

Ideas de estudiantes de instituto y universidad acerca del significado y el origen de las mareas

Diego Corrochano ^{1,a}, Alejandro Gómez-Gonçalves ^{2,b}, Juan Sevilla ^{3,c}, Sara Pampín-García ^{4,d}

¹Departamento de Didáctica de las Matemáticas y de las Ciencias Experimentales, Universidad de Salamanca, Salamanca, España.

²Departamento de Geografía, Universidad de Salamanca, Salamanca, España.

³Departamento de Geografía, Universidad de Oviedo, Oviedo, España.

⁴IES Galileo, Valladolid, España.

^a dcj@usal.es, ^b algomez@usal.es, ^c sevillajuan@uniovi.es, ^d pampinita@gmail.com

[Recibido en junio de 2016, aceptado en febrero de 2017]

En este trabajo se analizan las ideas alternativas de un grupo de estudiantes de educación secundaria obligatoria, bachillerato y universidad, sobre la comprensión y el origen de las mareas. Se ha utilizado un cuestionario abierto, cuya contestación requería un dibujo explicativo a escala global. A pesar de que dos terceras partes de los estudiantes parecen conocer que el fenómeno está relacionado con la atracción gravitatoria de la Luna sobre nuestro planeta, la mayor parte de los alumnos tuvieron dificultades a la hora de representar un modelo a escala global que explicase el origen del fenómeno. Únicamente 24 estudiantes (7,5% de la muestra total) representaron de manera adecuada los dos abultamientos mareales que se producen, de los cuales, únicamente dos alumnos, indicaron que la causa de los ciclos mareales está relacionada con el gradiente de atracción gravitatoria de la Luna.

Palabras clave: mareas, ideas previas, enseñanza secundaria obligatoria, bachillerato, universidad.

High school and university students' misconceptions about tides

High school and university students' misconceptions about tides were analysed by means of an open drawing questionnaire. Although two thirds of students favoured the Moon's attraction as the main cause of tides, many students had difficulties to represent the phenomena on a global scale. Only 24 of them (7.5% of the whole sample) illustrated the two water bulges that took place on opposite sides of the Earth and just two students mentioned the gradient of the Moon's attraction to explain the tides.

Keywords: tides, misconceptions, high school, university.

Para citar este artículo: Corrochano D., Gómez-Gonçalves A., Sevilla J. y Pampín-García S. (2017) Ideas de estudiantes de instituto y de universidad acerca del significado y el origen de las mareas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 14 (2), 353–366. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10498/19222>

Introducción

Es conocido que las mareas son los movimientos periódicos de ascenso y descenso del nivel del mar provocados por la atracción gravitatoria del Sol y de la Luna sobre nuestro planeta, siendo la ejercida por la Luna mayor que la producida por el Sol por la menor distancia que la separa de la Tierra, a pesar de que su masa es mucho menor. La relación del fenómeno con las fases lunares fue ya establecida hace más de 2000 años por el astrónomo Phylaeas (Ekman 1993), pero no pudo explicarse de una manera satisfactoria hasta el siglo XVII, cuando Isaac Newton enunció la Ley sobre la Gravitación Universal.

En el sistema educativo español y en la Comunidad Autónoma en la que se ha desarrollado el estudio (Castilla y León), el proceso de enseñanza y aprendizaje de las mareas se inicia en el quinto curso de Educación Primaria (10-11 años de edad) dentro del Área curricular de las Ciencias Sociales, donde de una manera muy simple, se introduce el fenómeno en el momento de abordar los contenidos de Geografía Física relativos a la Tierra y la Luna (características,

movimientos y sus consecuencias). Es ya durante la Educación Secundaria Obligatoria (ESO) y el Bachillerato, cuando comienzan a estudiarse de una manera más detallada y se analizan los diferentes factores que influyen en su origen. En el primer curso de la ESO se integran de modo específico en la asignatura de Biología y Geología, dentro del “Bloque 2. La Tierra en el Universo” y, en este, es parte del epígrafe “La Luna. Sus fases. Eclipses y mareas”. Se indica como criterio de evaluación “Establecer los movimientos de la Tierra, la Luna y el Sol y relacionarlos con la existencia del día y la noche, las estaciones, las mareas y los eclipses”; aparte, como estándares de aprendizaje evaluable, el currículo oficial incluye “Categoriza los fenómenos principales relacionados con el movimiento y posición de los astros, deduciendo su importancia para la vida” e “Interpreta correctamente en gráficos y esquemas, fenómenos como las fases lunares y los eclipses, estableciendo la relación existente con la posición relativa de la Tierra, la Luna y el Sol” (Junta de Castilla y León 2015). Respecto al bachillerato, encontramos contenidos específicos relacionados con las mareas en la asignatura de Geología de segundo curso, dentro del “Bloque 5. Procesos geológicos externos” como parte del epígrafe “El mar: olas, mareas y corrientes de deriva. Procesos y formas resultantes”. El criterio de evaluación es “Comprender los procesos geológicos derivados de la acción marina y formas resultantes” y el estándar de aprendizaje se concreta en “Comprende la dinámica marina y relaciona las formas resultantes con su proceso correspondiente” (Junta de Castilla y León 2015b)¹.

Aunque este fenómeno tiene una importancia lectiva reducida en el actual currículo de las etapas educativas y enseñanzas oficiales referidas (al igual que otros muchos temas relacionados con las Ciencias de la Tierra y del Espacio), la elección del tema de estudio viene motivada por tres aspectos fundamentales: 1) la manifestación del fenómeno (subida y bajada del nivel del mar y corrientes de marea) resulta familiar a cualquier estudiante (quienes residen en zonas costeras lo experimentan cotidianamente) o lo han vivido de forma directa alguna vez y han observado el condicionamiento que supone a la actividad costera (laboral, de ocio, etc.); 2) es un fenómeno multidisciplinar, que se trabaja en el aula en diferentes campos como la Física, la Geología o la Geografía Física, entre otros; y 3) es lo suficientemente complejo como para poder generar diferentes errores conceptuales en torno al fenómeno en sí mismo (e.g., ocurre una única marea alta a lo largo del día, cuando hay marea alta en un lado de la Tierra hay marea baja en el lado opuesto) y al modelo del sistema Sol-Tierra-Luna.

Hoy en día, desde el constructivismo didáctico, la mayor parte de los docentes contempla desde su práctica de aula la necesidad de conocer la conceptualización y las ideas alternativas de los estudiantes -tanto si han sido elaboradas en situaciones cotidianas como si han surgido a partir de los años de escolarización anteriores- antes de iniciar el estudio de cualquier fenómeno científico, con el fin de: 1) poder seleccionar y organizar los contenidos; 2) proponer una metodología de enseñanza; 3) anticiparse a los diferentes problemas que puedan surgir durante la enseñanza y aprendizaje; y 4) facilitar el cambio conceptual en la estructura cognitiva del alumno (Driver 1986). Estas ideas que el estudiante posee pero que no concuerdan con las “ideas científicamente aceptadas”, han recibido diferentes denominaciones a lo largo de los años, como concepciones alternativas, concepciones erróneas, creencias, ideas

¹ El currículo de la ESO anteriormente vigente (2007-2015) contiene aspectos relacionados con las mareas en la materia de Ciencias de la Naturaleza, dentro del “Bloque 2. La Tierra en el Universo” (primer curso), epígrafe “Los movimientos de la Tierra: las estaciones, el día y la noche, los eclipses y las fases de la Luna” y criterio de evaluación “Explicar la organización del Sistema Solar y las características de los movimientos de la Tierra y la Luna y sus implicaciones” (Junta de Castilla y León 2007). Por otro lado, la materia Ciencias de la Tierra y Medioambientales del bachillerato impartido entre 2008 y 2015 no hace alusión explícita a las mareas pero enuncia contenidos similares a los actuales dentro de los epígrafes “Los sistemas fluidos externos y su dinámica” e “Interfases” (Junta de Castilla y León 2008).

previas, ideas pre-científicas, ideas intuitivas, etc. Se caracterizan por presentar cierta coherencia interna, ser implícitas, persistentes en el tiempo, difícilmente modificables y ser muy similares en estudiantes de diferentes edades y contextos socio-educativos (ver por ejemplo recopilación en Martín del Pozo *et al.* 2013).

Los estudios sobre las ideas alternativas de los alumnos han sido una de las líneas de investigación más desarrolladas en el campo de la Didáctica de las Ciencias debido a las implicaciones para la enseñanza (Furió, Solbes y Carrascosa 2006). Los trabajos publicados en los últimos veinte años sobre las principales ideas alternativas que muestran los estudiantes de diferentes fenómenos astronómicos en torno al sistema Sol-Tierra-Luna (e.g. conceptos de día y noche y año, estaciones, fases de la Luna y eclipses) son muy numerosos en la literatura (Baxter 1989, Camino 1995, De Manuel 1995, Navarrete 1998, Ojala 1997, Zeilik, Schau y Mattern 1998, Trumper 2000, 2001a, 2001b, 2001c, Vega 2001, Trundle, Atwood, y Christopher 2002, Gooding y Metz 2011, Varela-Losada, Pérez-Rodríguez, Álvarez-Lires y Arias-Correa 2015, Türk, Şener y Kalkan 2015, entre otros). Estos trabajos evidencian que un gran porcentaje de alumnos tienen ideas alternativas sobre conceptos astronómicos básicos (para una recopilación detallada ver Kanli 2015).

Sin embargo, muy pocos autores se han centrado específicamente en el análisis de la comprensión del fenómeno de las mareas. Únicamente destaca un estudio realizado en Finlandia a principios de siglo con estudiantes de instituto y universidad (Viiri 1999, 2000). Este autor analizó las ideas de 130 estudiantes mediante un cuestionario abierto y un dibujo explicativo, y estableció una clasificación jerarquizada en cuatro categorías principales sobre la comprensión de las mareas. En ese estudio, un gran porcentaje de los estudiantes representaron las mareas de forma planetaria o global, indicaron que la atracción gravitatoria de la Luna estaba relacionada con el origen del fenómeno y representaron un único pandeo mareal para explicar su origen.

Un instrumento muy utilizado para identificar y evaluar las ideas alternativas que poseen los alumnos sobre diversos temas astronómicos ha sido el cuestionario compuesto por preguntas abiertas, cuya contestación requiere redactar una explicación y realizar dibujos o esquemas sobre los fenómenos o sistemas en cuestión (e.g. De Manuel 1995, Navarrete 1998, Ojala 1997, Parker y Heywood 1998, Viiri 1999, 2000, Vega 2001). Fuera del ámbito de la astronomía, son numerosos los trabajos publicados que han demostrado que la elaboración de esquemas o dibujos es una herramienta muy eficaz a la hora de comprobar el nivel de comprensión de un fenómeno científico, así como para identificar las principales diferencias entre sus ideas alternativas y el conocimiento científico (Köse 2008, Cardak 2009, y referencias allí contenidas). Además, los dibujos han sido considerados como fieles representaciones de los modelos mentales que presentan los estudiantes ante sistemas complejos, dinámicos y de grandes dimensiones, como es, por ejemplo, el interior de nuestro planeta y el funcionamiento de la tectónica de placas (Gobert 2000).

A la vista de todo lo expuesto anteriormente, los principales objetivos de este trabajo son: 1) realizar un estudio exploratorio identificando y analizando las ideas alternativas que muestran estudiantes de instituto y universidad españoles acerca de las mareas, con el fin de contribuir a la elaboración de futuras intervenciones didácticas y mejorar la compleja tarea de enseñanza y aprendizaje de este fenómeno; y 2) comparar los resultados obtenidos con los publicados en trabajos anteriores (Viiri 1999, 2000). No es la intención analizar los fundamentos físicos y matemáticos que tienen los alumnos sobre las mareas, sino analizar la comprensión del fenómeno desde un punto de vista global e integrador en lo referente al sistema Sol-Tierra-Luna. En este sentido, según el análisis de los documentos curriculares preuniversitarios (ESO y Bachillerato), los estudiantes españoles deberían poseer los fundamentos teóricos básicos

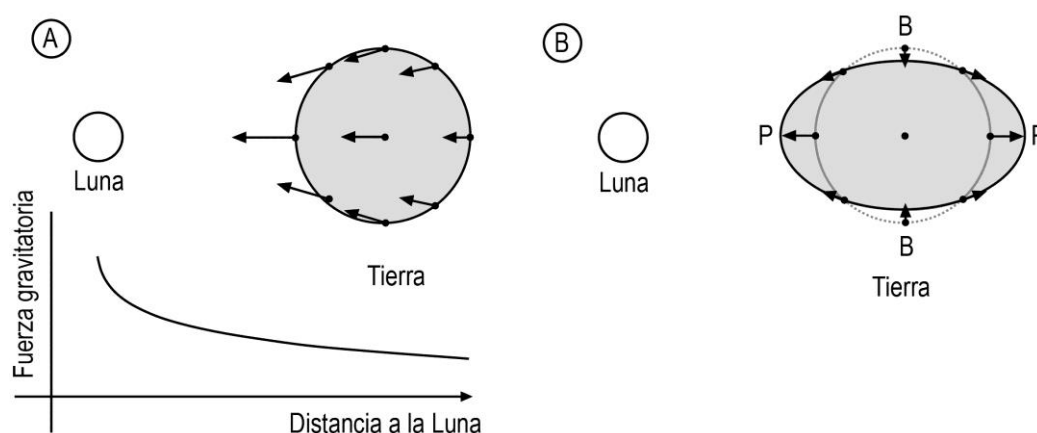


Figura 1. A) Fuerzas de atracción gravitatoria que ejerce la Luna en diferentes puntos del planeta; nótese que los vectores tienen magnitudes y direcciones diferentes entre sí, son mayores en los puntos cercanos a la Luna y menores en los más lejanos; modificada de Viiri y Saari (2004). B) Fuerzas de marea (resultantes de restar el vector de fuerza central a cada vector de fuerza local) relativas al centro de la Tierra; P: pleamar; B: bajamar. Dibujos sin escala y exagerados.

para elaborar una explicación simplificada del fenómeno, aunque fuera únicamente desde un punto de vista cualitativo.

Modelo científico sobre el significado y el origen de las mareas

La atracción gravitatoria que la Luna ejerce sobre la Tierra es mayor en el extremo de nuestro planeta más cercano a la Luna (Fig. 1A), es decir, existe un gradiente de atracción gravitatorio de la Luna a lo largo del planeta. De esta manera, la interacción gravitatoria entre los dos astros conlleva una diferencia en la intensidad de la fuerza gravitatoria entre el extremo más cercano y más lejano, a la que se denomina *fuerzas de marea*. Estas fuerzas diferenciales deforman el planeta y sus masas fluidas, estirándolo lateralmente respecto al eje que une ambos cuerpos y comprimiéndolo en la dirección perpendicular, pasando de una forma esférica a elipsoidal (Fig. 1B).

Por este motivo en los océanos, la marea alta tiene lugar de manera simultánea en lados opuestos del planeta: en la cara más cercana a la Luna y en su lado diametralmente opuesto (dos abombamientos mareales o *tidal bulges*). Por lo tanto, debido a la rotación terrestre, en muchas regiones costeras el nivel del mar sube dos veces al día y desciende otras dos, dando lugar respectivamente, a dos ciclos mareales de pleamar y bajamar de aproximadamente 12h cada uno (modelo mareal semidiurno).

De una manera análoga a las de la Luna, las mareas solares son también máximas en dos puntos geográficos. Por consiguiente, a lo largo de un mes, ambas mareas (lunar y solar) a veces están sincronizadas (coinciden) o están desfasadas, es decir, a veces la pleamar solar refuerza a la pleamar lunar, pero en otras ocasiones la bajamar solar debilita a la pleamar lunar. Estas situaciones corresponden como es lógico con la posición relativa entre la Tierra, el Sol y la Luna, es decir, con las fases de la Luna. Durante la Luna llena o Luna nueva, cuando los tres astros están alineados, las mareas se amplifican. En cambio, durante los cuartos (menguante y creciente), cuando el Sol y la Luna guardan un ángulo recto respecto a la Tierra, las mareas se amortiguan. Las mareas acopladas (con pleamar especialmente alta y bajamar especialmente baja, es decir, con un rango mareal alto) son conocidas como mareas vivas, mientras que las mareas que no están en fase se conocen como mareas muertas (condiciones de mínimo rango mareal).

Metodología

Para conocer las ideas alternativas de los estudiantes sobre el fenómeno de las mareas, se ha realizado un cuestionario abierto formado por una única pregunta en el que se pedía a los alumnos que explicaran qué son las mareas y cuáles son las causas que las originan. Además, se solicitaba explícitamente el acompañamiento de un esquema o dibujo ilustrativo que explicara su respuesta. Su realización ha tenido lugar durante el curso académico 2015-2016; se ha contestado de forma anónima y voluntaria durante el horario lectivo habitual, sin límite de tiempo. En ninguno de los casos, los alumnos habían trabajado durante el curso el tema de las mareas. Se ha realizado la misma pregunta planteada por Viiri (1999, 2000) para comparar objetivamente los resultados entre ambos estudios.

La población muestreada ha sido un total de 321 alumnos españoles, de tres provincias de la Comunidad Autónoma de Castilla y León: Zamora, Salamanca y Valladolid. Se trata por lo tanto, de estudiantes con residencia y estudios en un territorio de interior peninsular relativamente alejado del mar y aislado en varios de sus flancos por sistemas montañosos, por lo que el alumnado, al menos durante el curso, no observa diariamente el fenómeno de las mareas.

En el trabajo que se ha tomado como referencia, Viiri (1999, 2000) llevó a cabo su investigación con una población de 130 alumnos de instituto (15 años de edad) y universidad (estudiantes de 1^{er} año de Magisterio y docentes de Ciencias en formación de 3^{er} año). En el presente estudio también se han seleccionado estudiantes de diferentes niveles educativos; 129 eran estudiantes de ESO (2^o, 3^o y 4^o), 19 de Bachillerato y 173 universitarios. Los alumnos de 2^o ciclo de la ESO cursaban la rama de Enseñanzas académicas para iniciación al bachillerato y los estudiantes de bachillerato cursaban la de Ciencias y Tecnología. De los alumnos universitarios, 124 eran alumnos de primer año de Grado en la rama de Ciencias Experimentales (96 cursaban el Grado en Biología y 18 el Grado en Geología), y 59 eran alumnos de 2^o año en la rama de las Ciencias de la Educación (Grados en Maestro en Educación Primaria e Infantil). La elección y el número de alumnos consultados, ha venido motivada principalmente por la dificultad para acceder a un mayor número de estudiantes.

De acuerdo con Viiri (1999, 2000), las respuestas obtenidas se han clasificado en cuatro niveles o categorías principales de comprensión conceptual, divididos a su vez en varias subcategorías (Tabla 1); algunas representaciones de los alumnos y las correspondientes categorías y subcategorías asignadas se ilustran en la Figura 2. Las categorías se han identificado únicamente teniendo en cuenta el dibujo o esquema representado, mientras que para identificar las subcategorías se ha recurrido a las breves explicaciones de texto que suelen acompañar a los dibujos. Muchas de las subcategorías son similares a las del trabajo de Viiri (1999, 2000), pero otras son diferentes y no habían sido detectadas con anterioridad, como las subcategorías C5→C9 y D5→D9 (Tabla 1).

La Categoría A (Fig. 2A y B) corresponde a aquella en la que los estudiantes identifican y representan dos abultamientos mareales; es la categoría más acertada desde un punto de vista científico. La Categoría B (Fig. 2C, D y E) corresponde con aquella en la que los alumnos sitúan espacialmente el modelo de la Tierra-Luna, pero solo representan un pandeo mareal (representación no coherente para explicar el modelo mareal semidiurno). La Categoría C (Fig. 2F) es aquella en la que los estudiantes representan las mareas desde un punto de vista local (línea de costa), haciendo especial hincapié en una de las consecuencias del fenómeno (subidas y bajadas del nivel del mar). Finalmente, la Categoría D corresponde a aquellos cuestionarios en los que los alumnos no hicieron ningún dibujo o éste era no representativo.

Resultados

Los resultados obtenidos en el presente trabajo se representan gráficamente en la Fig. 3. El 70% de los alumnos (subcategorías A1, A2, B1, B2, C1, D1) parece conocer que el fenómeno de las mareas está relacionado con la acción gravitatoria de la Luna sobre nuestro planeta. Sin embargo, únicamente 24 estudiantes (7,5% de la muestra total, $n = 321$) representaron de manera adecuada los dos abultamientos mareales (categoría A), de los cuales solamente dos alumnos (universitarios), indicaron que la causa de los ciclos mareales está relacionada con la heterogeneidad del campo de atracción gravitatorio de la Luna (subcategoría A1, la respuesta correcta para la explicación del fenómeno). Hay que destacar, que de esos 24 estudiantes, 21 eran universitarios del área de Ciencias Experimentales.

Tabla 1. Categorías de las ideas de los estudiantes sobre las mareas; nótese que las categorías A y B muestran una percepción global del fenómeno, mientras que la categoría C corresponde a una percepción local de los efectos de las mareas. Modificada de Viiri (1999, 2000).

<i>Categorías</i>	<i>Subcategorías</i>
A. Dos abultamientos mareales	A1. Dos abultamientos mareales y gradiente de atracción gravitatoria de la Luna A2. Dos abultamientos mareales y atracción gravitatoria de la Luna y el Sol
B. Un abultamiento mareal	B1. Un abultamiento mareal y atracción gravitatoria de la Luna y el Sol B2. <i>Un abultamiento mareal y proximidad o lejanía de la Luna respecto a la Tierra</i>
C. Representación de las mareas desde una perspectiva local (línea de costa)	C1. Línea de costa y atracción gravitatoria de la Luna y el Sol C2. Línea de costa y rotación terrestre C3. Línea de costa y movimientos de la Tierra, Luna y Sol C4. Línea de costa y diversos fenómenos (lluvia, viento, oleaje, deshielos) C5. Línea de costa y cambios de temperatura y luz (día/noche) C6. Línea de costa y fuerzas tectónicas o movimientos sísmicos C7. Línea de costa y proximidad o lejanía de la Luna respecto a la Tierra C8. Línea de costa y cambios en la salinidad del agua C9. Línea de costa y “magnetismo” de la Luna C10. Línea de costa sin explicación
D. Sin dibujo	D1. Atracción gravitatoria de la Luna y el Sol D2. Rotación terrestre D3. Movimientos de la Tierra, Luna y Sol D4. Diversos fenómenos (lluvia, viento, oleaje) D5. Diferencias de temperatura (día y noche) D6. Fases lunares (posición Tierra, Luna, Sol) D7. Proximidad o lejanía de la Luna respecto a la Tierra D8. Movimientos de las placas tectónicas o seísmos D9. Cambios en el campo magnético terrestre D10. Sin explicación

El 13,3% de la muestra total (43 estudiantes) representaron el modelo en el espacio del sistema Tierra-Luna (Fig. 3), aunque indicaron un único pandeo mareal (categoría B).

Un 41,5% de la muestra total (133 alumnos) representaron el fenómeno de las mareas desde un punto de vista local (línea de costa, categoría C), de una manera simplista y en cierta medida *ingenua*, a pesar de que en el cuestionario se especificaba su representación “desde un punto de vista global”. De ese 41,5%, dos terceras partes relacionaron las subidas y bajadas del nivel del mar con la atracción gravitatoria de la Luna (subcategoría C1); el resto de los alumnos explicó el origen de las mareas de forma variada mediante diversos fenómenos (Tabla 1), como por ejemplo meteorológicos (e.g., viento, lluvia), asociados a diferentes tasas de evaporación motivadas por los cambios de temperatura día/noche, seísmos y movimientos de placas tectónicas, deshielos de masas glaciares continentales o cambios de salinidad. Dentro de

todas estas subcategorías es llamativo que un 8,3% de los alumnos de la categoría C presenta la concepción de que los ciclos mareales son debidos a la proximidad (marea alta) y lejanía de la Luna (marea baja), (subcategoría C7).

121 alumnos (37,7% de la muestra total) no representaron ningún dibujo o este era no representativo (categoría D). A pesar de que los alumnos no realizaron ningún esquema (en el cuestionario se especificaba que la respuesta fuera acompañada de un dibujo ilustrativo), 59 estudiantes (49% de la categoría D) recordaron que el origen de las mareas estaba relacionado con la atracción gravitatoria de la Luna sobre nuestro planeta. El 20% de la categoría D respondió únicamente: “no lo sé” o “no lo recuerdo” (subcategoría D10).

Aunque en el cuestionario no se preguntaba explícitamente, es también destacable que sólo un 10% de la muestra total señaló que en nuestras costas existen dos mareas altas y dos mareas bajas cada 24h (e.g., Fig. 2C). Cuatro de esos estudiantes contemplaron que esa periodicidad se ve afectada por otros parámetros, como la fisiografía de las costas, la topografía del fondo marino o las condiciones meteorológicas y oceanográficas. Además, solo tres estudiantes de toda la muestra indicaron que el rango mareal puede llegar a alcanzar cerca de los 15 m en algunas regiones del mundo.

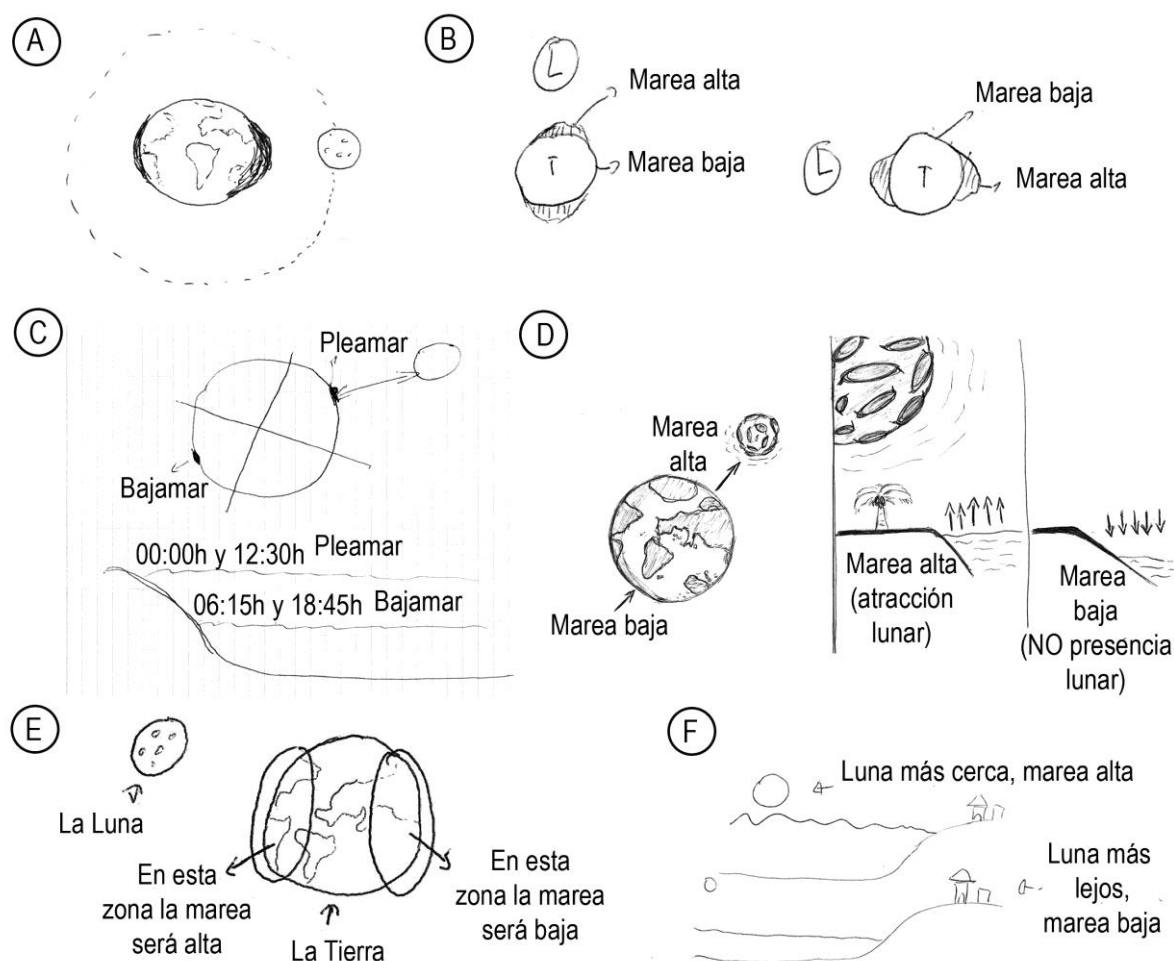


Figura 2. Dibujos de los alumnos sobre el fenómeno de las mareas y sus causas, y categorías y subcategorías de comprensión conceptual definidas en el presente estudio. A) y B) subcategoría A2. C), D) y E) subcategoría B1. F) Subcategoría C7.

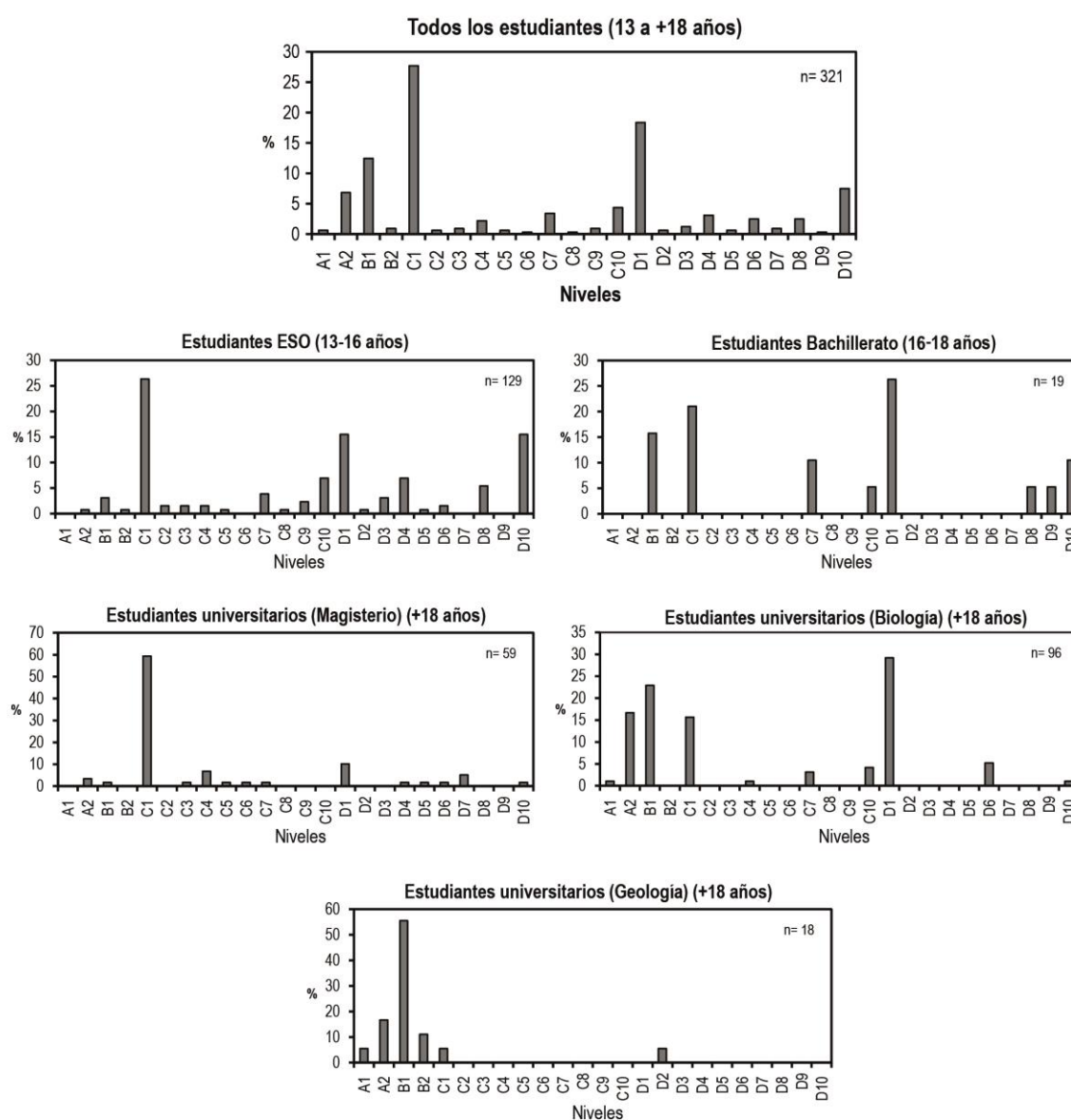


Figura 3. Resultados obtenidos mostrando la distribución de los estudiantes en diferentes categorías y subcategorías.

Analizando los resultados en función del nivel educativo, se observa que en todos ellos, salvo en el Grado de Geología, las categorías C1 y D1 están siempre presentes de una manera significativa. En la ESO, un 26% de los alumnos fue asignado a la subcategoría C1, un 16% a la D1 y otro 16% a la D10. En Bachillerato, un 26% de los estudiantes fue asignado a la subcategoría D1, un 21% a la C1 y un 16% a la B1. Hay que destacar que sólo un alumno de ESO (0,8% de la muestra de ESO, n= 129) indicó la presencia de los dos pandeos mareales, a pesar de que en los libros de texto siempre aparecen representados los dos abultamientos. Respecto a los estudiantes de Magisterio, los alumnos de ambos grados (Maestro de Educación Primaria e Infantil) muestran resultados muy similares; lo más significativo es que un 59% de la muestra fue asignado a la subcategoría C1; el resto de los estudiantes están repartidos minoritariamente en otras categorías, destacando que un 10% fue asignado a la subcategoría D1. En cuanto a los estudiantes de Biología, también se observa que el mayor porcentaje de alumnos (29%) fue asignado a la subcategoría D1; un 23% a la B1 y un 17% a la

A2. Finalmente, en el Grado de Geología, un 55,5% fue asignado a la subcategoría B1 y un 17% a la A2.

Discusión y conclusiones

El presente estudio evidencia que el conocimiento del fenómeno de las mareas por parte de los estudiantes españoles de instituto y universidad es inadecuado. Sin embargo, la mayoría de los alumnos de la muestra (70%) aparentemente conoce que el fenómeno está relacionado con la atracción gravitatoria de la Luna sobre nuestro planeta. Este conocimiento es común en todos los grupos (secundaria obligatoria, bachillerato y universidad) consultados (subcategorías A1, A2, B1, B2, C1, D1, Fig. 3).

Si comparamos los resultados obtenidos en este trabajo con los obtenidos en estudios anteriores (Viiri 1999, 2000), observamos que en ambos contextos los estudiantes muestran unas concepciones alternativas similares a la hora de explicar el fenómeno de las mareas. Estas, a su vez, son muy parecidas a las que los científicos han defendido a lo largo de la historia para explicarlo (e.g., Ekman 1993); por ejemplo, algunos estudiantes sostienen que las mareas son originadas por la acción del viento, de la lluvia, por la rotación terrestre o a partir del calentamiento solar de las aguas del mar y su consiguiente expansión.

Sin embargo, los resultados aquí presentados se sitúan muy por debajo de los obtenidos en Finlandia la década pasada (Viiri 1999, 2000). En esos trabajos, un amplio número de estudiantes (tanto de instituto y universidad) fue asignado a las categorías A y B, es decir, contemplaron el fenómeno desde una perspectiva global; además, el 55% señaló la relación de la atracción gravitatoria de la Luna con el origen de las mareas. En el presente trabajo, de los alumnos que relacionan las mareas con la atracción gravitatoria, un 41,4% representaron las mareas mediante un dibujo de la línea de costa (mostrando una percepción local), y un 27,4% ni siquiera llegó a explicar gráficamente su respuesta (categoría D), evidenciando probablemente la incompreensión del fenómeno y una repetición memorística de los principios básicos que están involucrados en su origen. Es destacable que, en la muestra de estudio, esa percepción local está presente en todos los niveles educativos, desde la educación secundaria obligatoria hasta niveles universitarios.

Del total de los alumnos que representaron su dibujo con una perspectiva global (categorías A y B, $n=67$), solo 24 representaron los dos abombamientos mareales que tienen lugar (categoría A). Esto no es sorprendente, ya que la explicación del segundo abombamiento en la parte del globo más lejana a la Luna constituye la mayor dificultad didáctica en el proceso de enseñanza y aprendizaje de las mareas (Härtel 2000), ya que contradice en cierta medida la idea de que las mareas están causadas por la atracción gravitatoria de la Luna.

La comprensión de fenómenos astronómicos requiere un elevado nivel de abstracción y una visión espacial tridimensional a gran escala, debido a que el observador no puede contemplar el sistema entero de manera directa y a las dificultades derivadas de representar mentalmente modelos de tan enorme magnitud (Taylor, Barker y Jones 2003). En el ejemplo de las mareas, los estudiantes necesitan comprender e interiorizar los movimientos y relaciones que tienen lugar en el sistema Sol-Tierra-Luna; necesitan saber que debido a la rotación de nuestro planeta, veamos o no veamos a la Luna (cuando es llena o nueva), nuestro satélite “nos pasa por encima” cada 24h aproximadamente, que tarda unos 28 días en girar alrededor de la Tierra y se traslada con ella alrededor del Sol, existiendo por tanto cada mes dos momentos de cuadratura y otros dos de conjunción de los tres astros. Además es necesario que los alumnos conozcan que existe un gradiente en la atracción gravitatoria de la Luna para poder explicar el segundo abombamiento que tiene lugar en la cara más lejana del planeta.

El hecho de que muchos alumnos representen únicamente el fenómeno desde un punto de vista local, podría indicar que carecen de los medios necesarios para construir modelos mentales abstractos y que son incapaces de elaborar manipulaciones mentales sobre ellos, como una alteración de la perspectiva y del punto de vista del observador, cambios en la posición relativa de los astros, etc. (e.g. Yair, Mintz y Litvak 2001). Teniendo en cuenta que la modelización mental es un instrumento central en el razonamiento científico, esta debería considerarse como una práctica transversal en las clases de ciencias, para por ejemplo, explicar ideas, representar sistemas, simplificar fenómenos complejos y ayudar a la visualización de entidades abstractas. La falta de estas capacidades puede conllevar a la propia elaboración de ideas alternativas, a concepciones incompletas, confusas o directamente a no adquirir ningún tipo de concepción sobre el fenómeno en cuestión (Callison y Wright 1993).

La incapacidad de representar globalmente el fenómeno es especialmente llamativa (y preocupante) en los alumnos de Magisterio, de los que un 73% representó las mareas desde una perspectiva local y fue incapaz de representar un modelo del sistema Tierra-Luna en el espacio, sugiriendo que los futuros maestros necesitan trabajar capacidades de proyección espacial y de representación de este sistema para poder elaborar estrategias didácticas adecuadas en un futuro. En este sentido, como señala Justi (2006), la construcción de modelos es una actividad con potencial para implicar al alumnado en “hacer ciencia”, “pensar sobre ciencia” y “desarrollar pensamiento científico y crítico”, algo necesario en la formación de los futuros docentes. Además, se ha demostrado que si los diversos fenómenos astronómicos se aprenden de manera adecuada, las habilidades de comprensión y percepción de los estudiantes se incrementan notablemente, facilitando la comprensión de otros conceptos abstractos en la educación científica (Türk *et al.* 2015).

La Astronomía es una disciplina difícil de enseñar y aprender, y presenta numerosas características que favorecen la aparición y persistencia de ideas alternativas por parte de los estudiantes (Varela-Losada *et al.* 2015). Los métodos tradicionales de enseñanza y aprendizaje, con un enfoque generalmente descriptivo y teórico sobre las relaciones de los diferentes astros, no suelen llegar a permitir superar esas dificultades, haciéndose necesario un cambio en el enfoque metodológico que implique algún tipo de conflicto cognitivo entre los estudiantes (Vílchez-González y Ramos-Tamajón 2015). Como señalan Chin-Chung y Chun-Yen (2005), si esos contenidos se trabajan únicamente de manera memorística, estos tienden a ser olvidados rápidamente y los alumnos vuelven a retomar y a retroceder a su idea previa del fenómeno estudiado. Una muestra evidente de este aprendizaje memorístico es el evidenciado en varios estudiantes asignados a la categoría B, que recordando que cada 24h tienen lugar dos pleamares y dos bajamares (e.g., Fig. 2C), no tienen ningún problema en representar un único pandeo mareal, con la falta de coherencia interna que presenta ese modelo (debido al movimiento de rotación de nuestro planeta, cada punto del globo pasa por su posición más cercana a la Luna cada 24h, y por lo tanto, la marea debería subir por atracción gravitatoria una única vez por cada rotación terrestre, no dos).

Para paliar esta carencia de aprendizaje “memorístico” y no “comprensivo” de los fenómenos astronómicos, diversos autores han incidido en la necesidad utilizar modelos interactivos en miniatura, entendiendo éstos como representaciones simplificadas de los modelos mentales (Cardenete 2011). En el contexto de las mareas, debido a la complejidad de elaborar modelos físicos en miniatura, se ha señalado en varias publicaciones que el empleo de software de simulación o de proyecciones multimedia constituyen un buen recurso para enseñar el fenómeno (Sandberg y Barnard 1997, Härtel 2000, Ruzhitskaya y Montfroi 2011). Un buen ejemplo de estas simulaciones es la creada por ASPIRE (2012), mediante la cual los alumnos pueden contemplar el fenómeno desde diferentes perspectivas (local y global), analizar

diferentes parámetros orbitales y apreciar cambios en el sistema que requerirían largos periodos de observación directa.

Además de la falta de capacidad para representar el modelo desde una perspectiva global, en el presente trabajo se han detectado algunas concepciones alternativas que no habían sido identificadas con anterioridad. Muchos de los estudiantes asocian únicamente la marea alta con la presencia de la Luna (visible) durante la noche (e.g. Fig. 2D). Además, un número considerable de los alumnos consultados (5,3% de la muestra total) creen que las mareas se forman a partir del acercamiento (marea alta) y alejamiento (marea baja) de la Luna respecto a la Tierra (a modo de mareas de “*apogeo y perigeo diarias*”) (e.g., Fig. 2F). Esta idea es muy similar a la de la “teoría de la distancia” entre el Sol y la Tierra que utilizan muchos alumnos para explicar las estaciones del año, tratándose de una analogía basada en la experiencia cotidiana con fuentes de calor (Kikas 2004). Utilizando esta analogía, también se explica por qué algunos estudiantes relacionan las mareas con ascensos y descensos de la temperatura (acompañados de una mayor y menor tasa de evaporación o a la expansión térmica del agua) asociados a los ciclos día/noche. Para explicar el fenómeno de las mareas, la “teoría de la distancia” podría considerarse “aceptable y no muy alejada de la realidad” desde una perspectiva científica, ya que los alumnos interiorizan que la distancia entre astros (que implica en cierta medida un gradiente de gravedad) juega un papel determinante en el fenómeno. Sin embargo, esta concepción muestra importantes errores conceptuales en lo referente a la mecánica planetaria en el sistema Tierra-Luna que no habían sido detectados con anterioridad (ver por ejemplo Chun, Sahami y Denn 2010). Para explicar estas “*mareas diarias de apogeo y perigeo*”, subyace la idea de que los alumnos piensan que la Luna orbita sobre nuestro planeta siguiendo una trayectoria muy excéntrica y que el periodo de traslación lunar es igual o inferior al periodo de rotación terrestre, es decir, igual o inferior a un día, o por el contrario, piensan que la distancia Tierra-Luna se ve modificada diariamente a lo largo de la traslación del satélite sobre nuestro planeta (algo altamente improbable porque carece de cualquier tipo de coherencia interna). Analizando únicamente el primer escenario, éste concuerda con otras concepciones alternativas identificadas por Trumper (2001c) y Varela-Losada *et al.* (2015), en cuyos estudios, cerca de la mitad de los alumnos indicaron que la Luna da una vuelta alrededor de nuestro planeta a lo largo de un día.

La réplica del trabajo de Viiri (1999, 2000) en un contexto distinto al original, ha permitido observar unas diferencias muy marcadas entre la población estudiantil de Finlandia y la analizada en tres provincias españolas de interior. Tal vez las respuestas puedan estar influenciadas por la falta de contacto directo con los ciclos mareales, por lo que sería conveniente incluir en futuros estudios estudiantes que residan en poblaciones costeras. Sin embargo, a la hora de explicar qué son las mareas, el análisis de los resultados indica una diferencia notable en cuanto a la formación del alumnado, siendo muy destacada la información obtenida respecto a las carencias identificadas entre los futuros maestros. Sería necesario seguir profundizando en el tema, ya que lo reducido de la muestra no permite obtener datos extrapolables a todo el conjunto del territorio, seleccionando muestras significativas de la población estudiantil en las que se puedan validar los resultados obtenidos en esta investigación.

Referencias bibliográficas

- ASPIRE (2012) *Learn about Gravity and Tides*. Astrophysics Science Project Integrating Research and Education, University of Utah. Recuperado de: <http://sunshine.chpc.utah.edu/Labs/Tides/index.html>
- Baxter J. (1989) Children's understanding of familiar astronomical events. *International Journal of Science Education* 11(5), 502-513.
- Callison P.L., Wright E.L. (1993) *The effect of teaching strategies using models on preservice elementary teachers' conceptions about Earth-Sun-Moon relationships*. Paper presented at the Proceedings of the National Association for Research in Science Teaching, Atlanta.
- Camino N. (1995) Ideas previas y cambio conceptual en astronomía. Un estudio con maestros de primaria sobre el día y la noche, las estaciones y las fases de la luna. *Enseñanza de las Ciencias* 13(1), 81-96.
- Cardak O. (2009) Science students misconceptions of the water cycle according to their drawings. *Journal of Applied Sciences*, 9, 865-873.
- Cardenete S. (2011) Sol, Tierra y Luna. Movimientos relativos y sus consecuencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 8, 512-518. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10498/14560>
- Chin-Chung T., Chun-Yen C. (2005) Lasting Effects of Instruction Guided by the Conflict Map: Experimental Study of Learning about the Causes of the Seasons. *Journal of Research in Science Teaching* 42 (10), 1089-1111.
- Chun K.Y., Sahami K., Denn G. (2010) Student Ideas about Kepler's Laws and Planetary Orbital Motions. *Astronomy Education Review* 9(1).
- De Manuel J. (1995) ¿Por qué hay veranos e inviernos? Representaciones de estudiantes (12-18) y de futuros maestros sobre algunos aspectos del modelo Sol-Tierra. *Enseñanza de las Ciencias* 13, 227-236.
- Driver R. (1986) Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias* 4(1), 3-15.
- Ekman M. (1993) A concise history of the theories of tides, precession-nutation and polar motion (from antiquity to 1950). *Surveys in Geophysics* 14(6), 585-617.
- Furió C., Solbes J., Carrascosa J. (2006) Las ideas alternativas sobre conceptos científicos: tres décadas de investigación. *Alambique* 48, 64-77.
- Gobert, J.D. (2000) A typology of causal models for plate tectonics: Inferential power and barriers to understanding. *International Journal of Science Education* 22(9), 937-977.
- Gooding J., Metz B. (2011) From misconceptions to conceptual change: Tips for identifying and overcoming students' misconceptions. *Science Teacher* 78(4), 34-37.
- Härtel H. (2000) The tides - a neglected topic. *Physics Education* 35(1), 40.
- Junta de Castilla y León (2007) DECRETO 52/2007, de 17 de mayo, por el que se establece el currículo de la Educación Secundaria Obligatoria en la Comunidad de Castilla y León. *Boletín Oficial de Castilla y León*, Suplemento al núm. 99 de 23 de mayo de 2007, 2-88.
- Junta de Castilla y León (2008) DECRETO 42/2008, de 5 de junio, por el que se establece el currículo de bachillerato en la Comunidad de Castilla y León. *Boletín Oficial de Castilla y León*, núm. 111 de 11 de junio de 2008, 11306-11380.

- Junta de Castilla y León (2015) Orden EDU/362/2015, de 4 de mayo, por la que se establece el currículo y se regula la implantación, evaluación y desarrollo de la educación secundaria obligatoria en la Comunidad de Castilla y León. *Boletín Oficial de Castilla y León*, núm. 86 de 8 de mayo de 2015, 32051- 32480.
- Junta de Castilla y León (2015) Orden EDU/363/2015, de 4 de mayo, por la que se establece el currículo y se regula la implantación, evaluación y desarrollo del bachillerato en la Comunidad de Castilla y León. *Boletín Oficial de Castilla y León*, núm. 86 de 8 de mayo de 2015, 32481- 32984.
- Justi R. (2006) La enseñanza de las Ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias* 24(2), 173-184.
- Kanlı U. (2015). Using a two-tier test to analyse students' and teachers' alternative concepts in astronomy. *Science Education International* 26(2), 148-165.
- Kikas E. (2004) Teachers' conceptions and misconceptions concerning three natural phenomena. *Journal of Research in Science Teaching* 41, 432-448.
- Köse S. (2008) Diagnosing Student Misconceptions: Using Drawings as a Research Method. *World Applied Sciences Journal* 3(2), 283-293.
- Martín del Pozo *et al.* (2013). *Las ideas "científicas" de los alumnos y alumnas de Primaria: tareas, dibujos y textos*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Navarrete A. (1998) Una experiencia de aprendizaje sobre los movimientos del sistema Sol/Tierra/Luna en el contexto de la formación de maestros. *Revista de Investigación e Innovación escolar* 35, 5-20.
- Ojala J. (1997) Lost in space? The concepts of planetary phenomena held by trainee primary school teachers. *International Research in Geographical and Environmental Education* 6, 183-203.
- Parker J., Heywood D. (1998) The earth and beyond: Developing primary teachers' understanding of basic astronomical events. *International Journal of Science Education* 20, 503-520.
- Ruzhitskaya L., Montfroi W. (2011) *Teaching Gravity and Tides: Use Textbooks, Simulations or Videos?* Paper presented at the Earth and Space Science: Making Connections in Education and Public Outreach.
- Sandberg J., Barnard Y. (1997) Deep learning is difficult. *Instructional Science* 25(1), 15-36.
- Taylor I., Barker M., Jones A. (2003) Promoting mental model building in astronomy education. *International Journal of Science Education* 25(10), 1205-1225.
- Trumper R. (2000) University students' conceptions of basic astronomy concepts. *Physics Education* 35(1), 9.
- Trumper R. (2001a) A cross-age study of junior high school students' conceptions of basic astronomy concepts. *International Journal of Science Education* 23(11), 1111-1123.
- Trumper R. (2001b) A cross-age study of senior high school students' conceptions of basic astronomy concepts. *Research in Science & Technological Education* 19(1), 97-109.
- Trumper R. (2001c) A cross college age study of science and nonscience students' conceptions of basic astronomy concepts in pre-service training for high-school teachers. *Journal of Science Education and Technology* 10(2), 189-195.

- Trundle K.C., Atwood R.K., Christopher J.E. (2002) Pre-service elementary teachers' conceptions of moon phases before and after instruction. *Journal of Research in Science Teaching* 39(7), 633-658.
- Türk C., Şener N., Kalkan H. (2015) Pre-Service teachers' conceptions of specific astronomy concepts: a longitudinal investigation. *Journal of Social Science Studies* 2(2), 57-87.
- Varela-Losada M.M., Pérez-Rodríguez U., Álvarez-Lires, M.A., Arias-Correa A. (2015) Concepciones alternativas sobre Astronomía de profesorado español en formación. *Ciência & Educação* 21(4), 799-816.
- Vega A. (2001) Tenerife tiene seguro de Sol (y de Luna): Representaciones del profesorado de primaria acerca del día y la noche. *Enseñanza de las Ciencias* 19, 31-44.
- Viiri J. (1999) *Tides in textbooks, expert teachers' ideas and students' understanding*. Research in Science Education, Past, Present and Future. Paper presented at the Proceedings, 2nd International Conference of the European Science Education Research Association (ESERA), Kiel, Germany.
- Viiri J. (2000) Students' understanding of tides. *Physics Education* 35(2), 105-105.
- Viiri J., Saari, H. (2004) Research-based teaching unit on the tides. *International Journal of Science Education* 26(4), 463-481.
- 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. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10498/16921>
- Yair Y., Mintz R., Litvak S. (2001) 3D-virtual reality in science education: An implication for astronomy teaching. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching* 20(3), 293-305.
- Zeilik M., Schau C., Mattern N. (1998) Misconceptions and their change in university level astronomy courses. *The Physics Teacher* 36(2), 104-107.