



El mapa evolutivo de las estaciones del año

The evolutionary map of the seasons

Manuel Navarro Pastor
Universidad de Alicante
manuel.navarro@ua.es

RESUMEN • Los mapas evolutivos son estructuras que representan la red de itinerarios que pueden seguir los niños en la conceptualización de temas específicos (en el ámbito del pensamiento concreto). Están constituidos por el conjunto de integraciones posibilitadas por la sucesión de diferenciaciones que realiza el sujeto de un aspecto de su realidad observacional (a partir de la percepción). En este escrito presentamos su aplicación a un nuevo tema (el ciclo anual del movimiento del Sol en el cielo), incluida la contrastación experimental, lo que ha revelado una panoplia de concepciones infantiles, reforzado la validez y versatilidad de la metodología, sugerido un mecanismo cognitivo de relevancia didáctica (los modelos observacionales deducidos) y proporcionado apoyo adicional a la necesidad de cimentar el aprendizaje infantil en la realidad empírica. Además, como todo mapa evolutivo, posibilita el diseño de objetivos y criterios de evaluación secuenciales coherentes con el desarrollo cognitivo, así como la identificación de la arquitectura precisa del cambio conceptual necesario en cada aprendiz.

PALABRAS CLAVE: enseñanza de la ciencia; primaria; astronomía; mapa evolutivo; cambio conceptual.

ABSTRACT • Evolutionary maps (emaps) are structures that represent the network of itineraries that children may follow in the conceptualization of specific topics (within concrete thought). They consist of the set of integrations that are made possible by the succession of differentiations that subjects make from perceptual reality. In this paper, we present its application to a new topic (the annual cycle of the motion of the Sun in the sky), including the experimental test, which has revealed a panoply of children's conceptions, strengthened the validity and versatility of the methodology, suggested a cognitive mechanism of pedagogical relevance (deduced observational models) and provided additional support to the need for basing children's learning in empirical reality. In addition, as all emaps, it enables the design of sequential objectives and evaluation criteria consistent with cognitive development, as well as the identification of the precise architecture of the conceptual change necessary in each student.

KEYWORDS: science education; primary education; astronomy; evolutionary map; conceptual change.

Recepción: abril 2014 • Aceptación: septiembre 2015 • Publicación: noviembre 2015

Navarro Pastor, M., (2015) El mapa evolutivo de las estaciones del año. *Enseñanza de las Ciencias*, 33.3 pp. 23-42

INTRODUCCIÓN

Los mapas evolutivos (o *emaps*, en su acrónimo inglés) son una metodología de análisis conceptual que ha sido presentada en un escrito anterior (véase¹ Navarro, 2014) en el que se justifica su validez mediante la aplicación al ciclo astronómico diario. Aunque el análisis conceptual, como herramienta para el diseño de material curricular, cuenta con un largo recorrido y sigue siendo recomendado (véase Harlen, 2010) y practicado (véase National Research Council, 2007; Smith, Wisser, Anderson y Krajcik, 2006), los mapas evolutivos pretenden alcanzar un mayor grado de isomorfismo con el proceso de desarrollo conceptual que prácticas anteriores. En efecto, esta metodología ha demostrado ser útil para identificar el conjunto de concepciones e itinerarios conceptuales posibles en cada tema como resultado de mecanismos de desarrollo subyacentes, facilitar la identificación de las ideas previas de cada aprendiz –en conductas que, de otra manera, pueden parecer «ruido»–, señalar la estructura del cambio conceptual requerido en cada caso y diseñar objetivos de aprendizaje y criterios de evaluación jerárquicos y coherentes con el proceso de desarrollo. Su ámbito es el pensamiento concreto y son, por tanto, especialmente útiles para la etapa de primaria.

En el actual escrito presentamos la aplicación de la metodología al ciclo astronómico anual, esto es, las características astronómicas de las estaciones. Con ello pretendemos proporcionar a la comunidad educativa un instrumento útil para la enseñanza del tema, además de aportar apoyo adicional a la validez y versatilidad de esta herramienta. De hecho, este mapa ha sido utilizado para diseñar los objetivos de aprendizaje y pruebas de evaluación de tres secuencias de enseñanza (véase Navarro Pastor, 2011) cuya eficacia ha sido comprobada experimentalmente. El conocimiento de las características astronómicas que definen las estaciones (valores extremos de la duración del día, culminación y recorrido del Sol sobre el horizonte en los solsticios, e intermedios en los equinoccios) constituye un elemento importante de la alfabetización científica de los ciudadanos y es habitualmente recogido, con distintos grados de detalle, en los currículos oficiales.

Si bien es frecuente, inclusive en lengua española, la recomendación de que la enseñanza de la astronomía incluya actividades observacionales (véase, por ejemplo, Gavidia, 2014; Martínez Sebastián y Martínez Torregrosa, 2001; Navarro Pastor, 2011), los estudios sobre las concepciones de los niños respecto al sistema Sol-Tierra se refieren de forma prácticamente unánime al modelo cosmológico (véase, por ejemplo, De Manuel, 1995; Afonso López *et al.*, 1995; Gil Quílez y Martínez Peña, 2005) y no a los datos observacionales (Navarro, 2014). Una excepción importante es un trabajo de Plummer (2009), cuyos resultados más importantes respecto a los cambios anuales son que ningún niño (de un total de 60 de primero, tercero y octavo de cierta escuela americana) sabía que el recorrido del Sol es más corto en invierno que en verano y solo ocho que en verano el Sol está más alto que en invierno. En un estudio reciente, Dankenbring y Capobianco (2015) mencionan que un 10% de los alumnos de quinto curso de una escuela del mismo país afirman que el Sol está más alto en verano que en invierno, pero el resto de concepciones infantiles descritas se refieren al modelo cosmológico. Concepciones erróneas bien conocidas por los docentes son las creencias de que el Sol siempre sale por el este y se pone por el oeste (véase Schoon, 1992, citado por Martínez Sebastián, 2003) y que los días duran más y el Sol está más alto en verano que en el resto del año. Schoon también menciona la idea de que la duración de los días aumenta durante el verano.

Dado que en el artículo de presentación de los mapas evolutivos se describen con cierto detalle sus fundamentos teóricos, características, utilidad y metodología de validación, aquí abordaremos estos aspectos de forma resumida, aunque añadiendo alguna perspectiva adicional.

1. Nota de estilo: Una cita precedida por *véase* quiere decir que lo afirmado encuentra justificación o es ilustrado en el trabajo citado, mientras que una cita sin tal prefijo pretende reproducir, generalmente de forma muy resumida, sus ideas.

MARCO TEÓRICO DE LOS MAPAS EVOLUTIVOS

Entre los referentes teóricos de los mapas evolutivos se encuentran los conceptos fundamentales del constructivismo (cognitivo) y, por tanto, la noción de que a partir de estructuras mentales preexistentes surgen otras nuevas que son «cotejadas» con la realidad exterior (en un bucle permanente de retroalimentación). El constructivismo no solo es consistente con la epistemología evolucionista –origen del epíteto de la metodología– (véase Campbell, 1973; Czico, 2000; Dennett, 1996; Edelman y Tononi, 2000; Popper, 1979; Powers, 1973; Siegler, 1996), sino que esta es imprescindible para explicar aspectos esenciales (previamente) infundados de la teoría de Piaget y, en general, para explicar cómo puede un sistema aumentar su complejidad y adaptación al medio (Czico, 1995). La epistemología evolutiva contempla el desarrollo cognitivo como un proceso de variación (diferenciación e integración) y selección (esencialmente respecto a la capacidad predictiva o, en términos más generales, adaptativa), de carácter emergente y jerárquico. Como es característico de los sistemas complejos adaptativos, las variaciones pueden tener lugar a todos los niveles del sistema cognitivo, con efectos ascendentes y/o descendentes.

De forma similar a como la percepción surge del re[-]conocimiento de las sensaciones (Mahner y Bunge, 1997: 68-69), el conocimiento conceptual parte del re[-]conocimiento de las percepciones mediante un proceso de diferenciación y esquematización que posibilita su manipulación (véase Edelman y Tononi, 2000; Karmiloff-Smith, 1994; Llinas, 2002; Mandler, 2012; Pecher y Zwaan, 2010; Piaget y García, 1989). Siegler y Chen (2008: 436) señalan que «... la comprensión conceptual progresa desde formas indiferenciadas hacia formas progresivamente más diferenciadas y complejamente integradas». Los conceptos de diferenciación e integración han sido empleados con frecuencia en las teorías clásicas del desarrollo y, en años más recientes, han despertado nuevo interés para el análisis de conceptos, especialmente en el desarrollo de progresiones de aprendizaje y secuencias de enseñanza (véase Buty, Tiberghien y Le Maréchal, 2004; National Research Council, 2007; Scott y Driver, 1998; Smith, Wiser, Anderson y Krajcik, 2006). El proceso de diferenciación surge a partir de la percepción (proporcionando los elementos básicos del sistema conceptual), pero también tiene lugar a nivel conceptual cada vez que un concepto se «desdobla», por ejemplo cuando se concibe por primera vez que la duración del día puede no ser siempre la misma o que la velocidad a la que cambia la culminación del Sol puede variar.

Aunque la metodología de los mapas evolutivos es compatible con una interpretación unidireccional del desarrollo, tan solo despliega plenamente su potencial para identificar y explicar conductas desde la perspectiva proporcionada por la teoría de sistemas dinámicos no lineales (véase Raftopoulos y Costantinou, 2004; Thelen y Smith, 1996; Yan y Fischer, 2002). La citada teoría explica cómo, en los sistemas complejos, condiciones iniciales prácticamente idénticas pueden generar rápidamente estados muy alejados entre sí (el conocido efecto mariposa) y, por tanto, que las mismas preguntas realizadas en condiciones similares pueden originar respuestas muy diferentes (siendo, sin embargo, todas ellas informativas acerca de la configuración mental del sujeto y no ruido derivado de un diseño experimental defectuoso). Esto se refiere a la variabilidad en explicitud de los constructos mentales (los mismos conocimientos pueden estar más o menos accesibles a la conciencia en un determinado momento, véase Pozo, 1999; Pozo y Rodrigo, 2001: 412), a la emergencia de concepciones novedosas durante una entrevista (véase el apartado «Resultados» de este mismo texto) y a la alternancia de esquemas mentales más o menos avanzados (véase Pozo y Rodrigo, 2001; Siegler, 1996; Schwartz y Fischer, 2004; Yan y Fischer, 2002). La metodología aquí propuesta proporciona un mapa de los distintos itinerarios constructivos posibles y, por tanto, un sustrato invariante a la citada variabilidad, tanto intra- como interpersonal (es decir, dicha variabilidad está restringida a los itinerarios del mapa). Cabe también contemplar esta metodología como una técnica microgenética, pero enfocada a los conceptos en lugar de a los procesos (véase Schwartz y Fischer, 2004; Yan y Fischer, 2002).

DESCRIPCIÓN DE LOS MAPAS EVOLUTIVOS

En conformidad con el marco teórico, los mapas evolutivos son estructuras constituidas a partir de la sucesión de diferenciaciones que realiza el sujeto de un aspecto de su realidad observacional, empezando por aquellas que proceden de la percepción (por ejemplo, las diferenciaciones *cielo iluminado* frente a *cielo oscuro*, *Sol en el cielo* frente a *no Sol en el cielo* y *Luna en el cielo* frente a *no Luna en el cielo*), en forma de integraciones realizadas a partir de estas, que pueden ser correctas (*cielo iluminado-Sol en el cielo* y *cielo oscuro-no Sol en el cielo*) o erróneas (*cielo oscuro-Luna en el cielo*). En otras palabras, la sintaxis (generativa) del mapa define qué constructos pertenecen a este como el conjunto de integraciones posibles a partir de las diferenciaciones. Manifestaciones infantiles que de otra manera pueden parecer ruido cobran significado como estructuras sintácticas específicas (es decir, el mapa actúa como esquema de asimilación y análisis). De cada diferenciación pueden abstraerse nuevas diferenciaciones, lo que determina la estructura jerárquica del mapa (es decir, el nivel de una concepción corresponde al número de diferenciaciones implícitas). Por ejemplo, una vez que se supone que la culminación puede cambiar a lo largo del año, puede concebirse que la velocidad de cambio no sea siempre la misma.

El diseño preliminar de un mapa consiste en un ejercicio de reflexión teórica por el que se identifican de manera analítica las posibles diferenciaciones en el ámbito de estudio (lo que constituye la esencia del mapa y la parte difícil de su elaboración), que son luego relacionadas entre sí en forma de, al menos, los conceptos científicos, las ideas alternativas conocidas y aquellas combinaciones que se presumen como probables constructos en la mente de los niños. Otras integraciones, como las fragmentarias (por ejemplo, tener una opinión sobre la duración del día en una estación pero no en las otras), son excluidas de los diagramas por simplicidad (en el diagrama del mapa hay que alcanzar un equilibrio entre completitud y simplicidad), aunque es previsible que en la transición entre un nivel y otro dichas integraciones parciales sean habituales (hasta alcanzar el equilibrio en forma de estructura cerrada, que se romperá con la siguiente diferenciación). La restricción de la metodología a contenidos concretos permite acotar el número de diferenciaciones e integraciones dentro de unos límites manejables, mientras que el ascenso hacia la abstracción complica el proceso de forma exponencial lo que, presumiblemente, la hace inviable en ese ámbito. El diseño de un mapa conceptual exige una comprensión detallada de los contenidos científicos, familiaridad con las concepciones infantiles conocidas y, por descontado, un buen conocimiento de la técnica y de sus fundamentos teóricos.

Los mapas evolutivos permiten identificar las diferenciaciones implícitas en las concepciones de los alumnos y de qué manera estas se han integrado, con tan solo constatar el lugar que dichas concepciones ocupan en el mapa. Por tanto, la disponibilidad del mapa evolutivo de un tema permite determinar con exactitud el cambio conceptual necesario para cada aprendiz (nuevas diferenciaciones y/o nuevas integraciones o corrección de las integraciones ya existentes, y el orden necesario entre ellas) y posibilita el diseño a medida de actividades de (micro) enseñanza. No obstante, en algunos casos no es posible distinguir en primera instancia la ausencia de diferenciación de la diferenciación acompañada por una integración en la que la variable adopta un único valor. A veces, la diferenciación y una primera integración suceden al mismo tiempo (es, quizá, el caso de un niño de 5 años que descubrió que al final del día el Sol desciende porque su abuelo se lo mostró, estando ambos en el campo; es decir, pudo descubrir simultáneamente la diferenciación vertical del movimiento del Sol en el cielo, junto con una integración de su trayectoria al final del día).

Desde el punto de vista del diseño curricular, la precisión y la naturaleza jerárquica de los mapas evolutivos facilitan el desarrollo de diseños orientados por objetivos secuenciales vinculados a niveles de desarrollo (véase Krajcik, McNeill y Reiser, 2008), así como de criterios de evaluación de características similares (véase Caleon y Subramaniam, 2010). Son ejemplo de ello las citadas secuencias de enseñanza sobre el ciclo diurno y las estaciones (véase Navarro Pastor, 2011).

Los mapas evolutivos responden al método hipotético-deductivo característico de la ciencia. Es decir, hipotetizan unos mecanismos de los que deducen fenómenos contrastables de forma experimental. Por tanto, la metodología empírica difiere de las investigaciones descriptivas (véase Navarro, 2014). Aquí se trata de comparar los fenómenos observables con aquellos deducidos a partir de las hipótesis. Es decir, se evalúa la capacidad del mapa para asimilar (y explicar) todas las concepciones de los sujetos (tanto las conocidas a priori, como las que puedan surgir durante la experimentación). Además, si el mapa predice ciertas concepciones desconocidas hasta ese momento y la experimentación las confirma habrá obtenido el más alto nivel de corroboración experimental de la ciencia. En el caso de estudios cuantitativos transversales, las concepciones asociadas a un mayor número de diferenciaciones (niveles superiores del mapa) deberán aparecer a edades posteriores. Si algunas concepciones, conocidas o descubiertas en la experimentación, no aparecen en el modelo, se analizará, en primer lugar, si estas consisten en integraciones que no han sido tenidas en cuenta, deliberadamente o no, en cuyo caso la corrección es sencilla. Si el déficit no admite ese tipo de reparación, la modificación necesaria será más profunda y requerirá probablemente la identificación de nuevas diferenciaciones (o el rechazo del mapa).

CONCEPTOS EPISTEMOLÓGICOS UTILIZADOS EN LA INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

En Navarro Pastor (2011) se introdujo el concepto de *conocimiento flotante*, como aquel que al aprenderse no establece vínculos (estructurales) con la realidad empírica y, por ende, no sirve al sujeto para ampliar su realidad. Este tipo de aprendizaje podría ser la causa de que, habitualmente, los estudiantes no encuentren vinculación entre los contenidos de ciencias y el mundo que les rodea, y solo los vean como un medio para aprobar exámenes (véase Harlen, 2010). Por el contrario, el *conocimiento cimentado* se vincula con la realidad observacional (en última instancia, mediante procesos de diferenciación e integración), pudiendo ser puramente descriptivo (por ejemplo, saber que el lugar del ocaso varía porque se ha observado en el horizonte de la escuela) o explicativo (por ejemplo, entender cómo el giro de la Tierra sobre sí misma da lugar a la observada trayectoria del Sol en el cielo en forma de arco). La importancia del conocimiento cimentado es que permite relacionar la teoría aprendida con la realidad vivida, explicando situaciones particulares o permitiendo hacer predicciones (por ejemplo, dentro de una hora me broncearé con más rapidez porque el Sol estará más cerca de la culminación). La cimentación de un determinado conocimiento puede ser más o menos completa.

La interpretación de los resultados de esta investigación aconseja introducir el concepto complementario de *modelo observacional deducido*. Veremos que son muchos los casos en los que la representación que tiene el niño del movimiento del Sol en el cielo –un conocimiento que, en principio, es de naturaleza observacional– no se construye a partir de la percepción empírica o, incluso, de una enseñanza representativa (es decir, a partir de textos o imágenes), sino que se deduce directamente a partir de ideas previas más generales (aunque no necesariamente de forma consciente). Por ejemplo, esto es lo que sucede con los niños que dibujan la trayectoria *cuerda de tender*: el Sol aparece en lo alto, desciende en diagonal y vuelve a subir, de nuevo, diagonalmente. En estos casos, los niños deducen que haciendo más calor a mediodía el Sol debe estar más cerca y, por tanto, más próximo al horizonte. Este tipo de conocimiento casi siempre es erróneo (además de flotante), ya que lo contrario exige que el niño aprenda correctamente teorías de mayor nivel y luego deduzca acertadamente el nivel observacional (por ejemplo, que aprenda el modelo heliocéntrico y deduzca correctamente la trayectoria del Sol en el cielo). El contenido descriptivo de los modelos observacionales deducidos también puede ser analizado en términos de diferenciaciones e integraciones y, por tanto, ocupan un lugar en el mapa (sin embargo, el estudio del proceso deductivo desde niveles superiores suele solo ser viable de forma heurística y con menor finura analítica).

El concepto de conocimiento flotante es útil como herramienta de diagnóstico cuando una concepción, a pesar de ser correcta, resulta inoperante (el alumno no la utiliza en su vida cotidiana). En cambio, el concepto de modelo observacional deducido sirve para explicar la etiología de determinados conocimientos erróneos (como el ejemplo del párrafo anterior). Proponemos estos conceptos por su capacidad para asimilar y explicar un gran número de casos experimentales (véanse los apartados «Resultados» y «Discusión» de este mismo texto). Epistemológicamente, consisten en «inferencias a la mejor (y aceptable) explicación» (véase Hon y Rakover, 2001, y Navarro, 2014).

ANTECEDENTES

El mapa evolutivo de los ciclos anuales se basa en la diferenciación de conceptos proporcionados por el mapa del ciclo diario (véase Navarro, 2014), que, a su vez, los ancla en diferenciaciones de la realidad perceptiva. Además de resolver cómo se construye la sucesión día-noche, dicha investigación ha demostrado que la construcción de la trayectoria diaria del Sol en el cielo –un arco con extremos en el horizonte– es un desarrollo integrativo a partir de la diferenciación de la posición del Sol en el horizonte –el Sol a veces está en el horizonte– y de las diferenciaciones del movimiento horizontal –el Sol ocupa distintas posiciones en la dirección horizontal–, y del movimiento vertical –el Sol ocupa distintas posiciones en dirección vertical–, lo que exige una previa dimensionalización del cielo (estructuración de la bóveda celeste mediante la proyección de dos dimensiones, por ejemplo vertical y horizontal). Estos procesos son más complejos de lo que puede parecer a primera vista y, de hecho, una investigación cuantitativa (Navarro Pastor, 2009) indica que menos de la mitad de los alumnos del último ciclo de primaria han construido la trayectoria en forma de arco.

El citado mapa evolutivo predice toda una serie de trayectorias tales como la trayectoria *semáforo* –el Sol aparece en el horizonte, salta a lo alto y finalmente reaparece en el horizonte–, la trayectoria *yo-yo* –el Sol aparece en el horizonte, asciende lentamente hasta lo alto y al cabo del día vuelve a descender– y la trayectoria horizontal –el Sol aparece en lo alto, se desplaza horizontalmente y vuelve a desaparecer–, que han sido corroboradas *a posteriori* en el estudio empírico. También explica por qué muchos niños dibujan el Sol en el cielo de forma aparentemente aleatoria (el cielo aún no ha sido dimensionalizado). Estos resultados son relevantes para la comprensión de este mapa, ya que trata sobre los cambios en la trayectoria diaria. Por ejemplo, un niño que conciba la trayectoria como una línea horizontal que no toca el horizonte difícilmente podrá imaginar regularidades en el desplazamiento del orto y del ocaso.

Además, dicha investigación ilustra cómo la perspectiva de la cognición basada en la teoría de sistemas no lineales asimila fenómenos que, de otra manera, parecen ruido, tal como responder de distintas maneras a una misma pregunta formulada repetidamente (por ejemplo: «¿se mueve el Sol en el cielo?»), o los casos en que el niño responde correctamente cuando le muestran varios dibujos entre los que se encuentra el correcto, pero no sin ellos. Dicha perspectiva asocia los conceptos a (cuasi)atractores en un espacio de fases y la variabilidad de las respuestas al carácter fractal de las fronteras de las cuencas de los atractores (diferencias ínfimas en las condiciones iniciales sitúan el estado en una cuenca u otra –efecto mariposa–). En el segundo ejemplo, la percepción del dibujo correcto sitúa el estado «inicial» en la cuenca del atractor correspondiente al concepto correcto (la imagen correcta en la retina actúa como condición de contorno que reduce los grados de libertad del sistema, proyectando el flujo mental sobre la cuenca de dicho atractor). Con la consolidación del aprendizaje la cuenca del atractor se amplía, de forma que son más las condiciones iniciales que lo activan (que desembocan en él).

DESARROLLO «TEÓRICO» DEL MAPA

El movimiento diario del Sol en el cielo puede caracterizarse mediante tres parámetros: el lapso de tiempo entre el orto y el ocaso, el valor de la culminación y el azimut del orto y el ocaso (o la distancia angular entre ambos, esto es, el recorrido horizontal). En el nivel cognitivo inicial no hay variación a lo largo del año en ninguno de los tres. Pero esta concepción no es consciente o explícita (eso implicaría tener conciencia de la posibilidad de variación); es más bien «por defecto» o implícita.

El salto al nivel 2 supone tres diferenciaciones consistentes en la creación de los conceptos de «distintas duraciones del día», «distintas alturas máximas» y «distintos lugares de salida y puesta del Sol». Aparece un grado de libertad en cada uno de los parámetros mediante una diferenciación que en su origen es, presumiblemente, discreta, de carácter binario o superior (una diferenciación discreta puede ser imaginada mediante la superposición en una misma representación de unas pocas trayectorias, mientras que la continua requiere un alto grado de abstracción). Las integraciones correspondientes pueden ser muy variadas, por ejemplo, la habitual oposición verano-invierno, con valores intermedios para la primavera y el otoño (figura 1, nivel 2).

En el salto al nivel 2 no todos los parámetros se diferencian necesariamente al mismo tiempo. La dimensionalización y parametrización del tiempo –en cuyo origen probablemente se halla la diferenciación día/noche y su integración como sucesión cíclica– es, a pesar de su abstracción, claramente anterior a la espacial –del cielo– (Navarro, 2014), presumiblemente debido al intenso papel que juega en el «mundo de la vida» (Habermas) del sujeto social, lo que propicia una más temprana toma de conciencia de la posibilidad de «distintas duraciones del día». La diferenciación de la culminación (concebir que la culminación puede adoptar distintos valores) requiere una dimensionalización vertical del cielo, que es más fácil que la horizontal, ya que los dos sentidos son asimétricos debido a la gravedad y, además, existe un referente invariante –el horizonte– (Navarro, 2014). Sin embargo, la dimensionalización horizontal (a la altura del horizonte) es enseñada en la escuela (los puntos cardinales). En cuanto al azimut del orto y el ocaso, la idea transmitida en las escuelas, y recogida por los alumnos, es una extrapolación de la situación equinoccial (orto en el este y ocaso en el oeste) y, por tanto, aunque haya diferenciación, la integración habitual respecto al recorrido del azimut es de ausencia de cambio.

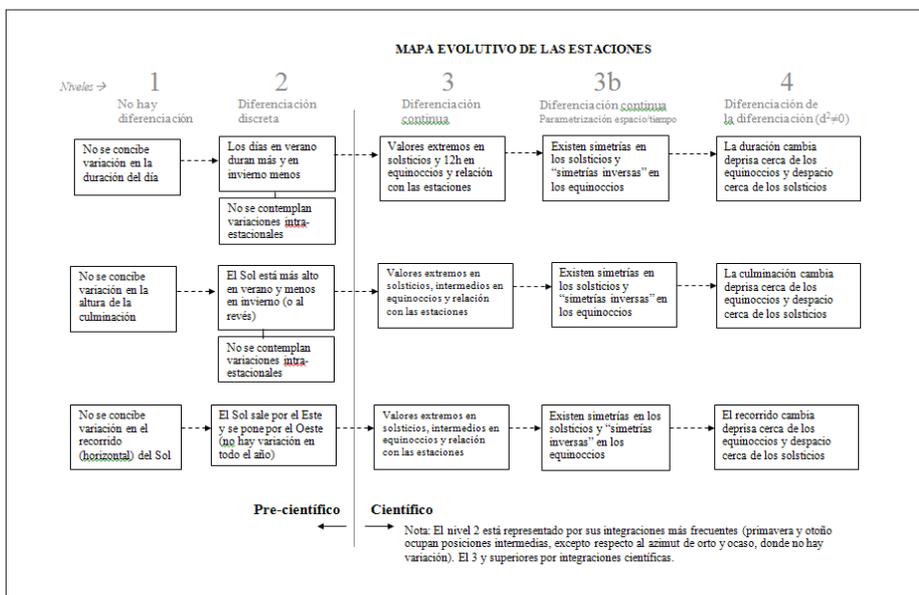


Fig. 1. Mapa evolutivo de las estaciones

En resumen, el modelo del nivel 2 consiste en una diferenciación discreta de los tres parámetros, cuya integración, como es sabido, suele estructurarse mediante la oposición verano-invierno (presumiblemente, por extrapolación del comportamiento de las temperaturas), excepto en el recorrido del azimut que se supone invariante. Una característica significativa del nivel 2 es que obliga a los niños a contemplar cada estación como un periodo sin cambios (o con un número limitado de cambios bruscos), lo que de ser corroborado empíricamente supondría otra predicción acertada del modelo.

Puede parecer a primera vista que este modelo y el científico pertenecen a un mismo plano cognitivo y que el salto de uno a otro implica meramente sustituir la oposición verano-invierno por la oposición solsticio de verano-solsticio de invierno. Sin embargo, lo cierto es que el modelo científico en el que los valores extremos corresponden a los solsticios supone nuevas diferenciaciones (pasar de la diferenciación discreta a la continua, el nivel 3) y es por lo tanto cognitivamente más exigente. Es decir, en el modelo científico del nivel 3 (figura 1) el hecho de que los valores extremos correspondan a un solo día –los solsticios– exige concebir un (cuasi) continuo para los valores absolutos de los parámetros, lo que supone un nivel de abstracción mayor.

Pero, además, este nivel 3 no solo implica concebir (diferenciar) un estado permanente de cambio en los parámetros, sino que exige también distinguir con claridad entre los valores absolutos y la forma en que cambian esos valores –al menos si aumentan o disminuyen– (es decir, no confundir, por ejemplo, estar aumentando con ser grande). De nuevo, este desarrollo no es trivial ni se da en todos los adultos. Es sorprendentemente frecuente entre alumnos de Magisterio que uno de ellos argumente que un determinado día de primavera dura más que uno de verano –estando aquel más alejado del solsticio– porque en primavera los días aumentan y en verano disminuyen (es decir, se argumenta que lo que está aumentando es necesariamente mayor que lo que está disminuyendo; para corregir este déficit cognitivo dibujamos un individuo iniciando el ascenso de una cuesta y otro iniciando su descenso –a pesar de descender, el segundo está más alto que el que sube–). En palabras más precisas, todavía no ha diferenciado con la suficiente claridad valor absoluto de tendencia –o (primera) derivada–, de forma similar a como en el curso de la evolución cognitiva se confunden velocidad y aceleración (lo que puede dar lugar a la confusión de que lo que está frenando es necesariamente más lento que lo que está acelerando). Este es otro ejemplo de cómo el modelo tiene una capacidad explicativa y no meramente descriptiva.

Por otro lado, el salto al nivel 3 puede ir acompañado de la parametrización (establecimiento de un isomorfismo con el continuo de los números reales) de las coordenadas angulares –elevación y azimut– además de la temporal. La parametrización temporal es habitual ya que, como se ha dicho, está sometida a un entrenamiento social intenso, pero las angulares suponen una gran dificultad (Lanciano y Camino, 2008) y, según nuestra experiencia en la formación de maestros, es alcanzada por pocos adultos. El nivel 3 parametrizado facilita un desarrollo adicional mediante el establecimiento de un nuevo tipo de relación (integración) basado en la distancia a los días especiales –equinoccios y solsticios– (por ejemplo, a mayor distancia del solsticio de verano menor valor de los parámetros). Esto incluye el concepto de simetría. Este desarrollo es denominado nivel 3b (figura 1). Los objetivos de las unidades didácticas citadas (Navarro Pastor, 2011) corresponden a los niveles 3 y 3b, excepto respecto al recorrido, donde se limitan al 3.

El salto al nivel 4, concebir que la velocidad de cambio puede no ser siempre la misma (segunda derivada temporal distinta a cero), implica una nueva diferenciación y, por ende, un nuevo grado de libertad. En este nivel se puede meramente diferenciar la existencia de cambios en la velocidad de variación de los días o llegar a integrar –con distinto grado de precisión– su evolución –por ejemplo, la trayectoria del Sol cambia rápidamente cerca de los equinoccios y lentamente cerca de los solsticios– (figura 1, nivel 4).

Puede ser conveniente insistir en que lo que caracteriza a cada nivel es la correspondiente diferenciación, mientras que la integración puede realizarse de maneras distintas. Sin embargo, en el nivel 2 la oposición de temperaturas entre el verano y el invierno y la retroalimentación social parecen asegurar

de forma prácticamente unánime el paso por el modelo descrito. La ordenación de la primavera y el otoño puede variar, aunque los libros de texto de primaria suelen presentarlos como iguales (pero en el caso del orto y el ocaso, como se ha dicho, la igualdad es extendida a todo el año). En el nivel 3 puede desarrollarse un modelo híbrido si no se accede al modelo científico. En ausencia de un modelo mejor el sujeto puede acomodar la oposición verano-invierno a su nuevo arsenal cognitivo concibiendo, por ejemplo, la primavera y el otoño como periodos en los que los parámetros aumentan y disminuyen hasta alcanzar el máximo y el mínimo que corresponderían, de manera más o menos uniforme, al verano e invierno respectivamente –asumiendo que hayan alcanzado una integración completa y coherente (aunque errónea), lo que no es siempre, ni mucho menos, el caso–. Este modelo híbrido es abordado en algunos libros de texto (en otoño y primavera los días disminuyen y aumentan, respectivamente, y en invierno y verano se mantienen estables).

OBJETIVOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

El trabajo experimental de este proyecto pretende desarrollar nuestro conocimiento y comprensión de las concepciones infantiles respecto a las estaciones mediante la utilización como lente teórica del mapa evolutivo, junto con el marco teórico y los conceptos epistemológicos citados anteriormente. Recíprocamente, en la medida en que este empeño sea fructífero y, en particular, si se confirma la predicción de que los niños y niñas pasan por un periodo en que no conciben variaciones dentro de una misma estación, tanto la metodología en general como este mapa específico saldrán reforzados.

Es importante señalar que las concepciones infantiles conocidas (véase el apartado «Introducción» en este mismo texto) encajan perfectamente en el mapa evolutivo, lo que supone un primer apoyo a su validez. Como se ha visto, las nociones de que el Sol siempre sale por el este y se pone por el oeste y de que los días duran más en verano que durante el resto del año están recogidas explícitamente en el mapa, en el nivel 2 (diferenciación discreta). La creencia de que la duración de los días aumenta durante el verano corresponde al nivel 3 (diferenciación continua); no aparece en el mapa por ser una integración fragmentaria.

El montaje experimental de esta investigación es el mismo que el realizado en el trabajo sobre el ciclo día-noche (Navarro, 2014). Las entrevistas tuvieron lugar durante un periodo de 2 meses con estudiantes de 4 a 11 años en una escuela de clase media de la ciudad de Alicante, y durante un periodo de dos semanas con estudiantes de 6 a 11 años en la escuela de verano de la universidad de la misma ciudad. Hubo un total de 70 entrevistas (4 en cada grupo de infantil y entre 9 y 10 en cada grupo de primaria), que fueron grabadas en vídeo. Los alumnos fueron elegidos por los maestros para proporcionar muestras representativas, siendo el número de niños y niñas similar. Señalamos, no obstante, que la investigación no tiene un carácter cuantitativo y, por tanto, la distribución de la muestra no juega un papel esencial. Al igual que Piaget, se ha codificado la edad en años y meses como aa:mm.

En las entrevistas sobre los cambios anuales los alumnos respondían sucesivamente a las siguientes preguntas (que eran reformuladas en caso de ser necesario):

1. ¿Cambia la duración del día y de la noche a lo largo del año o son siempre iguales? ¿Lo habías pensado antes? Si responde afirmativamente a la primera, ¿Cuándo duran más y cuándo menos? Si asocia el cambio a las estaciones: ¿Puedes ordenar las estaciones según la duración de los días? Si duran igual en dos estaciones escríbelas en la misma línea. ¿Cambia la duración de los días a lo largo de una misma estación? ¿Cómo? ¿Cambia la duración del día siempre a la misma velocidad?
2. Igual que la anterior (*mutatis mutandis*), pero referida al movimiento del Sol en el cielo.
3. Cuando la respuesta anterior es negativa, preguntar directamente por cambios en la altura y por cambios en el lugar de salida y puesta del Sol (con el mismo formato).

En los casos en los que los alumnos reconocían cambios en la trayectoria del Sol en el cielo, se les ofrecía ilustrarlo mediante dibujos sobre un paisaje impreso. En algunos casos, las citadas preguntas eran complementadas *ad libitum* para profundizar en las respuestas de los niños, en ocasiones solicitando dibujos adicionales para aclarar relatos confusos. No obstante, señalamos que no hay, ni puede haber, certidumbre sobre la reproducibilidad de las respuestas. Es decir, aunque en algunos casos parece obvio que la respuesta del niño corresponde a una estructura consolidada y unívoca, como regla general se evita asumir que la repetición de las mismas preguntas en otro momento o contexto vaya a generar respuestas equivalentes –y en ocasiones hemos observado este tipo de discrepancia–, lo que, como se ha dicho, es consistente con la perspectiva de la mente basada en la teoría de sistemas dinámicos no lineales. Sin embargo, aunque algunas estructuras sean inestables o multívocas (coexistencia de varias estructuras incoherentes relativas a un mismo fenómeno),² su análisis en términos de diferenciaciones e integraciones sigue siendo informativo y ayuda a evaluar la validez del mapa evolutivo, así como a descubrir concepciones infantiles.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

A continuación se resumen e ilustran con ejemplos las concepciones reveladas por la investigación, relacionándolas con el mapa evolutivo. Además, se destacan ciertas conductas observadas en los niños que cobran sentido a la luz de los mecanismos cognitivos propuestos más arriba, en el contexto de los contenidos que las suscitaron.

- Como se anticipaba, la diferenciación de la duración de los días a lo largo del año se produce mucho antes que la de la elevación y la de la posición del orto y el ocaso. Dicho de otra forma, el salto al nivel 2 se inicia en la dimensión temporal. A partir de los 5 años se ha encontrado a niños que reconocen que la duración de los días cambia (por ejemplo, «porque algunas veces cuando salgo de la clase de baile es de día y otras de noche»). Un niño de 8:8 inicialmente no sabe responder a la pregunta de si la duración del día y de la noche cambia a lo largo del año, pero de pronto afirma que sí «porque un día al salir de la clase de judo era de noche» (un caso, entre otros, de emergencia en el curso de una entrevista y de conocimiento cimentado).
- Tal y como se esperaba, inicialmente la diferenciación de la duración del día no va necesariamente acompañada de algún tipo de integración (véanse los ejemplos del párrafo anterior) y, mucho menos, de una estructura completa. La integración parece ocurrir de forma tentativa y progresiva (se ha observado en numerosas ocasiones que las diferenciaciones son súbitas –e irreversibles– y las integraciones graduales –y sujetas a error, corrección y extinción–).³ Por ejemplo, un niño de 7:2 afirma que en verano el Sol se pone antes para no pasar calor (modelo observacional deducido), pero no sabe decir nada más sobre lo que sucede durante el resto del año. Uno de 8:6 sabe que en invierno se hace de noche pronto pero no sabe qué sucede en verano. Otro niño, de 6 años, afirma que los días son más largos en verano que en invierno, pero no sabe que sucede en primavera y otoño. Curiosamente, una niña de 11:6 reconoce que el Sol se pone más tarde en verano pero sin embargo afirma que el día dura 12 horas todo el año. Lo explica afirmando que el retraso es debido al cambio de horario. Esto es un ejemplo curioso de diferenciación con integración uniforme. Es también una ilustración de la confusión que causa la práctica de los cambios de horario (que deberían, al menos, denominarse horario de primavera-verano y horario de otoño-invierno, lo que evitaría reforzar la concepción alternativa del verano e invierno como estaciones opuestas), así como un ejemplo de

2. Tales estructuras en realidad no existen. Lo que existe son ciertas configuraciones neuronales que permiten que aquellas surjan en determinadas condiciones de contorno.

3. Un estudio realizado con alumnos de sexto curso un año después de haber participado en la aplicación de unas secuencias confirma que las diferenciaciones perduran y que las integraciones tienden a desvanecerse si no se utilizan (Navarro Pastor, 2011)

integración sintética (en el sentido de Vosniadou y Brewer, 1992). Las primeras integraciones completas se han detectado en tercer curso y solo a partir del tercer ciclo se observa de forma mayoritaria una integración que abarca todo el año (lo que es coherente con el orden previsto).

- Contrariamente a nuestras expectativas, la diferenciación de la duración respecto a las cuatro estaciones no responde habitualmente al modelo de tres niveles enseñado de forma casi general en las escuelas españolas (primavera y otoño iguales), sino que aproximadamente dos de cada tres niños que hacen una integración anual completa establecen un orden de cuatro niveles en el que los días en primavera son más largos que en otoño. La siguiente integración más frecuente es la enseñada en la escuela, mientras que tan solo un niño de sexto propone la ordenación correcta (primavera = verano > otoño = invierno).
- Muchos niños (una clara mayoría en el estudio) responden que la duración del día no cambia a lo largo de cada estación, con frecuencia dando la impresión de no habérselo preguntado nunca (nivel 2, diferenciación discreta). Esto constituye la corroboración de una predicción del mapa que, por insólita, nos parecía improbable. No obstante, se han detectado casos de diferenciación continua a partir de 3.º (8 años), aunque la integración es en todos los casos fragmentaria y errónea. La más frecuente se refiere a una disminución de la duración de los días durante el verano.
- El conocimiento de la variación en la elevación del Sol a lo largo del año es sorprendentemente exiguo (aunque coincidente con el citado trabajo de Plummer, 2009), a pesar de que, inusualmente, el libro de texto que usan los alumnos de esta escuela en 4.º curso representa, correctamente, el recorrido del Sol el 30 de junio y el 31 de diciembre. De un total de 58 niños repartidos de forma similar entre los distintos niveles de primaria solamente 4, de edad 8:0 (3.º), 9:1 (4.º), 10:1 (5.º) y 11:2 (6.º), mencionan espontáneamente que la altura del Sol es distinta en verano e invierno. La niña de 8:0 afirma que «en invierno no sube tanto» (la trayectoria diaria del Sol que concibe esta niña es del tipo yo-yo). La niña de 9:1 –que ha demostrado haber dimensionalizado verticalmente el cielo en las preguntas sobre el movimiento diario– deduce que en verano el Sol está más bajo por estar más cerca (modelo observacional deducido). El chico de 10:1 años reconoce distintas alturas (figura 2) a pesar de haber elegido una trayectoria diaria del Sol horizontal y negado explícitamente que el Sol salga o se ponga por el horizonte. Esto ilustra cómo puede haber una dimensionalización del espacio en una determinada dirección sin que existan cambios en la posición del Sol (en este caso, diarios) en esa misma dirección (la integración vertical es uniforme: trayectoria horizontal). Es decir, como es de esperar a su edad, para este chico ya existen distintas alturas en el cielo (dimensionalización vertical) y por tanto la trayectoria horizontal no es debida a una falta de dimensionalización sino, probablemente, a una falta de observación del Sol en o cerca del horizonte, posiblemente asociada a una vida urbana (que no necesariamente de percepción, ya que como afirma Mandler [2012], la construcción de conceptos a partir de la percepción requiere atención).

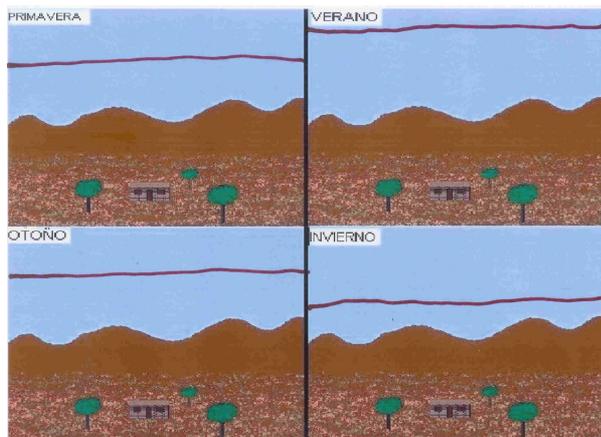


Fig. 2. Trayectoria diaria del Sol en cada una de las cuatro estaciones (5.º curso, 10:1)

Puede observarse que el marco metodológico de los mapas evolutivos no solo es capaz de explicar los mecanismos cognitivos responsables de dibujos como el de la figura 2, sino que puede anticiparlos. En efecto, el dibujo citado es la manifestación del nivel 2 del mapa cognitivo de los ciclos anuales cuando el ciclo diario ha sido construido en forma de trayectoria horizontal –que a su vez está predicha por el mapa evolutivo del ciclo diario (Navarro, 2014)–.

Otros ocho niños (de 3.º a 6.º) responden, tras la pregunta directa y después de pensarlo, que hay diferencias en la altura que alcanza el Sol a lo largo del año. Por ejemplo, una niña de 11:4 (6.º) se muestra inicialmente incapaz de concebir alguna diferencia en la trayectoria del Sol en verano e invierno; sin embargo, cuando le preguntamos si puede haber una diferencia en la altura que alcanza el Sol en el cielo, tras un (precioso) periodo de concentración recuerda que en verano, en la playa, el Sol se ve muy alto mientras que en la época en que estábamos (noviembre) se ve muy cerca de los edificios (esta niña conocía la trayectoria diaria en arco del Sol) –de nuevo, un conocimiento emergente en el curso de una entrevista–. Otros tres niños deducen que al estar más cerca el Sol en verano (sic) se verá más bajo en el cielo (modelos observacionales deducidos) –figura 3–.

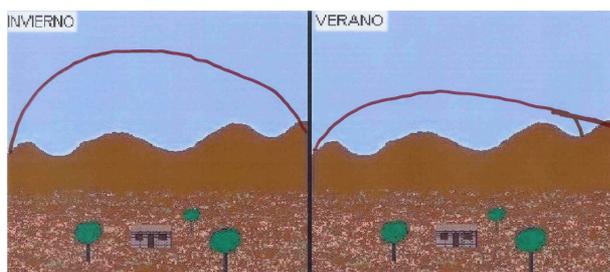


Fig. 3. Trayectoria diaria del Sol en invierno y verano (6.º curso, 11:6)

La integración de la variación de la culminación en relación con las estaciones –en los escasos casos en los que se ha hecho una diferenciación– es parecida a la realizada respecto a la duración de los días. Los dos chicos que sabían que el Sol está más alto en verano que en invierno la ordenan como verano > primavera > otoño > invierno (3.º, 8:0 años) y como verano > primavera = otoño > invierno (5.º, 10:1). La chica que espontáneamente afirmó que en verano el Sol está

más bajo (4.º, 9:1) ordena la variación como invierno > otoño > primavera > verano (modelo observacional deducido).

- Previsiblemente, la diferenciación continua de la culminación es aún más escasa que la discreta. El citado chico de 5.º admite que la altura pueda variar dentro de una misma estación –después de un periodo de reflexión tras la pregunta– y afirma que la altura del Sol cambia a principio y finales de verano pero no durante la primavera. Por el contrario, un chico de 6.º afirma que el cambio se produce en primavera y tal vez en otoño. Esto ilustra el carácter fragmentario del inicio de una transición a una nueva estructura integrativa. Un caso particularmente interesante es el de la chica de 11:2 –el único niño o niña que ha realizado una integración completa de la diferenciación continua de la culminación–, que sitúa el máximo y el mínimo de la culminación a mitad del verano y del invierno respectivamente. La explicación proporcionada por esta metodología es que dicha niña ha encontrado la forma de integrar la diferenciación continua con la concepción alternativa del verano e invierno como extremos (y primavera y otoño iguales). De nuevo, un caso de modelo observacional deducido.
- Las respuestas a la pregunta sobre si cambia el lugar de salida y de puesta del Sol corresponden bien a una falta de diferenciación o, especialmente entre los mayores, a una integración de invariancia, conforme a lo que se suele enseñar en la escuela –sale por el este y se pone por el oeste– (puede observarse cómo el niño de la figura 3 ha corregido el dibujo inicial para que el lugar del ocaso coincida en los dos dibujos).
- Como era predecible, los niveles 3b (integración de las simetrías respecto a los días especiales) y 4 (diferenciación de distintas velocidades en los cambios) no han sido alcanzados por ningún niño de la muestra –sin embargo, se ha demostrado que, al menos, el nivel 3b es accesible a los niños del último ciclo de primaria (Navarro Pastor, 2011)–.
- Aunque no era objeto de la investigación, la relación entre los cambios de la posición del Sol en el cielo y el movimiento relativo Sol-Tierra ha surgido con frecuencia en la conversación de los niños. Y en todos los casos los intentos de integración de la perspectiva local y observacional (el Sol moviéndose en el cielo), con la espacial o exterior al sistema solar enseñada en la escuela (la esfera Tierra girando sobre sí misma y alrededor de la esfera Sol), son fragmentarios, flotantes, escasamente coherentes y alejados de la realidad.⁴ Esto sucede a pesar de hacer grandes esfuerzos, tal y como lo demuestra la abundante existencia de modelos sintéticos –y, en general, la tendencia de los niños a buscar orden en el mundo natural hasta que son derrotados por la escuela–. Por ejemplo, una niña de primer curso afirma que el Sol se va al otro lado de la Tierra por la noche y al mismo tiempo sostiene que el Sol está quieto en el cielo y se hace de noche porque las nubes lo tapan. Un chico de tercero declara que debido al giro de la Tierra al anochecer el Sol se aleja haciéndose pequeñito hasta desaparecer. Un chico de sexto sostiene que el calor del verano es debido a que la inclinación del eje de la Tierra hace que el hemisferio norte esté más cerca del Sol. Casos típicos ya mencionados son afirmar que el Sol está más bajo a mediodía y en verano porque entonces está más cerca de la Tierra (modelo observacional deducido).

4. Muchos investigadores han demostrado que la mayoría de niños de primaria y muchos de secundaria son incapaces de explicar satisfactoriamente el fenómeno día/noche (véase Vosniadou y Brewer, 1992, 1994; Lightman y Sadler, 1993; Trumper, 2001). La incomprensión del modelo de Copérnico es mucho mayor y alcanza a los universitarios y a los maestros (véase Atwood y Atwood, 1995, 1996; Camino, 1995; Martínez Peña y Gil Quílez, 2001; Martínez Sebastián, 2003; Summers y Mant, 1995; Trumper, 2001). Personalmente, no hemos encontrado un solo alumno de Magisterio que haya realizado la integración de ambas perspectivas con éxito (antes de recibir instrucción específica). Por otro lado, respecto al debate sobre si las concepciones infantiles son coherentes, este estudio muestra que no.

DISCUSIÓN

Las concepciones manifestadas por los niños a lo largo de la investigación están incluidas en el mapa evolutivo, con las excepciones que mencionamos a continuación. No aparecen en el diagrama la concepción de la chica de 11:6 (que afirma que todos los días duran 12 horas, siendo la variación en la hora del orto y del ocaso debida al cambio horario) y la de la chica de 11:2 (que habiendo alcanzado el nivel 3 realiza una integración completa pero distinta a la científica y reflejada en el mapa). No obstante, ambas son perfectamente integrables a partir de las diferenciaciones, aunque parece conveniente no incorporarlas al diagrama para limitar su complicación. Como ya se ha adelantado, tampoco se han incluido las concepciones fragmentarias.

Respecto a la distribución de niveles y concepciones, parece que al finalizar primaria la mayoría de los niños no solo no han realizado una integración correcta de los cambios en el movimiento del Sol a lo largo del año, sino que la gran mayoría ni siquiera parecen haber diferenciado –de forma explícita o incluso proximal– cambios en la altura de la culminación (es decir, están en el nivel 1). Por el contrario, la diferenciación de la duración del día se inicia a edades muy tempranas (se ha encontrado un caso a los 5 años) y su progresión es coherente con el orden previsto por el mapa: diferenciación discreta → integración fragmentaria de nivel 2 → integración completa de nivel 2 → diferenciación continua e integración fragmentaria de nivel 3 (la duración del día es el único parámetro en el que hay suficientes casos de diferenciación como para que los resultados resulten orientativos sobre la ordenación de las concepciones en el tiempo –véase más abajo–). Respecto al lugar por donde sale y se pone el Sol, hay casos de falta de diferenciación (nivel 1) y otros de integración en la forma invariante este-oeste (nivel 2).

Tal y como se ha enunciado en el apartado «Resultados», la integración más frecuente del nivel 2 distribuye las estaciones en cuatro niveles (de forma predominante verano > primavera > otoño > invierno), al contrario de lo que afirman habitualmente los libros de texto españoles (primavera = otoño). Tal ordenación de los parámetros parece estar influida por las temperaturas (en verano hace más calor que en primavera; contiene, por tanto, conocimiento observacional deducido) y por la propia experiencia empírica (en primavera los días son mucho más largos que en otoño; conocimiento cimentado). En otras palabras, aunque lo que enseñan los libros de texto al respecto suele ser erróneo, los niños no parecen hacerle mucho caso y desarrollan sus propias concepciones. En el caso de la culminación el orden puede ser invertido debido a la integración *más calor* → *Sol más cerca* → *Sol más bajo* (conocimiento observacional deducido). Tan solo en el tercer ciclo una mayoría del alumnado ha alcanzado una integración completa (en el nivel 2) –aunque en algunos casos esta integración es inestable o se ha abandonado al estar emergiendo una concepción del nivel 3 (véase más abajo)–.

Aunque la exigencia cognitiva asociada a la diferenciación continua puede parecer de escasa envergadura, y por tanto sorprender que pocos alumnos alcancen el nivel 3, de hecho se manifiesta como un obstáculo y con bastante frecuencia incluso en adultos. Por ejemplo, durante largo tiempo nos hemos preguntado por qué muchos de nuestros alumnos de Magisterio persisten en asignar los mismos valores a los días especiales (equinoccios y solsticios) y a las estaciones correspondientes. Según el modelo propuesto, esto es debido a que solo han diferenciado con claridad cuatro valores en los parámetros (les cuesta construir una representación de cambio continuo) y por lo tanto no hay diferenciación posible entre día especial y estación. Esto es otro ejemplo de cómo el modelo puede explicar fenómenos hasta ahora incomprensibles.

Algunos niños de primaria, casi todos ellos en el tercer ciclo, sí inician la diferenciación del nivel 3 (continua) –en particular respecto a la duración de los días–, pero, excepto en un caso, esta es fragmentaria (se reconoce tan solo en ciertos periodos, principalmente en verano), por lo que no se recoge en el mapa; consecuentemente, las integraciones están aún muy alejadas de la realidad –y, por descontado, excluyen las del nivel 3b–. Las diferenciaciones del nivel 4 (cambio en la velocidad de los cambios) parecen hallarse lejos de su horizonte cognitivo.

Conviene señalar que un aprendizaje de los movimientos de la Tierra que no se relacione con los cambios anuales en el movimiento aparente del Sol (lo habitual en las escuelas) no conducirá a una comprensión adecuada de aquellos (Plummer, 2009), constituirá en todos los casos conocimiento flotante y con frecuencia, como se ha visto, modelos observacionales deducidos (erróneos).

Los abundantes casos de concepciones dubitativas o emergentes que han aparecido en la experimentación cobran significado en el marco de la concepción de la mente como sistema dinámico no lineal. En este contexto teórico, Siegler (2002) ha propuesto sustituir el modelo de los estadios de Piaget (analogía de la escalera) por un modelo de olas superpuestas, en el que la probabilidad de que un niño emplee una determinada habilidad a lo largo del desarrollo tiene forma de ola. La utilización por parte del niño de una u otra habilidad, o concepción, dependerá de factores sutiles que sitúen el estado mental en la cuenca de uno u otro atractor, que a su vez se verá modificado, de forma más o menos acusada, por la experiencia (la tristemente olvidada, y a veces incomprendida, dualidad asimilación/acomodación de Piaget).

CONCLUSIONES

- La aplicación de la metodología de los mapas evolutivos a las estaciones del año ha permitido descubrir numerosas concepciones infantiles, cuya estructura cognitiva en términos de diferenciaciones e integraciones ha sido, además, explicada. Destaca, en particular, que la predicción de que muchos niños y niñas consideran las estaciones como periodos sin cambios (consecuencia de que las diferenciaciones iniciales son discretas) ha sido plenamente confirmada.
- Esta investigación corrobora que los mapas evolutivos (y los conceptos epistemológicos de conocimiento flotante, cimentado y observacional deducido) son una herramienta fructífera para investigar el desarrollo cognitivo en ámbitos específicos. Más concretamente, sugiere que el mapa de las estaciones reproduce procesos reales en la mente de los aprendices y que puede ser usado para diagnosticar la arquitectura del cambio conceptual necesario en cada aprendiz, así como para diseñar objetivos y criterios de evaluación jerárquicos coherentes con el desarrollo (corroborado en Navarro Pastor, 2011).
- Los resultados refuerzan la tesis, propuesta en Navarro (2014), de que el aprendizaje de estos contenidos en las escuelas es claramente insatisfactorio y que los actuales currículos de primaria podrían subestimar la dificultad y dar erróneamente por sabidos numerosos conocimientos observacionales. Igualmente, la reconocida incapacidad de los alumnos de los distintos niveles para aplicar los aprendizajes escolares a su vida cotidiana podría estar relacionada con la práctica generalizada de enseñar los contenidos sin cimentarlos en la realidad empírica del alumno, ya que los conocimientos flotantes no informan al sujeto sobre el mundo que le rodea y pueden dar lugar a modelos observacionales deducidos erróneos, lo que aleja aún más al sujeto del mundo en que vive. Esto subraya la necesidad de sustentar la construcción de los conceptos concretos en la experiencia directa con la naturaleza, en línea con lo que ya proponía la pedagogía progresista hace un siglo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALFONSO LÓPEZ, R., BAZO GONZÁLEZ, C., LÓPEZ, M., MACAU FÁBREGA, M.^a D. y RODRÍGUEZ PALMERO, M.^a L. (1995). Una aproximación a las representaciones del alumnado sobre el universo. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(3), pp. 327-335.
- ATWOOD, R. y ATWOOD, V. (1995). Preservice elementary teachers' conceptions of what causes night and day. *School Science y Mathematics*, 95, pp. 290-294.
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1949-8594.1995.tb15785.x>
- ATWOOD, R. y ATWOOD, V. (1996). Preservice elementary teachers' conceptions of the causes of seasons. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(5), pp. 553-563.
[http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199605\)33:5<553::AID-TEA6>3.3.CO;2-P](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199605)33:5<553::AID-TEA6>3.3.CO;2-P)
[http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199605\)33:5<553::AID-TEA6>3.0.CO;2-Q](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199605)33:5<553::AID-TEA6>3.0.CO;2-Q)
- BUTY, C., TIBERGHIE, A. y LE MARÉCHAL, J. F. (2004). Learning hypothesis and an associated tool to analyse teaching-learning sequences. *International Journal of Science Education*, 26(5), pp. 579-604.
<http://dx.doi.org/10.1080/09500690310001614735>
- CALEON I. S. y SUBRAMANIAM, R. (2010). Do Students Know What They Know and What They Don't Know? Using a Four-Tier Diagnostic Test to Assess the Nature of Students' Alternative Conceptions. *Research in Science Education*, 40(3), pp. 313-337.
<http://dx.doi.org/10.1007/s11165-009-9122-4>
- 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), pp. 81-96.
- CAMPBELL, D. T. (1974). Evolutionary epistemology. En P. A. Schilpp (ed.). *The philosophy of Karl Popper* (vol. 1, pp. 412-463). La Salle, IL: Open Court.
- CZICO, G. A. (1995). Without miracles: Universal selection theory and the second Darwinian revolution. Cambridge, MA/London: Bradford Books, MIT Press.
- CZICO, G. A. (2000). *The things we do: Using the lessons of Bernard and Darwin to understand the what, how, and why of our behavior*. Cambridge, MA: MIT Press.
- DANKENBRING, C. y CAPOBIANCO, B. M. (2015). Examining Elementary School Students' Mental Models of Sun-Earth Relationships as a Result of Engaging in Engineering Design. *International Journal of Science and Mathematics Education*.
<http://dx.doi.org/10.1007/s10763-015-9626-5>
- DE MANUEL, J. (1995). ¿Por qué hay verano e invierno? Representaciones de estudiantes (12-18) y de futuros maestros sobre algunos aspectos del modelo Sol-Tierra. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(2), pp. 227-236.
- DENNETT, D. C. (1996). *Darwin's dangerous idea: Evolution and the meanings of life*. London: Penguin.
- GAVIDIA, V. (2014). A vueltas con el gnomon. Buscando soluciones a problemas. *Enseñanza de las Ciencias*, 32.3, pp. 631-647.
- GIL QUÍLEZ, M. JOSÉ y MARTÍNEZ PEÑA, M. BEGOÑA (2005). El modelo Sol-Tierra-Luna en el lenguaje iconográfico de estudiantes de magisterio. *Enseñanza de las Ciencias*, 23(2), pp. 153-166.
- HARLEN, W. (2010). *Principles and Ideas in Science Education*. Association for Science Education. Disponible en línea: <<http://dl.dropbox.com/u/901220/principles-and-big-ideas-of-science-education.pdf>>
- HON, G., y RAKOVER, S. S. (2001). *Explanation: Theoretical approaches and applications*. Dordrecht: Kluwer Academic.
<http://dx.doi.org/10.1007/978-94-015-9731-9>

- KARMILOFF-SMITH, A. (1994). *Más allá de la modularidad. La ciencia cognitiva desde la perspectiva del desarrollo* (traducción de J. C. Gómez y M. Núñez). Madrid: Alianza. (V.O.: *Beyond modularity: A developmental perspective on cognitive science*. Cambridge, MA: MIT Press, 1992).
- KRAJCIK, J., MCNEILL, K. L., y REISER, B. J. (2008). Learning-goals-driven design model: Developing curriculum materials that align with national standards and incorporate project-based pedagogy. *Science Education*, 92(1), pp. 1-32.
<http://dx.doi.org/10.1002/sce.20240>
- LANCIANO, N. y CAMINO, N. (2008). Del ángulo de la geometría a los ángulos en el cielo. Dificultades para la conceptualización de las coordenadas astronómicas acimut y altura. *Enseñanza de las Ciencias*, 26(1), pp. 77-92. Disponible en línea: <<http://www.raco.cat/index.php/ensenanza/article/viewFile/89259/297673>>
- LIGHTMAN, J. y SADLER, P. (1993). Teacher predictions versus actual students' gains. *The Physics Teacher*, 31(3), pp. 162-167. Disponible en línea: <<http://casa.colorado.edu/~dduncan/teachingseminar/Lightman-Sadler.pdf>>
<http://dx.doi.org/10.1119/1.2343698>
- LLINÁS, R. R. (2002). *I of the vortex. From neurons to self*. Cambridge: MIT Press.
- MAHNER, M. y BUNGE, M. (1997). *Foundations of biophilosophy*. Berlin: Springer-Verlag.
<http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-03368-5>
- MANDLER, J. (2012). On the Spatial Foundations of the Conceptual System and Its Enrichment. *Cognitive Science*, 36, pp. 421-451.
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1551-6709.2012.01241.x>
- MARTÍNEZ PEÑA B. y GIL QUÍLEZ M. J. (2001). The importance of images in astronomy education. *International Journal of Science Education*, 23(11), pp. 1125-1135.
<http://dx.doi.org/10.1080/09500690110038611>
- MARTÍNEZ SEBASTIÀ, B. (2003). *La enseñanzalaprendizaje del modelo Sol/Tierra. Análisis de la situación actual y propuesta de mejora para los futuros profesores de primaria*. Memoria presentada para optar al grado de Doctor. Universidad de Valencia. Directores: Bernabeu Pastor, G. y Martinez-Torregrosa, J.
- MARTÍNEZ SEBASTIÀ, B. y MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. (2001). La enseñanza por investigación del modelo Sol/Tierra para futuros profesores de primaria. Planificación, desarrollo y resultados. *Enseñanza de las Ciencias*, núm. extra, pp. 213-214.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC) (2007). *Taking science to school: Learning and teaching science in grade K-8*. R.A. Duschl, H.A. Schweingruber, y A.W. Shouse (eds.), Committee on science learning, kindergarten through eighth grade. Washington, DC: The National Academy Press.
- NAVARRO PASTOR, M. (2009). *Aprendizaje y enseñanza de astronomía diurna en primaria*. Memoria presentada para optar al grado de Doctor. Directores: J. Martínez Torregrosa y N. Sauleda Pares. Universidad de Alicante.
- NAVARRO PASTOR, M. (2011). Enseñanza y aprendizaje de astronomía diurna en primaria mediante «secuencias problematizadas» basadas en el «mapa evolutivo» del tema. *Enseñanza de las Ciencias*, 29(2), pp. 163-174.
- NAVARRO, M. (2014). Evolutionary Maps: A new model for the analysis of conceptual development, with application to the diurnal cycle. *International Journal of Science Education*, 36(8), pp. 1231-1261.
<http://dx.doi.org/10.1080/09500693.2013.855343>
- PECHER, D. y ZWAAN, R. A. (2010). Introduction to grounding cognition. En D. Pecher y R. A. Zwaan (eds.). *Grounding Cognition: The Role of Perception and Action in Memory, Language, and Thinking*, (pp. 1-7). Cambridge University Press.

- PIAGET, J. y GARCÍA, R. (1989). *Psychogenesis and the History of Science* (traducción: H. Feider). New York: Columbia University Press.
- PLUMMER, J. D. (2009). A Cross-age Study of Children's Knowledge of Apparent Celestial Motion. *International Journal of Science Education*, 31(12), pp. 1571-1605.
<http://dx.doi.org/10.1080/09500690802126635>
- POPPER, K. R. (1979). *Objective knowledge: An evolutionary approach*. Oxford University Press.
- POWERS, W. T. (1973). *Behavior: The control of perception*. New York: Aldine De Gruyter.
- POZO, J. I. (1999). Más allá del cambio conceptual: el aprendizaje de las ciencias como cambio representacional. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(3), pp. 513-520. Disponible en línea: <<http://www.raco.cat/index.php/ensenanza/article/viewFile/21616/21450>>
- POZO, J. I. y RODRIGO, M. J. (2001). Del cambio de contenido al cambio representacional en el conocimiento conceptual. *Infancia y Aprendizaje*, 24(4), pp. 407-423.
<http://dx.doi.org/10.1174/021037001317117367>
- RAFTOPOULOS, A. y COSTANTINOU, C. P. (2004). Types of conceptual change. A dynamical, connectionist account. En A. Demetriou y A. Raftopoulos (eds.). *Cognitive developmental change: Theories, models, and measurement* (pp. 74-117). Cambridge: Cambridge University Press.
- SCHOON, K. J. (1992). Students' alternative conceptions of Earth and Space. *Journal of Geological Education*, 40(3), pp. 209-214.
- SCHWARTZ, M. S. y FISCHER, K. W. (2004). Building general knowledge and skill: cognition and microdevelopment in science learning. En A. Demetriou y A. Raftopoulos (eds.). *Cognitive developmental change: Theories, models, and measurement* (pp. 157-185). Cambridge, U.K.: Cambridge University Press.
- SCOTT, P. H. y DRIVER, R. H. (1998). Learning about science teaching: Perspectives from an action research project. En Fraser, B. J. y Tobin, K. G. (eds.). *International handbook of science education* (pp. 67-80). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
http://dx.doi.org/10.1007/978-94-011-4940-2_5
- SIEGLER R. S. (1996). *Emerging Minds: The Process of Change in Children's Thinking*. Oxford University Press.
- SIEGLER, R. S. (2002). Microgenetic studies of self-explanation. En N. Granott y J. Parziale (eds.). *Microdevelopment: Transition processes in development and learning* (pp. 31-58). Cambridge: Cambridge University Press.
- SIEGLER, R. S. y CHEN, Z. (2008). Differentiation and integration: guiding principles for analyzing cognitive change. *Developmental Science*, 11(4), pp. 433-453.
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-7687.2008.00689.x>
- SMITH, C. L., WISER, M., ANDERSON, C. W. y KRAJCIK, J. (2006). Implications of research on children's learning for standards and assessment: A proposed learning progression for matter and the atomic molecular theory. *Measurement: Interdisciplinary Research and Perspectives*, 4(1y2), pp. 1-98.
<http://dx.doi.org/10.1080/15366367.2006.9678570>
- SUMMERS, M. y MANT, J. (1995). A survey of British primary school teachers' understanding of the Earth's place in the universe. *Educational Research*, 37(1), pp. 3-19.
<http://dx.doi.org/10.1080/0013188950370101>
- THELEN, E. y SMITH, L. B. (1996). *A dynamic systems approach to the development of cognition and action*. Cambridge, MA: MIT Press.
- TRUMPER, R. (2001). A cross age study of junior HS students' conceptions of basic astronomy concepts. *International Journal of Science Education*, 23(11), pp. 1111-1123.
<http://dx.doi.org/10.1080/09500690010025085>

- VOSNIADOU, S. y BREWER, W. F. (1992). Mental models of the Earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24, pp. 535-585.
[http://dx.doi.org/10.1016/0010-0285\(92\)90018-W](http://dx.doi.org/10.1016/0010-0285(92)90018-W)
- VOSNIADOU, S. y BREWER, W. F. (1994). Mental models of the day/night cycle. *Cognitive Science*, 18, pp. 123-183.
http://dx.doi.org/10.1207/s15516709cog1801_4
- YAN, Z. y FISCHER, K. (2002). Always under construction. Dynamic variations in adult cognitive microdevelopment. *Human Development*, 45, pp. 141-160.
<http://dx.doi.org/10.1159/000057070>

The evolutionary map of the seasons

Manuel Navarro Pastor
Universidad de Alicante
manuel.navarro@ua.es

Introduction

This article describes the application of the evolutionary maps (emaps) methodology to the annual cycle of the motion of the Sun in the sky (i.e. the seasons). Emaps, and their application to the diurnal cycle, were introduced elsewhere (Navarro, 2014). Theoretically, they are based on (cognitive) constructivism (e.g. Piaget, Karmiloff-Smith, Mandler), including the dynamic systems approach (e.g. Fischer, Thelen, Raftopoulos, Costantinou), and on evolutionary epistemology (e.g. Campbell, Czico, Siegler).

Emaps are structures that represent the network of itineraries that children may follow in the conceptualization of specific topics (within concrete thought). They consist of the set of integrations that are made possible by the succession of differentiations that subjects make from perceptual reality (primary differentiations). Since differentiations are sequential (or nested), they provide a hierarchical structure to the maps. Emaps facilitate the identification of naïve conceptions (generally and in individual subjects), as well as the precise architecture of the conceptual change necessary in each student. Also, they enable the design of sequential objectives and evaluation criteria consistent with cognitive development (in fact, this emap has been used to design the objectives and evaluation criteria of a set of teaching sequences that have been validated experimentally, Navarro Pastor, 2011).

Emaps differ from other conceptual analysis techniques in that they are developed through the hypothetical-deductive method. Primary differentiations are tentatively identified through reflective analysis and the whole map of conceptions is derived from these. Accordingly, emaps are validated if these conceptions (amounting to predictions and postdictions) explain all of the children's conceptions emerging from the experimental tests. Inversely, it has been shown that children's productions that could otherwise be judged as noise are assimilated as specific conceptions thanks to the emap.

Description of the emap of the seasons

The movement of the sun in the sky can be characterised by the lapse between sunrise and sunset, the maximum height (culmination), and the direction of sunrise and sunset. Prior to any differentiation children would assume, implicitly, that these are invariant (level 1 of the map). Presumably, the first differentiations are discrete, since imagining a continuous change implies a much higher level of abstraction. Integrations corresponding to this discrete change constitute level 2 of the map. Imagining different heights and directions in the sky requires that the latter is previously dimensionalised. Well known conceptions of level 2 refer to the opposition between summer and winter, with intermediate values for autumn and spring. One prediction associated to this is that many children should see seasons as periods with no change. Next, children would conceptualise continuous change, which enables the scientific model with maxima and minima in the solstices (level 3). Once the different dimensions are parameterised (a difficult step, Lanciano & Camino, 2008), a new integration can be made, namely relating a higher distance to the summer (or winter) solstice to a lower (or higher) value of the different parameters (level 3b). Finally, in level 4 the speed of change is differentiated and new integrations are made possible (e.g. changes are slow near the solstices and quick near the equinoxes). See figure 1.

Results and conclusions

All conceptions identified in the experimental test are subsumed in the emap. Further, the prediction that many children would see seasons as periods without change has been fully confirmed as results show that a majority do. Many other insights have been revealed by the empirical research through the application of the emaps framework (including non-linear dynamics) as theoretical lens. This includes the usefulness of the «deduced observational models» concept, meaning concepts that are deduced from more general conceptual knowledge, as opposed to being built from empirical experience («based» knowledge). Importantly, results show that most children end primary school at level 2 and therefore ignore the most basic representation of the seasons. A few have reached level 3 with respect to the day's length, but all integrations are fragmentary or erroneous. This suggests that current curricula for primary education may underestimate the difficulty of basic observational concepts, which learning might be wrongly taken for granted, and provides additional support to the recommendation to start conceptual development at schools from empirical experiences (see also Navarro, 2014).