

La luz y las sombras

Jaume Jorba Bisbal

Colabora asiduamente con el ICE de la UAB y pertenece al Dpto. de Física e Ingeniería Nuclear de la UPC.

Neus Sanmartí Puig

Pertenece al Dpto. de Didáctica de las Ciencias de la Facultad de Ciencias de la Educación de la UAB.

Experiencia llevada a cabo en Educación Secundaria Obligatoria dentro del Plan de Formación del Profesorado de las Escuelas Municipales del Ayuntamiento de Barcelona en las áreas de Ciencias de la Naturaleza y Matemáticas. Se indican las líneas generales del proyecto y a modo de ejemplo, se recoge una secuencia de la unidad didáctica «La luz y las sombras».

Ciencias de la Naturaleza, formación permanente del profesorado, Matemáticas, práctica pedagógica

EL MARCO DE REFERENCIA

Desde hace dos años y dentro del Plan de Formación del Profesorado de las Escuelas Municipales del Ayuntamiento de Barcelona, realizado en el marco del convenio de colaboración entre esta institución y el MEC, se está llevando a cabo una experiencia en las áreas de Ciencias de la Naturaleza y de Matemáticas —12/16—. El proyecto nació, fundamentalmente, para dar respuesta a las necesidades que manifestaba el profesorado de poder atender a la diversidad de niveles del alumnado con la que se encontraba en el aula.

Los centros que participan en la experiencia (1) —a través de la cual se profundiza en el marco teórico, se elaboran y aplican materiales, se analiza su puesta en práctica y se evalúa su interés— son antiguas escuelas de Formación Profesional que tienen un alumnado con diversos problemas de aprendizaje. El reto era conseguir que todos estos estudiantes lograran realizar aprendizajes significativos en contenidos considerados fundamentales y evitar, en consecuencia, banalizar el currículum de la Reforma.

El proyecto se fundamenta en tres referentes:

— Planteamiento de secuencias de aprendizaje que faciliten la construcción de una cierta modelización por parte del alumnado. Los contenidos se distribuyen en secuencias de 10-16 horas, a través de las cuales se plantea el aprendizaje de los conceptos y procedimientos necesarios para dar respuesta a una pregunta o a un problema. La selección y distribución de las actividades diseñadas se encuentran reflejadas en el Cuadro 1.

Los ejes simple-complejo y concreto-abstracto se relacionan con los tiempos del proceso de aprendizaje vinculados con la exploración, con la introducción de nuevos puntos de vista, con la estructuración y con la aplicación. Las primeras actividades son comunes a todo el alumnado. Sólo las últimas actividades, de aplicación, a menudo se dividen según los niveles y/o intereses de los estudiantes.

— Facilitación del proceso de regulación del profesorado y de autorregulación por parte del alumnado. Las actividades que se proponen, así como la organización del aula, están orientadas a facilitar la regulación continua del proceso de aprendizaje. Se persigue que ningún alumno y alumna se pierda en el transcurso de este proceso. Para ello, se proponen actividades orientadas a facilitar que el mismo estudiante reconozca cuáles son sus dificultades.

tades y pueda solicitar ayudas específicas y concretas.

La organización del grupo-clase en grupos corporativos, que incluyen cuatro alumnos y alumnas de diversos niveles, facilita la regulación de sus miembros y su autonomía. Se fomentan las actividades de crítica mutua y de reelaboración de las producciones individuales. Se promueve la comunicación entre los estudiantes, y entre los estudiantes y el profesor, para conseguir que se compartan objetivos y criterios a partir de la evolución de las propuestas iniciales del enseñante y de las primeras percepciones del alumnado. En general, se parte de un trabajo individual que se discute en pequeño grupo; posteriormente, se debate en gran grupo, para finalmente volver a un trabajo individual.

— Tratamiento interdisciplinar de los temas siempre que sea factible por la naturaleza de los contenidos a tratar. La orientación interdisciplinar de algunos de los créditos del proyecto no anula las especificidades de cada disciplina, pero permite que el aprendizaje sea más integrador y útil para la comprensión de la realidad y en la actuación en y sobre ella. Al mismo tiempo, permite que el alumnado reconozca la complejidad de los fenómenos y hechos reales, y la necesidad del concurso de diferentes disciplinas para explicarlos globalmente.

También habían razones institucionales que facilitaban esta orientación interdisciplinar. Los centros implicados en el proyecto están organizados en departamentos, y en concreto, el de Ciencias agrupa al profesorado de todas las disciplinas científicas. La tradición de estos centros, muy habitual en las escuelas de Formación Profesional, es la de que todo el profesorado imparte todas las áreas científicas independientemente de su titulación inicial, aunque como asignaturas diferenciadas. El planteamiento de la Reforma, con una reducción del horario dedicado a los aprendizajes científicos respecto al de la antigua EGB y BUP, plantea la necesidad de rentabilizar al máximo las pocas horas de que se dispone, y el tratamiento interdisciplinar favorece esta rentabilización.

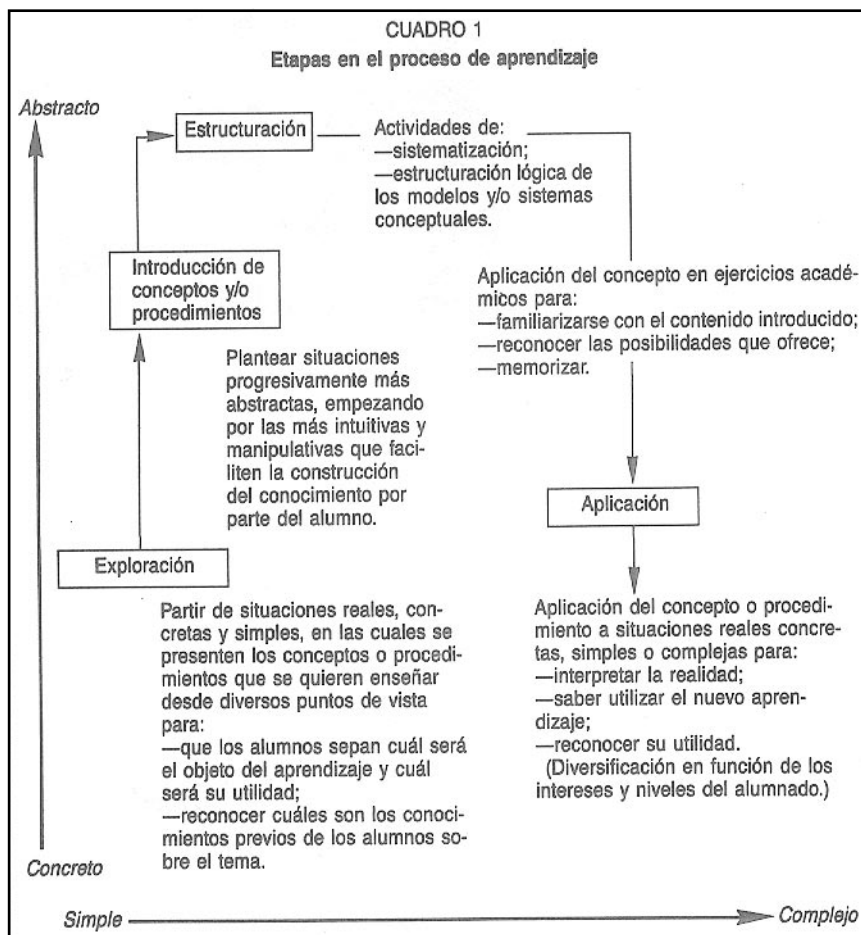
UNA SECUENCIA DE LA UNIDAD DIDÁCTICA «LA LUZ Y LAS SOMBRAS»

Para ilustrar el tipo de trabajo, exponemos una secuencia de la primera unidad didáctica (crédito) que se elaboró. Por el hecho de ser interdisciplinar, se disponía, en teoría, de 70 horas de clase, equivalentes a un trimestre de clase, 6 horas a la semana. De hecho, sólo se cuenta con 5 horas semanales, por lo que la última secuencia no se ha experimentado aún.

El crédito «La luz y las sombras» fue diseñado para el primer curso de ESO (12 años). Los contenidos se distribuyeron en cinco secuencias, que se muestran en el Anexo 1.

La primera actividad se caracteriza por ser de evaluación diagnóstica; es decir, a través de ella se pretende obtener información acerca del grado de conocimiento de los prerrequisitos de aprendizaje, de las concepciones del alumnado, de las representaciones que se hacen de las tareas de aprendizaje, de sus actitudes y hábitos de trabajo, es decir, de las llamadas estructuras de acogida (2) de cada estudiante.

En general, se constata que sólo dos o tres alumnos de cada clase utiliza líneas rectas para representar los rayos de luz. En general, la luz se representa como si fuera una masa de algodón, y desconocen cuál es el camino



que sigue la luz cuando se ven los objetos. Más de la mitad del alumnado cree que las sombras producidas por la luz de Sol son más largas a las 12 del mediodía que a las 9 de la mañana, y aducen razones relacionadas con la mayor intensidad de la luz o la mayor altura a la que se encuentra el Sol. También se puede reconocer el amplio campo semántico de términos matemáticos como el de razón, y el grado de conocimiento de conceptos y procedimientos ya estudiados, como el de ángulo y el uso del transportador de ángulos.

Esta diagnosis inicial permite, por un lado, la adaptación del material didáctico diseñado inicialmente, ya que algunas de las actividades pueden ser eliminadas o simplificadas y otras han de ser ampliadas y, por otro lado, detectar los aspectos que sólo algunos estudiantes necesitan conocer mejor para poder seguir con éxito los aprendizajes que se les van a proponer, y así poder arbitrar para ellos y ellas actividades de regulación al margen de las del grupo-clase.

En general, el proceso que se sigue en cada secuencia se inicia con actividades simples y manipulativas, y se sigue con actividades de un nivel de abstracción cada vez mayor.

A continuación se exponen las actividades de la segunda secuencia. Su análisis pone de manifiesto tanto el trabajo que se lleva a cabo en el aula, como los objetivos del mismo. El alumnado empieza observando los fenómenos luminosos —que a pesar de que son experimentados diariamente no acostumbran a ser percibidos correctamente— y, progresivamente, llegan a la modelización geométrica de dichos fenómenos —primero de forma muy manipulativa y luego más formalmente—.

Actividad de exploración inicial

• Primera actividad: Observación de sombras y penumbras.

Se inicia observando las sombras de una pelota que se proyectan en una pantalla o en la pared al variar la distancia del foco a la pantalla, la distancia entre el objeto y la pantalla, y el tipo de foco: centrado en un punto o extenso. Se pide a los estudiantes que dibujen un esquema del camino que siguen los rayos, y que elaboren una primera explicación al porqué las sombras varían de tamaño y de nitidez. A través de esta actividad se detecta la primera representación del alumnado, y permite comunicar cuál será el objetivo de la secuencia: ser capaces de identificar los factores que influyen en la variación del tamaño y nitidez de las sombras de los objetos, y de predecir cómo será la sombra de un objeto.

Actividades de introducción de los conceptos y procedimientos

• Segunda actividad: ¿Por qué se producen sombras y penumbras?

En esta actividad se propone a los estudiantes que lleven a cabo una primera modelización de las situaciones que han observado. Se representa el foco centralizado por un punto, el foco extenso por dos o más puntos, y el objeto —una pelota— por una circunferencia, y se sitúan los rayos de luz que simulan por medio de hilos, todo ello en una cartulina. Luego se les pide que sustituyan los hilos por rectas, que dibujan en otra cartulina. Esta actividad la realizan en grupo, y la comparación de los distintos resultados permite reconocer los posibles errores que se cometen.

• Tercera actividad: Circunferencia y círculo Radios y cuerdas.

Para poder dibujar los esquemas con precisión, se requiere conocer algunos conceptos y formas de construcción geométricas que están en la base de la construcción de la recta tangente a una circunferencia por un punto exterior (construcción en la que se basa las representaciones geométricas de sombras y penumbras). Por ello, primero se repasan brevemente conceptos ya conocidos por el alumnado, como los que se indican en el título de la actividad. Se comprueba que tengan un buen conocimiento tanto a nivel de reconocimiento de dicho tipo de figuras, como de definición.

• Cuarta actividad: Mediatriz de un segmento y bisectriz de un ángulo.

Para introducir estos conceptos, se sugiere una nueva situación: dónde situar una lámpara en una habitación de forma trapezoidal para que todas las paredes queden igualmente iluminadas.

Se propone al alumnado la realización de tareas, a través de las cuales se repite el proceso concreto-abstrcto: primero, realizan la actividad manipuladamente —recortando un plano de la habitación y doblando el papel por

los lugares correspondientes a la bisectriz y a la mediatriz— y, posteriormente, planifican las acciones que se deben llevar a cabo para dibujarlas con ayuda de regla y compás y se ejecutan aplicándolas en distintos ejercicios. Un objetivo de la actividad es que los estudiantes verbalicen las acciones que deben llevar a cabo, utilizando sus propias expresiones, y que las comparen entre ellas.

• ***Quinta actividad: Posiciones relativas de una recta y de una circunferencia.***

Se introducen (o se recuerdan) los conceptos de recta tangente y de recta secante. Se pide a los estudiantes que sean capaces tanto de identificarlas y de dibujarlas, como de definir las.

• ***Sexta actividad: Construcción de la recta tangente a una circunferencia por un punto.***

Nuevamente, para facilitar el aprendizaje de este procedimiento, se repite el proceso descrito anteriormente. De forma gradual, los chicos y chicas aprenden cómo llevar a cabo este tipo de construcción, y se promueve la reflexión sobre las acciones que ponen en práctica. Estas nunca se dan como receta, sino que los estudiantes deben identificarlas y verbalizarlas.

Actividades de estructuración de los conocimientos introducidos

• ***Séptima actividad: ¿Cómo obtener sombras de distinto grado de nitidez y de distinto tamaño?***

En esta actividad, se propone a los estudiantes que diseñen un experimento que les permita saber cómo obtener sombras pequeñas y nítidas, grandes y nítidas, pequeñas y difusas, y grandes y difusas. En cada caso deben dibujar el esquema correspondiente.

En la realización de esta actividad, se debe tener en cuenta que no todos los alumnos son autónomos en el diseño del experimento. En algunos casos, se debe orientar el trabajo, aunque la organización del aula en grupos cooperativos facilita la ayuda entre ellos.

La discusión en gran grupo sobre los resultados obtenidos permite contrastar las diferentes hipótesis de trabajo y las conclusiones a las que se ha llegado. Si los resultados son dispares, puede ser necesario repetir el experimento.

• ***Octava actividad: En este capítulo también hemos aprendido...***

El objetivo de la actividad es el de sistematizar los conocimientos aprendidos. Los estudiantes utilizan un instrumento —bases de orientación—(3) que facilita la estructuración de las acciones necesarias para realizar adecuadamente los procedimientos estudiados, y de las características que permiten identificar los conceptos. Si es la primera vez que construyen este instrumento, se propone un modelo en el cual faltan algunas de las acciones o características que cada alumno o alumna debe completar. Pero el objetivo es que cada estudiante las planifique individualmente, a partir de los aprendizajes realizados en las actividades anteriores y utilizando sus propias expresiones, por lo que en un grupo-clase no hay dos bases de orientación iguales.

A partir de estas producciones, el profesorado puede organizar la regulación de los aprendizajes realizados. Generalmente, en primer lugar, se propone una evaluación mutua o en grupo. En el primer caso, dos alumnos o alumnas intercambian sus producciones. Cada uno de los estudiantes critica el trabajo de su compañero o compañera, y le sugiere qué debe hacer para mejorarlo. En el segundo caso, se propone la elaboración de bases de orientación del grupo, que recojan las ideas más interesantes de las producciones individuales de cada uno de los miembros.

Las correcciones y últimas producciones son analizadas por el profesorado, que puede plantear nuevas sugerencias al alumnado en función de las dificultades detectadas. Los enseñantes llevan a cabo esta regulación en una hora semanal de consulta, incluida en el período lectivo de los estudiantes. Ellos mismos pueden solicitar la ayuda del profesor o es éste quien sugiere su conveniencia. Normalmente se convoca al mismo tiempo a los estudiantes que tienen un mismo tipo de dificultad. Para que esta hora sea rentable, es necesario que el enseñante haya detectado con la mayor precisión posible cuál es el problema específico de cada alumno.

Este tipo de actividades las pueden realizar todos los estudiantes, aunque unos se expresan mejor que otros o las ejecutan con distinto grado de precisión. Pero todos pueden avanzar en el conocimiento de las causas de las sombras y de las penumbras, y de la predicción de las mismas.

Actividades de aplicación

• **Novena actividad:** *Para aquellos que quieran pensar un buen rato.*

En esta actividad, se proponen situaciones en las cuales los estudiantes pueden aplicar los conceptos y procedimientos aprendidos a la solución de nuevos problemas. En esta fase, se pueden diferenciar las actividades y sugerir situaciones complejas para el alumnado más capaz, y otras más simples para estudiantes con algún tipo de dificultad. Ejemplos de actividades propuestas son la modelización de las imágenes de un espejo o la realización de construcciones geométricas distintas a las realizadas anteriormente.

EVALUACIÓN Y REGULACIÓN RETROACTIVA

Al final de la secuencia se propone una actividad (puede ser una prueba escrita u otro tipo de actividad) para evaluar los aprendizajes realizados. En muchas secuencias, se propone una actividad previa, en la cual los estudiantes deben definir cuáles eran sus objetivos y los criterios de evaluación de los mismos. A partir de ella, el profesorado y el alumnado pueden reconocer si sus criterios son coincidentes.

En el ejemplo siguiente, el profesorado de uno de los centros propuso una prueba de la cual se muestran dos de las cuestiones que incluía. Los criterios de evaluación definidos por el profesorado permitió la detección de las principales dificultades de algunos de los estudiantes, y la organización de actividades específicas para la regulación de estas dificultades en la hora de consulta.

UNA REFLEXIÓN FINAL

La lectura de las actividades realizadas en esta secuencia seguramente sugiere la pregunta: ¿no es un proceso que requiere demasiado tiempo? Es el eterno dilema entre el trabajo lento y en profundidad, de resultados no siempre inmediatos, pero eficaz en alto grado a largo plazo, y un trabajo superficial y rápido que se ha demostrado en múltiples ocasiones que no tiene futuro. Nuestra opción es, sin duda, la primera, porque permite que todos los estudiantes avancen. Ya en el tercer año de la experiencia, se puede afirmar que este trabajo lento es mucho más efectivo.

Anexo 1

UNIDAD DIDÁCTICA «LA LUZ Y LAS SOMBRAS»

1. *¿Por qué se ven los objetos?* (10-12 horas)
 - Fuentes y receptores de luz.
 - Propagación de la luz en línea recta. Modelización: los rayos de luz.
 - Comportamiento de la luz al chocar con los objetos.
2. *Sombras y penumbras* (10-12 horas)
 - Sombras y penumbras.
 - Posiciones relativas de rectas y circunferencias.
3. *El Sol y las sombras* (16-20 horas)
 - Sombras producidas por la luz del Sol.
 - Representaciones a escala.
 - El ángulo como giro.
 - Razón y proporción.
4. *El día y la noche* (10-12 horas)
 - El día y la noche.
 - Los eclipses.
 - Las fases de la Luna.
 - Posiciones relativas de dos circunferencias.

— Tangentes comunes a dos circunferencias.

5. *El gnomón múltiple y la geometría: triángulos en posición de tales* (12-14 horas)

— Cámara oscura/máquina fotográfica/ojo.

— Triángulos en posición de Tale.

(1)	Escuela Municipal «Juan de la Cierva» y Escuela Municipal «Juan Manuel Zafra».
(2)	Halwachs, F., ver bibliografía.
(3)	Escofet, N., ver bibliografía.

(2) Halwachs, F. (1975): «La physique du maitre entre la physique du physicien et la physique de l'élève», *Revue française de pédagogie*, 33, pp. 19-29

(3) Escofet, N.; Sanmartí, N. y Jorba, J. (1993): «Les bases d'orientació». *Guix*, 185, pp. 41-46.

Baroody, A. (1988): *El pensamiento matemático en los niños*, Madrid: Visor.

En este libro se abordan los temas básicos para una fundamentación psicopedagógica de una enseñanza constructivista de las matemáticas. La matemática informal y formal, y cómo pasar de una a otra, constituye el núcleo fundamental de este libro, muy útil sobre todo para los profesores y profesoras de Primaria.

Coll, C. y Gómez-Granell, C. (eds.) (1993): «Psicología y Didácticas», *Infancia y Aprendizaje* 62-63, pp. 52-243.

Dos de los artículos de este volumen, en que se aborda el tema de las relaciones entre Psicología y Didáctica en cuatro materias del currículum, están dedicados a la enseñanza de las matemáticas, uno desde la perspectiva didáctica (M^a Victoria Armendáriz, Carmen Azcárate y Jordi Deulofeu), y el otro desde la perspectiva psicológica (Carmen Gómez-Granell i Javier Fraile).

Gómez-Granell, C. (ed.) (1991): «Monografía: La didáctica de las matemáticas», *Comunicación, Lenguaje y Educación*, II-12.

En este número, se recogen una serie de artículos sobre la enseñanza de las matemáticas que profundizan en tres aspectos: la enseñanza de las matemáticas desde una perspectiva sociocultural, la fundamentación psicopedagógica de la enseñanza de algunos contenidos matemáticos y los problemas fundamentales que deberá abordar la enseñanza de las matemáticas en la época actual.

Lave, J. (1991): *La cognición en la práctica*, Barcelona: Paidós.

Éste es un libro muy útil para conocer las últimas aportaciones de una línea de trabajos en creciente auge sobre el estudio de la actividad matemática en contextos de la vida cotidiana. Se muestra cómo el pensamiento matemático, al igual que otras formas de pensamiento, también se aprende gracias a un proceso de interacción dinámica entre la mente y el contexto sociocultural.

Resnick, L.B. y Ford, W. (1990): *La enseñanza de las matemáticas y sus fundamentos psicológicos*, Barcelona: Paidós, 1991.

En este libro ya clásico, pero recientemente traducido al español, se recogen las aportaciones que las diferentes teorías del aprendizaje —desde el asociacionismo hasta la moderna psicología cognitiva— han hecho a la enseñanza de las matemáticas.

Riviere, A. (1991): «Problemas y dificultades en el aprendizaje de las matemáticas: una perspectiva cognitiva», en Marchesi, A.; Coll, C. y Palacios, J.: *Desarrollo psicológico y educación*, III, Madrid: Alianza.

En este artículo, se proporciona una explicación de cómo las dificultades en el aprendizaje de las matemáticas no son debidas tanto a deficiencias de los alumnos, como a una enseñanza que pone un excesivo énfasis en los aspectos formales de las matemáticas, desatendiendo las características cognitivas de los alumnos y alumnas.