un alumno con necesidades educativas especiales obtuvo menos de un 70% de éxito, obteniendo un éxito del 30%.

CONCLUSIONES

Consideramos que este tipo de actividades de Estudio de Caso permiten el trabajo de las tres dimensiones de la competencia científica. En esta actividad en concreto la distintas aportaciones propuestas (Tabla 1) han resultado en desarrollo del léxico y los modelos científicos (conceptual), el diseño de experimentos y la elaboración de conclusiones de datos (procedimental) y los grados de certidumbre y la naturaleza de la comunicación científica (epistémica) tal como muestran las observaciones de aula. La encuesta realizada confirma que ésta es también la apreciación de los participantes, los alumnos, en especial en lo que respecta a la dimensión procedimental.

Si bien la encuesta muestra también cambios positivos en las concepciones relativas a la cantidad y diversidad de exoplanetas y las visiones epistémicas sobre la ciencia en un porcentaje elevado del alumnado, los resultados de las actividades y las conversaciones con el alumnado en el aula nos hacían esperar porcentajes mayores de alumnos que refutaran frases de ámbito epistémico como “Las imágenes de noticias sobre exoplanetas representan con exactitud su aspecto” o “Sólo son científicas las cosas de las que estamos seguros”. Consideramos que favorecer más situaciones de discusión epistémica en el aula puede ser ayuda en este sentido. La actividad está abierta a simplificaciones (un solo exoplaneta por pareja) o modificaciones (hacer que los alumnos creen la evidencias iniciales, como un acertijo para otros alumnos, incorporar dinámicas de exposición oral o modelización,...) y además del trabajo integrado desarrollado con la asignatura de Lengua podrían incorporarse como vías de trabajo interdisciplinar las Matemáticas (cálculos y representación y análisis de gráficos) o Visual y Plástica (representación de exoplanetas).

En su aplicación, es necesario prevenir posibles concepciones erróneas generadas por transposiciones didácticas realizadas para ajustar la complejidad del tema al alumnado de 1ºESO:

-Las asociaciones entre características físicas (atmósfera, frío extremo...) y su representación geomorfológica en imagen son simplificaciones *ad hoc* para esta actividad y no pueden extrapolarse para su uso científico real.

-El cálculo de la distancia de cada planeta de su Sol obvia aspectos como el afelio-perihelio y puede generar la concepción errónea de que período, masa y velocidad son los únicos factores que participan, obviando interferencias de otros planetas y trayectorias no eclípticas.

-Aunque se incide en ello, es posible que los alumnos saquen la conclusión errónea de que todos los exoplanetas orbitan su Sol en un plano de eclíptica coplanar con la Tierra.

-La secuencia no trabaja el aspecto de las distancias entre estrellas o las dificultades del alumnado en la comprensión del concepto de “año-luz”, lo que –en combinación con la percepción acertada de que existen muchos exoplanetas en zona de habitabilidad- puede llevar a los alumnos a tener una percepción errónea de la facilidad para alcanzar esos exoplanetas.

Orientaciones didácticas

Para aquellos docentes que deseen elaborar propuestas de Estudios de Caso, fruto de esta experiencia y experiencias anteriores de elaboración de propuestas didácticas (Domènech-Casal 2014a, 2015a, 2016a, en prensa) recomendamos seguir los pasos a continuación para diseñar secuencias de Estudios de Caso contextualizados (Domènech-Casal, 2017b):

- 1) Establecer el conflicto y las pruebas: ¿Cuál será el punto de partida? ¿Qué deben interpretar/resolver los alumnos?
- 2) Secuenciar las etapas, productos parciales y dinámicas sociales de creación del conocimiento.
- 3) Identificar los modelos científicos y crear los andamios didácticos y apoyos para cada etapa.
- 4) Revisar si se están desarrollando las tres dimensiones conceptual, procedimental y epistémica.

Es especialmente importante que el proceso emule en lo posible el proceso científico, en el que nuevas evidencias cambian las interpretaciones, por lo que las evidencias deberían incorporarse de forma paulatina y permitir interpretaciones siempre parciales, provocando un cierto grado de incertidumbre. El uso de laboratorios virtuales o simuladores en el marco de Estudios de Caso es una herramienta que permite la experimentación con elementos que –por sus dimensiones o complejidad- de otro modo serían imposibles, y su ubicación en contextos relevantes (Domènech-Casal, 2014a, Domènech-Casal, 2016b, Domènech-Casal, 2016c). Pedir al alumnado “Cuán seguros están de sus conclusiones” es un modo sencillo de promover una reflexión epistémica. Asimismo, conviene conectar las propuestas al entorno temporal o geográfico inmediato: leer noticias de periódico relacionadas, o ubicar la secuencia en el marco de alguna controversia de relevancia para el alumnado. Asimismo, vincular la actividad a distintos tipos de producciones (modelos y maquetas, narraciones de ciencia-ficción, reportajes...) es una vía de interés para el desarrollo de este tipo de actividades.

Esta actividad forma parte del Proyecto C3 (Domènech-Casal, 2016b), y una versión simplificada ha sido incluida como material docente “proyecto de indagación” en el proyecto europeo *EngagingScience* (Alcaraz-Domínguez *et al*, 2016). El proyecto EXOS forma también parte de la colección de actividades de aprendizaje activo de la astronomía *Astrono-Me³* junto con otros dos proyectos desarrollados en el centro educativo (Domènech *et al*, 2016, Domènech-Casal y Ruiz, 2017b)- y experiencias previas (Domènech-Casal, 2015b). El lector encontrará de interés trabajos de otros autores relativos al aprendizaje de astronomía basado en la interpretación de gráficos y espectros con la ayuda de laboratorios virtuales o simuladores o en el desarrollo de roles por parte del alumnado (Redondo, 2015, Casas *et al.*, 2016).

3 *Itinerario Educativo Astrono-Me* <https://sites.google.com/site/astrozo2me/home>

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la comunidad educativa del INS Marta Estrada (alumnos, profesorado y familias) su apoyo en la aplicación de los marcos metodológicos propuestos. La secuencia didáctica *Exos* es el desarrollo de una idea original co-creada en el #betacamp16 por el nodo de profesorado #TauronsIndagadors <http://www.betacamp.cat/taurons-indagadors/>. Reflexiones incluidas en este artículo se enmarcan en la reflexión metodológica llevada a cabo en el grupo de investigación consolidado LICEC (referencia 2014SGR1492) por AGAUR y financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad (referencia EDU2015-66643-C2-1-P).

BIBLIOGRAFÍA

- Afonso, R., Bazo, C., Lopez, M., Macau, M. D., Rodriguez, M. L. (1995). Una aproximación a las representaciones del alumnado sobre el universo. *Enseñanza de las Ciencias*, 13 (3), 327-335.
- Alcaraz-Dominguez, S., Barajas, M., Domènech-Casal, J., Garrido, B. (2016). Recursos digitales abiertos: noticias científicas de actualidad. *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 84, 80-81.
- Anguita, F. (2003). Ciencias Planetarias para el ciudadano del siglo XXI. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 11(3), 158-162.
- Anguita, F., Domingo, M. (2003). Del cálido Venus a los helados cometas, pasando por las guerras marcianas: algunas claves del Sistema Solar. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 11(3), 170-180.
- Bach, J., Franch, J. (2004). La enseñanza del sistema Sol-Tierra desde la perspectiva de las ideas previas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 12(3), 302-312.
- Bach, J., Couso, D., Franch, J. (2006). Estrategias de enseñanza del Sistema Sol-Tierra. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 14(1), 29-37.
- Barrows, H.S. (1986) A Taxonomy of problem-based learning methods. *Medical Education*, 20, 481-486.
- Bellot, L.R. (2003). Técnicas de observación de exoplanetas. *Tribuna de Astronomía: Revista de astronomía, astrofísica y ciencias del espacio*, 43, 28-30.
- Caballero, J. A. (2003). Exoplanetas, la promesa de una planetología comparada. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 11(3), 187-193.
- Caamaño, A. (2012) ¿Cómo introducir la indagación en el aula? Los trabajos prácticos investigativos. *Alambique: didáctica de las ciencias experimentales*, 70, 83-91.
- Carmona, A. (1994). Reflexiones sobre la enseñanza de la Astronomía en la E.S.O. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 2(2-3), 404-409.
- Casas, R., Markiewicz, A., Carrillo-Rosúa, J. (2016). Búsqueda de vida fuera del planeta Tierra: "Banco" de actividades para educación secundaria. *Revista de Didácticas Específicas*, 14, 23-38.
- Cassan, A., Kubas, D., Beaulieu, J.-P., Dominik, M., Horne, K., Greenhill, J., Wambsganss, J., Menzies, J., Williams, A., Jørgensen, U. G., Udalski, A., Bennett, D. P., Albrow, M. D., Batista, V., Brillant, S., Caldwell, J. A. R., Cole, A., Coutures, Ch., Cook, K. H., Dieters, S., Prester, D. Dominis, Donatowicz, J., Fouqué, P., Hill, K., Kains, N., Kane, S., Marquette, J.-B., Martin, R., Pollard, K. R., Sahu, K. C., Vinter, C., Warren, D., Watson, B., Zub, M., Sumi, T., Szymański, M. K., Kubiak, M., Poleski, R., Soszynski, I., Ulaczyk, K., Pietrzyński, G., Wyrzykowski, L. (2012). One or more bound planets per Milky Way star from microlensing observations. *Nature*, 481 (7380), 167-169.
- Chiva, O., Martí, M. (2016). *Métodos pedagógicos activos y globalizadores. Conceptualización y propuestas de aplicación*. Barcelona, Graó.
- Cliff, W. H., Wright, A. W. (1996) Directed case study method for teaching human anatomy and physiology. *Advances in Physiology Education*, 15, 19-28.
- Cliff, W. H., Nesbitt-Curtin, L. (2000). The directed case method. *Journal of College Science Teaching*, 30(1), 64-66.
- Couso, D. (2014). De la moda de "aprender indagando" a la indagación para modelizar: una reflexión crítica. *XXVI Encuentro de Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Huelva (Andalucía).
- Couso, D. (2015). La clau de tot plegat: la importancia de "què" ensenyar a l'aula de ciències. *Revista Ciències*, 29, 29-36.
- De Manuel, J., Montero, A.M. (1995). Dificultades en el aprendizaje del modelo Sol-Tierra. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 3(2), 91-101.
- Del Moral, S. (2016). Del conocimiento al aprendizaje, un camino sin retorno. Materias y competencias en el ABP. *Cuadernos de Pedagogía*, 472, 51-54.
- Domènech, X., Llorente, I., Ruiz, N., Serra, C., Ulldemolins, M., Arrizabalaga, A., Domènech-Casal, J. (2016). XYZ-Stars i Solar System Pathway: una experiència museística de treball per projectes sobre les constel·lacions i el Sistema Solar. *Revista Ciències*, 31, 21-28.
- Domènech-Casal, J. (2014a). Una secuencia didáctica en contexto sobre evolución, taxonomía y estratigrafía basada en la indagación y la comunicación científica. *Alambique, didáctica de las Ciencias Experimentales*, 78, 51-59.
- Domènech-Casal, J. (2014b). Indagación en el aula mediante actividades manipulativas y mediadas por ordenador. *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 76, 17-27.
- Domènech-Casal, J. (2015a). Una secuencia didáctica de modelización, indagación y creación del conocimiento científico en torno a la deriva continental y la tectónica de placas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(1), 186-197.
- Domènech-Casal, J. (2015b). Eppure si muove: una secuencia contextualizada de indagación y comunicación científica sobre el sistema astronómico Sol-Tierra. *Revista Eureka de Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12 (2), 328-340.
- Domènech-Casal, J. (2016a). Diseño y caracterización de un Proyecto de Indagación alrededor de la Evolución Humana y la Paleontología. *Investigación en la escuela*, 90, 49-71.
- Domènech-Casal, J. (2016b). Proyecto C3: indagación científica, lengua y contextos en la ESO. *Aula de Secundaria*, 19, 15-19.
- Domènech-Casal, J. (2016c). Contextos de indagación y controversias socio-científicas para la enseñanza del Cambio Climático. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 22(3), 267-276.
- Domènech-Casal, J. (2017a). Aprendizaje Basado en Proyectos y Competencia Científica. Experiencias y propuestas para el método de Estudios de Caso. *Enseñanza de las Ciencias* (en prensa).
- Domènech-Casal, J., Ruiz, N. (2017b). Mission to stars: un proyecto de Ciencia y Tecnología alrededor de la astronomía, las misiones espaciales y la investigación científica. *Revista Eureka de Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14 (1), 98-114.

- Domènech-Casal, J. (2017c). *ProyectandoBioGeo*, un itinerario de trabajo por proyectos contextualizados basado en la indagación y la Naturaleza de la Ciencia. *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 89, 54-61.
- Domínguez, M.C., Varela, C. (2008). Aplicación de una técnica de análisis textual a textos escolares sobre el Sistema Solar. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* 7 (1), 261-274.
- García, J. L. (2014). Conocimientos astronómicos del profesorado de educación secundaria obligatoria y preferencias metodológicas para la enseñanza de astronomía. *Enseñanza & Teaching: Revista interuniversitaria de didáctica*, 32(1), 161-198.
- García-Carmona, A. (1994). Reflexiones sobre la enseñanza de la astronomía en la enseñanza secundaria obligatoria. *Enseñanza de las Ciencias*, 2(2,3), 404-409.
- García-Carmona, A. (2015). Noticias sobre temas de astronomía en los diarios: un recurso para aprender sobre la naturaleza de la ciencia reflexivamente. *Revista de Enseñanza de la Física*, 27(1), 19-30.
- Garrido, A., Simarro, C. (2014). El nou marc d'avaluació de la competència científica PISA 2015: Revisió i reflexions didàctiques. *Revista Ciències*, 28, 21-26.
- Gilbert J.K. (2006). On the nature of "context" in chemical education. *International Journal of Science Education*, 28(9), 957-976.
- Glew, R. H. (2003). The problem with problem-based medical school education: Promises not kept. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 31, 52-56.
- González, C., García, S., Martínez, C. (2015). Qué contenidos y qué habilidades cognitivo-lingüísticas emplea el profesorado de primaria y secundaria en la enseñanza de la astronomía. *Enseñanza de las Ciencias*, 33(2), 71-89.
- Goytia, E., Besson, I., Gasco, J., Domènech-Casal, J. (2015). Evaluar habilidades científicas. Indagación en los exámenes. ¿Una vía para cambiar la práctica didáctica en el aula? *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 79, 1-10.
- Grau, R. (2009). *Altres formes de fer ciència. Alternatives a l'aula de secundària*. Rosa Sensat, Barcelona.
- Guillaumes, M. (2016). Cuando aprender es un reto. *Cuadernos de Pedagogía*, 472, 55-58.
- Hattie, J. (2009). *Visible Learning: A synthesis of over 800 meta-Analyses relating to achievement*. Routledge: New York.
- Herreid, C. F. (1994). Case studies in science: A novel method for science education. *Journal of College Science Teaching*, 23 (4), 221-229.
- Herreid, C. F. (2003). The death of problem-based learning? *Journal of College Science Teaching*, 32 (6), 364-66.
- Hodson, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias* 12(3), 299-313.
- Hudson, J. N., Buckley, P. (2004). An evaluation of case-based teaching: Evidence for continuing benefit and realization of aims. *Advances in Physiological Education*, 28, 15-22.
- Jakosky, B. (1999). *La búsqueda de vida en otros planetas*. Madrid: Cambridge University Press.
- Kilpatrick, W.E. (1918). *The Project Method: the use of the purposeful act in the educative process*. Teachers college, Columbia University.
- Larmer, J., Mergendoller, J., Boss, S. (2015). *Setting the Standard for Project Based Learning: A Proven Approach to Rigorous Classroom Instruction*. ASCD, Alexandria.
- Leite, C., Hosoume, Y. (2009). Explorando a dimensão espacial na pesquisa em ensino de astronomia. *Revista Eletrônica de Ensino de las Ciencias*, 8 (3), 797-811.
- López-Llamas, C. (2013). El futuro de las Ciencias Planetarias en el sistema educativo de secundaria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 11(3), 181-186.
- Llewellyn, D. (2005). *Teaching High School Science through Inquiry: A case study approach*. Corwin Press & NSTA press.
- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (2015). Currículo de Biología y Geología, 1º de ESO. Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato. *Boletín Oficial del Estado*, A-2015-37, 211-213.
- Miró, M., Saperas, A.M., Tarragó, M., Tordera, M.R., Domènech-Casal, J. (2016). Cinc experiències i reflexions metodològiques sobre l'aprenentatge Basat en Projectes a les Ciències. *Revista Ciències*, 32, 23-33.
- Morales, P., Landa, V. (2004). Aprendizaje basado en problemas. Problem-Based Learning. *Theoria*, 13, 145-157.
- OCDE (2013). *PISA 2015. Draft Science Framework*. [[http://www.oecd.org/pisa/pisaproducts/Draft PISA 2015 Science Framework .pdf](http://www.oecd.org/pisa/pisaproducts/Draft_PISA_2015_Science_Framework.pdf)] Consultado 15/03/2015.
- Oliveras, B., Márquez, C., Sanmartí, N. (2013). The use of newspaper articles as a tool to develop critical thinking in science classes. *International Journal of Science Education*, 35(6), 885-905.
- Ollivier, M., Encrenaz, T., Roques, F., Selsis, F., Casoli, F.. (2009). *Planetary Systems: Detection, Formation and Habitability of Extrasolar Planets*. Springer: Heidelberg.
- Osborne, J., Dillon, J. (2008). *Science Education in Europe: Critical Reflections*. Londres: Nuffield Foundation.
- Palomar, R., Solbes, J. (2015). Evaluación de una propuesta para la enseñanza y el aprendizaje de la astronomía en secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 33(2), 91-111.
- Pedrinacci, E., Caamaño, A., Cañal, P., De Pro, A. (2012). *11 ideas clave. El desarrollo de la competencia científica*. Graó, Barcelona.
- Petigura, E. A., Howard, A. W., Marcy, G. W. (2013). Prevalence of Earth-size planets orbiting Sun-like stars. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110 (48), 19273-19278.
- Redondo, J.L. (2015). Colonizadores de Marte. Ludificación analógica, emoción y sentimientos. *Comunicación y pedagogía: Nuevas tecnologías y recursos didácticos*, 281-282, 73-78.
- Rocard, Y. (2007). *Science Education Now*. Report EU22-845, EU, Brussels.
- Sadler, T. D. (2009). Situated learning in science education: socio-scientific issues as contexts for practice. *Studies in Science Education*, 45(1), 1-42.
- Sanmartí, N. (2016). Trabajo por proyectos: ¿Filosofía o metodología? *Cuadernos de Pedagogía*, 472, 44-46.
- Sanmartí, N., Burgoa, B., Nuño, T. (2011) ¿Por qué el alumnado tiene dificultades para utilizar sus conocimientos escolares en situaciones cotidianas? *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 67, 62-68.
- Sanmartí, N., Izquierdo, M., García, P. (1999). Hablar y escribir. Una condición necesaria para aprender ciencias. *Cuadernos de Pedagogía*, 281, 54-58.
- Scharf, C. A. (2009). *Extrasolar planets and astrobiology*. University Science Books.
- Schneider, J. (consultado, 2016). *Interactive Extra-solar Planets Catalog. The Extrasolar Planets Encyclopedia*. Consultado el 30 de diciembre de 2016 [<http://exoplanet.eu/>]

Simarro, C., Couso, D., Pintó, R. (2013). Indagació basada en la modelització: un marc per al treball pràctic. *Revista Ciències*, 25, 35-43.

Solbes, J., Palomar, R. (2011). ¿Por qué resulta tan difícil la comprensión de la astronomía a los estudiantes? *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*, 25, 187-211.

Trujillo, F. (2016). El diseño de proyectos y el currículo. *Cuadernos de Pedagogía*, 472, 66-69.

Varela, M., Pérez, U., Ulla, A.M., Arias, A. (2012). Problemáticas del proceso de enseñanza y aprendizaje de la astronomía. *Boletín das ciencias*, 76, 107-109.

Viennot, L. (2011). Els molts reptes d'un ensenyament de les Ciències basat en la indagació: ens aportaran múltiples beneficis en l'aprenentatge? *Revista Ciències*, 18, 22-36.

Vílchez-González, J. M., Ramos-Tamajón, C. M. (2015). La enseñanza-aprendizaje de fenómenos astronómicos cotidianos en la Educación Primaria española. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 12(1), 2-21.

Wasserman, S. (1999). *El estudio de casos como método de enseñanza*. Amorroutu Editores: Buenos Aires.

Wolszczan, A., Frail, D.A. (1992). A planetary system around the millisecond pulsar PSR1257+12. *Nature* 355, 145-147. ■

Este artículo fue recibido el día 15 de febrero de 2017 y aceptado definitivamente para su publicación el 28 de abril de 2017.