

EL APRENDIZAJE DE LA METODOLOGÍA CIENTÍFICA A TRAVÉS DE TRABAJOS PRÁCTICOS

LEARNING OF SCIENTIFIC METHODOLOGY THROUGH PRACTICAL WORKS

CONCEPCIÓN RODRÍGUEZ-REY TREJO

PROFESORA DE BIOLOGÍA Y GEOLOGÍA EN EDUCACIÓN SECUNDARIA
CENTROS PÚBLICOS DE LA COMUNIDAD DE MADRID

JOSÉ JULIO REAL GARCÍA

DEPARTAMENTO DE DIDÁCTICA Y TEORÍA DE LA EDUCACIÓN
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID

INÉS GREGORI LABARTA

FILÓLOGA INGLESA Y PROFESORA DE ESPAÑOL
ESTUDIANTE DE ESCRITURA CREATIVA EN LA UNIVERSIDAD DE LANCASTER

Resumen

Este proyecto analiza el desarrollo de los contenidos de una asignatura completa a partir de trabajos prácticos planteados como pequeñas investigaciones. Se abordan desde una metodología por proyectos, presentando los trabajos dentro de contextos profesionalizados, cada uno de los cuales se trabaja durante varias semanas.

Se pretendía así que los alumnos interiorizaran la dinámica de la metodología científica, que además de aprender ciencia aprendiesen también a hacer ciencia, participando en todas las fases del método científico. Se pretendía también potenciar la creatividad y su aplicación a la resolución de problemas reales.

La evaluación de los alumnos se realizó por competencias básicas, sin exámenes, sino en base a la consecución de indicadores objetivos.

Palabras Clave: *Trabajos prácticos, miniinvestigaciones, trabajo por proyectos, contextos profesionalizados, aprendizaje de metodología científica, creatividad, evaluación por indicadores*

Abstract

This project analyses the development of the concepts of a complete subject through practical tasks, presented as a small researches. It also addresses project-based learning methodology in professionalised contexts in which each of them is studied for several weeks.

We expect the students to understand the dynamics of scientific methodology, not only scientific concepts but also the learning processes in scientific knowledge. Therefore, they will assimilate science by taking part into every stage of the scientific method. We also intend to encourage the application of creativity to solve real problems.

The evaluation of the students focuses on basic skills and is based on the achievement of evaluation indicators instead of exams.

Keywords: *Practical work, mini-research projects, Project-based learning, professionalized contexts, learning of scientific methodology, creativity, evaluation indicators.*

1. INTRODUCCIÓN.

Los trabajos prácticos siempre han estado ligados a la enseñanza de las ciencias, evolucionando juntos, variando tan solo su presentación, su aplicación o su valoración según el momento histórico.

En las décadas de los '70 y '80 se popularizó el llamado “aprendizaje por descubrimiento”, como reflejan Ausubel (1976), Barrón (1993) y Madruga (1990), en el que los alumnos debían descubrir por sí mismos los conocimientos que se pretendían que adquirieran. Esta corriente impulsó enormemente el desarrollo de los trabajos prácticos en la educación secundaria.

En la década de los '90 se impuso una visión crítica de los trabajos prácticos. Varios estudios ponían de manifiesto la falta de efectividad de los trabajos prácticos de laboratorio en el aprendizaje de conceptos científicos y especialmente de la naturaleza de la metodología científica, como los de Hodson (1994), Barberá y Valdés (1996), González (1992), Kirschner (1993) y Claxton (1994).

La mayoría de estos estudios reconocían el potencial educativo de los trabajos prácticos como complemento a las clases teóricas, como ayuda a la interiorización de conceptos y como aporte de una conexión con el mundo físico, pero constataban deficiencias en su aplicación en el aula. Así González y Gil (1991), afirmaban que “no se propone a los estudiantes que planteen un problema, que emitan hipótesis, que realicen una búsqueda bibliográfica o que diseñen el experimento”, remarcando que las actividades propuestas no contemplaban todas las dimensiones del trabajo científico. Lawson (1994) resalta la importancia de enseñar destrezas de razonamiento científico y propone el uso de ciclos de aprendizaje para la enseñanza de estos junto con los sistemas conceptuales. Otros autores echaban en falta espacios para la reflexión, previa y posterior a las actividades, que dieran sentido al trabajo realizado como acusaban Hodson (1992), Gil y Furió (1999) y Lillo (1994). Caamaño en varios artículos (1992 y 2002), Delgado y Pavón (2014), Etxabe (2001) y Ruá (2012), atribuyen la ineficacia de los trabajos prácticos a su carácter cerrado, es decir, a su presentación como un conjunto de instrucciones de verificación que los estudiantes deben seguir como si de una receta se tratase, limitando así el aprendizaje significativo y heurístico.

Un interesante estudio realizado por Álvarez y Carlino (2004) señala la distancia entre las propuestas de los especialistas, lo que los docentes consideran estar llevando al aula y lo que los alumnos perciben que se hace en ella. Se muestra como el trabajo previo que realizan los docentes para facilitar el aprendizaje de los alumnos a menudo concentra la parte más creativa del diseño, la conexión con problemas reales, la investigación y reflexiones previas, la elección de técnicas en función de su efectividad e incluso en ocasiones la interpretación y reflexiones finales. Se priva así a los alumnos de una de las partes más interesantes, formativas y creativas de los trabajos prácticos.

Muchos autores como Asenjo y Barberá (2014), Avendaño y Lancheros (2014), Barberá y Valdés (1996), Gil (1999), González (1992), Izquierdo (1999) y Lawson (1994), plantean la necesidad de revisar los trabajos prácticos en la enseñanza de las ciencias a la luz de cómo se aprende y como se construye el conocimiento científico.

Solbes y Montserrat (2007) examinan las posibilidades pedagógicas de eliminar los datos y precisiones de los enunciados habituales y construir enunciados más abiertos. Considera que un simple cambio en el enunciado que presenta el problema constituye una importante variación en la actitud y el modo en el que los alumnos se enfrentan al ejercicio, así como en los procesos mentales que deben realizar para solventarlo. Así, analiza las diferencias entre presentar el problema con un enunciado clásico del tipo “sobre un móvil a tal velocidad, actúa una fuerza de frenado de tanto” a presentarlo con otro más aplicado como “un coche a tal velocidad comienza a frenar cuando ve el semáforo amarillo ¿Cuánto tardará?” u otro más dinámico como “¿chocará el tren con la piedra caída en la vía?”

La gran mayoría de estos estudios confluyen en la conveniencia de que los alumnos participen más en las tareas periféricas de los trabajos prácticos, que tradicionalmente llevan a cabo los docentes y parece que hay un amplio consenso en torno a la orientación de los trabajos prácticos como actividades investigativas como concluyen Álvarez y Carlino (2004), Caamaño (2004 y 2012), Etxabe (2001), Gil y Valdés (1996), Martínez y Domenech (2012), Ruá y Alzate (2012) y Watson (1994). Así, Caamaño (2002 y 2012) propone presentar los trabajos prácticos de una forma abierta, en la que se invita a los alumnos a idear un procedimiento o método de resolución y a explicitarlo oralmente o por escrito antes de iniciar su realización. Insausti y Merino (2000) ponen de manifiesto la necesidad de incluir los contenidos procedimentales en el modelo constructivista de la enseñanza de las ciencias con el fin de que los alumnos no solo “aprendan ciencia” sino también “aprendan a hacer ciencia” y proponen un modelo de aprendizaje en forma de “pequeñas investigaciones”. Y Gil y Valdés (1999), van más allá y conciben a los alumnos como investigadores noveles que, estructurados en equipos cooperativos, abordan situaciones problemáticas de interés, interaccionando con los otros equipos y con el resto de la comunidad científica, representada por el profesor y los textos. Lo que queda actualmente es analizar propuestas concretas para contrastar su validez y su viabilidad en el aula según Corominas y Caamaño (2004), Chang y Lederman (1994) y Gil y Valdés (1995). Y este artículo trata precisamente este punto.

Desde otra perspectiva, Marina (2013) trata el tema de la creatividad en la enseñanza y la enseñanza de la creatividad. El aprendizaje de la creatividad implica la posibilidad de cambiar la fuente de las ocurrencias, un aspecto muy interesante a la hora de hacer ciencia. “A la personalidad creativa le corresponden algunas cualidades esenciales en las ciencias: actividad frente a pasividad, expresividad frente a mutismo, innovación frente a repetición, descubrimiento de posibilidades frente al síndrome de impotencia adquirida, apertura frente a cerrazón y autonomía frente a dependencia”. Plantear situaciones en las que pueda expresarse la creatividad y se valore y potencie su aparición, permite y fomenta el desarrollo de la misma.

2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS.

2.1. Justificación:

Los estudios de Álvarez y Carlino (2004) y Ruá y Alzate (2012) coincidían que, en lo relativo a trabajos de laboratorio, se realizan alrededor de 4 o 5 prácticas a lo largo del año y que estos suelen ser trabajos pautados por el docente. Presentados como actividades de “verificación e ilustración” de carácter descriptivo (morfología y anatomía de

los seres vivos) y, eventualmente, como “ejercicios prácticos” para el desarrollo de habilidades técnicas, según la clasificación de Caamaño (1992).

Este proyecto desarrolla los contenidos de una asignatura completa a partir de trabajos prácticos. Todas las prácticas pueden desarrollarse en un laboratorio de secundaria con una dotación de utensilios estándar y reactivos de uso común. El reto consiste en adaptar la metodología y el enfoque de los trabajos, no en profesionalizar las dotaciones materiales, con la finalidad de que la experiencia pueda reproducirse en otros centros.

Se trata de “Ampliación de Biología y Geología” (a partir de ahora ABG), una asignatura optativa de dos horas semanales propuesta en el 4º curso de la Educación Secundaria Obligatoria (ESO), implantada por la Comunidad de Madrid en el marco de la Ley Orgánica de Educación (LOE). En 4º puede cursarse también la asignatura de Biología y Geología, y es común que los alumnos que opten por ABG lo hagan también por Biología y Geología, sin embargo conviene recordar que son dos materias independientes, con contenidos separados y que cualquiera de ellas puede cursarse en solitario.

El proyecto se llevó cabo en el Instituto de Educación Secundaria Laguna de Joatzel, en Getafe, un instituto de titularidad pública de la Comunidad de Madrid. Con 16 alumnos de 4º de la ESO de entre 15 y 16 años de edad. Los alumnos pertenecían a tres grupos distintos y solo se juntaban durante las clases de ABG. En el presente curso, todos los alumnos de ABG cursaban también la asignatura de Biología y Geología. Al ser dos asignaturas optativas independientes esto no tiene porqué ocurrir en otros cursos, pero es interesante si es así porque ambas asignaturas comparten algunos contenidos, de modo que coordinando la temporalización de ambas materias la comprensión de estos contenidos puede potenciarse. En nuestro caso los alumnos estudiaban Biología y Geología con tres profesores distintos, pero la coordinación fue muy satisfactoria.

2.2. Objetivos/Preguntas de investigación:

Nuestra investigación parte de la pregunta: ¿los contenidos de esta asignatura, algunos con bastante carga teórica, pueden quedar totalmente desarrollados únicamente a partir de trabajos prácticos?. Y siendo así, ¿qué ventajas puede tener sobre un desarrollo a base de clases magistrales apoyadas por algún trabajo práctico?. ¿Qué valor añadido puede tener esta metodología?.

El objetivo de este artículo es analizar la viabilidad y las posibilidades pedagógicas de un proyecto en el que se desarrolla una asignatura completa a base de trabajos prácticos. Se expone la propuesta, se contrasta su validez en el aula, se evalúan diversos aspectos en función de los resultados y se sugieren actuaciones de mejora.

Como objetivos específicos nos proponemos:

1. Desarrollar los contenidos completos de la asignatura sin recurrir a clases magistrales. Los alumnos deben aprender todos los conceptos científicos contemplados en el currículo.
2. Conseguir que los alumnos interioricen la dinámica de la metodología científica. Que además de aprender ciencia aprendan también a hacer ciencia.
3. Potenciar la creatividad y la madurez argumentativa en los alumnos.

3. METODOLOGÍA.

Estos objetivos pretenden lograrse planteando las prácticas como pequeñas investigaciones y haciendo que los alumnos participen en todas las fases de estos trabajos prácticos.

Los contenidos de la materia se desarrollan planteados como proyectos temáticos dentro de un contexto en el que se podría desarrollar un trabajo científico profesional, como por ejemplo: el departamento de control de calidad de una empresa alimentaria. Cada semana se plantea una o varias cuestiones relacionadas con el tema del proyecto, como analizar la composición de nutrientes de un nuevo producto o determinar las condiciones óptimas para que se fermente la masa de pan. Y el modo de resolverlas es mediante trabajos prácticos o pequeñas investigaciones.

Por ejemplo, en la práctica en la que los alumnos deben analizar la composición de nutrientes de un producto, se les proporcionan los protocolos para la detección de compuestos orgánicos que suelen aparecer en las etiquetas de los alimentos como proteínas, glúcidos y azúcares, grasas y grasas saturadas, algunas vitaminas, hierro, etc. No se detectan todos los compuestos orgánicos, pero la gama es lo bastante amplia como para poder simular el trabajo profesional. Los alumnos deben organizar el trabajo, desde seleccionar si usarán vasos de precipitados o tubos de ensayo y cuantos necesitarán, hasta determinar el orden de cada ensayo en función de los tiempos de espera o el uso de recursos como el mechero, las gradillas o las pipetas. Antes de comenzar el trabajo de laboratorio puede hacerse una puesta en común del plan a seguir, si se cree necesario homogenizar o gestionar el uso de recursos como los lavaderos o los recipientes de reactivos.

Es en esta práctica en la que los estudiantes pasan de ser meros auxiliares de laboratorio a organizar el trabajo que realizarían estos auxiliares. Como el lógico, unos alumnos alcanzarán las capacidades para dar este paso antes que otros. Para amoldarse al ritmo de aprendizaje de cada alumno (que en este punto trabajan en parejas), el profesor podrá prestar distintos grados de ayuda como seleccionar los protocolos en función de los recursos que requieren o dar indicaciones sobre orden de los ensayos.

Al final se presentarán los resultados y se llevará a cabo un debate para analizar las posibles causas de las diferencias, esta es una de las partes más interesantes. Para prepararlo, el profesor puede señalar, durante el desarrollo procedimental, a las parejas sobre alguna desviación del protocolo que estén realizando o indicarles que piensen sobre alguno de sus datos, e incluso ayudar a alguna de ella sugiriendo posibles causas.

Nótese que este modo de organizar las prácticas, permite variar el grado de libertad o implicación de los alumnos de forma independiente; la ayuda del profesor puede, y debe, ser distinta para cada pareja. De este modo, puede avanzarse en el temario a la velocidad programada, respetando los distintos ritmos de aprendizaje. Y se consigue además un conocimiento muy preciso sobre las capacidades y líneas de pensamiento de cada alumno, especialmente siendo un número reducido, pudiendo a grandes rasgos prever las dificultades que encontrará cada uno.

Los alumnos se convierten en el centro y motor de su propio aprendizaje, enfocado a resolver un problema concreto. El profesor actúa de facilitador del proceso, previendo los medios que necesitarán los alumnos para superar los obstáculos que se les presenten y ofreciéndoselos en la medida y el momento que ellos los demandan. Como resume Avendaño (2012), la responsabilidad del docente está en diseñar los módulos de trabajo para que puedan ser elaborados por los estudiantes estableciendo cuidadosamente el nivel de dificultad. De este modo son ellos mismos los que diseñan sus recorridos mentales y los contenidos últimos alcanzados en función de sus capacidades, inquietudes y motivaciones personales.

Se pone énfasis en que el camino por el que se llega al conocimiento es una parte importante del conocimiento mismo. Se introduce a los alumnos en la utilización del método científico, empezando por la observación de un fenómeno y la recopilación de información relacionada; y terminando con la extracción de conclusiones y el enunciado de leyes generales; sin olvidar pasar por la formulación de hipótesis, el diseño de un protocolo para comprobarlas experimentalmente y la recogida y procesamiento de los datos.

Por supuesto, no se espera que los alumnos realicen todos los descubrimientos desde cero, y menos en sesiones de 50 minutos. En cada sesión deben realizar con exhaustividad una o varias partes del método científico: Observación de fenómenos, emisión de hipótesis, diseño de protocolos para comprobarlas, experimentación, procesamiento de los datos extraídos, análisis e interpretación de los resultados y enunciado de generalizaciones o de nuevas hipótesis.

En resumen: durante el desarrollo de la práctica se tratarán, por tanto, los contenidos teóricos necesarios para explicar los fenómenos naturales, los procesos mentales que llevan a generar conocimiento a través del método científico y las habilidades técnicas propias del trabajo científico en cada área.

3.1. Tratamiento del método científico.

A continuación se expone el tratamiento de cada una de las fases del método científico contempladas en los proyectos.

1. Desarrollo de contenidos teóricos.
2. Emisión de hipótesis.
3. Diseño de protocolos.
4. Experimentación.
5. Recogida y procesamiento de los datos extraídos.
6. Análisis e interpretación de los resultados.
7. Conclusiones.

1. Desarrollo de contenidos teóricos.

Parte del tiempo se dedica a desarrollar los contenidos teóricos o a dar indicaciones para que los alumnos puedan localizarlos. No sólo los imprescindibles para realizar las investigaciones correctamente, sino todos aquellos relacionados con el tema que sean necesarios para abordar los contenidos de la materia. Son los alumnos los que escogen qué conocimientos necesitan aplicar para realizar la actividad propuesta, explicar los resultados o formular las conclusiones.

De este modo teoría y práctica quedan integradas. Los contenidos teóricos presentados en un contexto práctico dejan de ser un fin en sí mismos y pasan a ser necesarios en la resolución del problema, adquieren un valor de uso, se vuelven útiles en el entorno en el que aparecen; esto facilita la comprensión, memorización e interiorización de los contenidos (Álvarez y Carlino, 2004). "Las últimas tendencias en el diseño y realización de trabajos prácticos avanzan en la dirección de no hacer distinción entre clases teóricas y trabajos prácticos en la enseñanza, ya que en la investigación científica aparecen totalmente imbricados y separarlos podría arrojar una visión deformada de la forma de hacer ciencia". (Fernández, 2003 y Gil, 1999).

2. Emisión de hipótesis.

Después de observar un fenómeno y deben emitir hipótesis que lo expliquen en base a sus conocimientos teóricos al estilo de los trabajos prácticos tradicionales. Estas hipótesis se emiten en gran grupo, para potenciar el debate y el aprendizaje entre iguales, el profesor solo actúa como moderador del debate y orientador. Se valora y se fomenta la originalidad y la creatividad. Las tormentas de ideas son ideales en esta fase, en la que el cerebro funciona rápidamente y las ideas surgen sin limitaciones de viabilidad. Muchas de estas ideas se desecharán rápidamente, pero se consigue que proliferen ideas distintas, originales y se promueven formas de pensar divergentes que quizá no hubieran superado el filtro de una meditación más tranquila. Posteriormente las hipótesis deben redactarse para formularse correctamente, de modo que su enunciado pueda ser comprobable.

3. Diseño de protocolos.

Deben diseñar un protocolo de laboratorio para comprobar las hipótesis propuestas, estén en disposición de desarrollarlo o no. En ocasiones serán prácticas viables, que de hecho pueden realizar después de una pequeña revisión por parte del profesor. Otras veces el ejercicio consistirá en teorizar sobre cómo podría hacerse, sin limitarse a la dotación de un laboratorio escolar.

Si el protocolo confeccionado por los alumnos va a utilizarse posteriormente en otras fases de la investigación, habrá una puesta en común entre todos los grupos para abordar las cuestiones funcionales, el profesor orientará y justificará las elecciones por cuestiones materiales o metodológicas. Es el punto en el que entra en juego la viabilidad. Y es importante que los alumnos conozcan los motivos de la elección, que sean conscientes de las limitaciones técnicas a las que puede enfrentarse la ciencia y valoren otro tipo de creatividad práctica que deben desarrollar los científicos a la hora de sortear los obstáculos materiales.

4. Experimentación.

Es el momento de validar las hipótesis de trabajo. Lo ideal sería que fueran las hipótesis extraídas del debate en grupo y comprobadas a través de sus propios diseños de protocolos. Pero por cuestiones materiales, en ocasiones serán hipótesis formuladas históricamente o propuestas por el profesor. Por supuesto, siempre ha de asegurarse que los alumnos comprendan los motivos que justifiquen las elecciones y los objetivos que se pretenden conseguir con dicha elección. Se hará hincapié en las técnicas, destrezas y habilidades necesarias para desarrollar la práctica del modo más profesional posible que nos permitan las circunstancias. Las condiciones de seguridad, orden y limpieza en laboratorios, la formulación y seguimiento de instrucciones de los protocolos, el trabajo colaborativo, el registro de los datos y el rigor propio del trabajo científico. Durante el curso se intentará reproducir, en la medida de lo posible, el trabajo científico profesional en tres áreas: bioquímica, citología y geología.

5. Recogida y procesamiento de los datos extraídos.

Los resultados deben recogerse de la forma más rigurosa y objetiva posible, de modo que no interfieran las preconcepciones que científico pueda tener. Los alumnos deben diferenciar la experimentación de la interpretación y conocer errores y omisiones históricos cometidos por supeditar la observación a lo axiomáticamente aceptado. También deben anotar cualquier variación realizada sobre el protocolo, que eventualmente podría justificar desviaciones en la interpretación.

Posteriormente deben procesar los datos de modo que faciliten su comprensión e interpretación. Realizan tablas, gráficas, dibujos y cálculos. En ocasiones con ayuda de ordenadores. Deben no solo saber realizar y extraer información de tales cálculos y gráficas, sino comprender en base a qué se seleccionan y como ayudan a la interpretación.

6. Análisis e interpretación de los resultados.

En este punto estos alumnos parten de un punto distinto que en las prácticas clásicas porque ellos antes de comenzar la experimentación ya sabían que se pretendía con ella: si se esperaba algún resultado en base a conocimientos teóricos o, si estaban comprobando una hipótesis, saben si el resultado la rechaza o la corrobora, es decir, saben que implicaciones tiene el resultado y pueden interpretarlo más allá de repetir la teoría. En ocasiones no pueden realizarse los procedimientos por faltas de tiempo o medios, en esos casos se analizarán resultados externos, no conseguidos mediante la experimentación de los alumnos. Se consigue así tener acceso a la interpretación de datos de calidad como microscopía electrónica, imágenes de acelerador de partículas o pruebas médicas, que no podrían conseguirse en un laboratorio escolar, no siendo esto un limitante para no poder continuar con nuestra investigación.

Debido a la incertidumbre de este enfoque investigativo, la interpretación de los resultados a menudo incluye explicar el porqué no ha salido lo esperado, detectar fallos en la manipulación, en el diseño del protocolo o en la muestra escogida y plantear modificaciones que permitieran corregirlo. Es especialmente importante en este punto que los alumnos dispongan de un tiempo para la reflexión individual antes del debate en grupo, en la que puedan revisar sus conocimientos teóricos, organizar sus ideas, asentar los datos y dar rienda suelta a su imaginación. Este tiempo de reposo permite la aparición de respuestas creativas, que no surgirían de un debate improvisado.

7. Conclusiones.

Las conclusiones deben extraerse del debate sobre la interpretación de los resultados. Se trata de estudiar la posibilidad de generalizar los resultados y en qué límites, de enunciar leyes o de emitir de nuevas hipótesis a la luz de los resultados. Es conveniente que los alumnos comprendan que un resultado negativo rechaza una hipótesis, pero que un resultado positivo no la demuestra, simplemente no la niega.

3.2. Proyectos realizados.

Los contenidos de esta materia giran alrededor de tres núcleos: geología, bioquímica y citología. En la Resolución de 27 de la Comunidad autónoma de Madrid se publican organizados en cinco bloques: los dos primeros de geología, los dos siguientes de bioquímica y el último de citología.

Bloque 1: “Los constituyentes de la corteza terrestre”

Bloque 2: “El ciclo de las rocas”

Bloque 3: “¿De qué estamos hechos?”

Bloque 4: “Del descubrimiento de los ácidos nucleicos a la biotecnología”

Bloque 5: “Formas acelulares y celulares”

El curso comienza con una primera aproximación al trabajo en laboratorio, las normas de seguridad, el método científico, el lenguaje científico y los métodos de trabajo. En definitiva qué se espera de ellos y cómo deben interaccionar con la materia. Esta unidad es de las más delicadas, ya que en ella se sentarán las bases que regirán durante

el resto del curso. La función del profesor debe ser la de crear grupo, proporcionar el ambiente necesario para que se desarrollen las actitudes buscadas. Aquí la conexión del profesor con los alumnos y de los alumnos entre sí es crucial y es donde más se aprecia que los actores son a menudo más importantes para la obra que el propio guión. Las relaciones personales entre los sujetos educativos son más importantes para el aprendizaje significativo que el paradigma de la escuela pedagógica seguido, como se describe en el artículo de Avendaño (2014).

A continuación se imparten los bloques 3, 4 y 5, de bioquímica y citología, combinados en los mismos proyectos. Los proyectos desarrollados en estos núcleos tratan de simular el trabajo en centros de investigación. Se introduce el tema de proyecto ubicando a los alumnos en el tipo de investigaciones que se llevan a cabo en dicho centro y cuál será su papel en él. Pasan de ser simples auxiliares de laboratorio, que deben preparar reactivos y muestras para los supuestos investigadores, a investigar activamente y de ahí a ser los jefes de servicio que establecen los protocolos o los científicos que deciden las futuras líneas de investigación.

Se proponen los siguientes proyectos.

1. En el departamento de control de calidad de una empresa alimentaria, deben analizar la composición de nutrientes, optimizar los protocolos para acelerar los procesos de producción, controlar y mejorar las propiedades organolépticas y asegurar la conservación de varios productos.
2. En una estación de abastecimiento y depuración de agua de una ciudad deben calcular la carga bacteriológica, detectar una contaminación por heces, establecer un sistema de depuración de aguas residuales y poner en marcha una desalinizadora de agua en función de las demandas de una ciudad turística costera.
3. En un laboratorio farmacéutico deben frenar una epidemia aislando el agente causante, seleccionando un antibiótico eficaz y estimando la dosis mínima necesaria para el tratamiento de los pacientes.
4. En una clínica de reproducción asistida deberán interpretar varias pruebas prenatales para detectar malformaciones, aneuploidías cromosómicas, el sexo de varios embriones, aislar células y fotografiar cromosomas...
5. En un centro de investigación puntero en ingeniería genética, deben realizar un estudio metabólico sobre muestras vegetales, aislar el ADN de un organismo, seleccionar los genes en cuestión y montar un laboratorio donde puedan elaborarse organismos genéticamente modificados.
6. En un instituto de secundaria, deben preparar una salida a la que asistirán todos los alumnos de la asignatura de Biología y Geología en 4º de la ESO. La zona elegida es La Cabrera-Patones ya que en este punto confluyen tres litologías típicas de Madrid: Granitos, Pizarras-Gneis y sedimentos arcilloso-yesíferos. Los alumnos estudian las formas del paisaje que esperan encontrar y las características de la litología del terreno a partir de mapas geológicos, de vegetación y de usos del suelo. Determinan el recorrido a seguir desde el centro realizando un pequeño SIG que cruce mapas geológicos con mapas de carreteras. Establecen las paradas sobre el recorrido o pequeñas desviaciones a partir de un listado de puntos de interés geológico en la Comunidad de Madrid (Corvea, J.L. et al. (2006). Y confeccionan un guion que deberán llevar y completar el resto de alumnos. Posteriormente se estudiarán en el laboratorio las muestras recogidas durante la salida.

3.3. Evaluación.

Uno de los puntos débiles de los trabajos prácticos detectados por Álvarez (2004) es el poco peso que tienen en la evaluación. En los exámenes se pregunta por los contenidos teóricos, muy rara vez tienen relación con los trabajos prácticos realizados y cuando es así suele tratarse de cómo estos confirman la teoría.

En este proyecto evalúa a los alumnos por competencias básicas, por medio de una serie de indicadores que pormenorizan los procesos que se desea que los alumnos desarrollen. En concreto se trabajaron con 260 ítems organizados en criterios de evaluación (primera fila sin sangría) y agrupados por Competencias Básicas (encabezado de la tabla). Con ellos se confeccionó una gran tabla que cruzaba los indicadores (en filas) con los alumnos (en columnas, hay que recordar que solo eran 16). Estos indicadores se valoran como: “logrado”, “no logrado” o “parcialmente logrado”; en este último caso se recoge un escueto comentario acerca del grado de consecución en la ficha de alumno. Este sistema permite realizar informes fácilmente para informar al tutor, a los padres y a los propios alumnos de su aprendizaje y de lo que se espera de ellos. La nota numérica se calcula como el porcentaje de indicadores logrados.

A continuación se expone un ejemplo de los indicadores utilizados para evaluar si el alumno “Hace un uso responsable de las nuevas tecnologías” y si “Conoce y pone en práctica el método científico”. Hay que aclarar en este último punto que solo se valora lo que indica el texto por ejemplo: si “formula hipótesis y conjeturas” de modo que puedan ser comprobadas, no si estas son de calidad, reflejan lo que sabe del tema o tienen sentido.

Competencia en el conocimiento y la interacción con el mundo físico			
Conoce y pone en práctica el método científico			
Identifica las necesidades y plantear problemas			
Formula hipótesis y conjeturas			
Planifica el modo de comprobar las hipótesis, fijando objetivos, distribuyendo el proceso en fases, estableciendo los procedimientos...			
Recoge, registra y representa datos			
Interpreta los resultados. Comprende las relaciones causales que se dan entre los distintos fenómenos de la naturaleza y el mundo físico			
Elabora conclusiones y comprende el grado de generalización de nuestros resultados.			

Competencia para el tratamiento de la información y competencia digital			
Hace un uso responsable de las nuevas tecnologías			
Valora la validez y fiabilidad de la información encontrada			
Hace un uso seguro de Internet			
Reconoce y respeta la propiedad intelectual			
Respeto las normas de intercambio virtual y respetar la intimidad y privacidad de los participantes			

También es muy interesante el método de evaluación utilizado por Avendaño (2012). En él se consideraban tres criterios de evaluación que a grandes rasgos abarcaban: comprender el montaje, proponer alternativas y recoger el trabajo de forma escrita; y para

cada uno de ellos se establecían cuatro grados de consecución. Este sistema es fácilmente modificable para adaptarlo a la evaluación de esta asignatura, aunque en nuestra opinión detallaríamos más los criterios de evaluación.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Para extraer los resultados del proyecto se han utilizado parte de los indicadores diseñados a priori para evaluar a los alumnos, acompañados de los comentarios del profesor que imparte la asignatura. Se han escogido aquellos que previsiblemente podrían verse modificados por la metodología implementada, los relativos a la organización de los alumnos dentro del laboratorio, la ganancia de autonomía y al grado de madurez alcanzado en la emisión de hipótesis y la argumentación de las conclusiones. A pesar del enfoque cualitativo de los indicadores y de la valoración subjetiva por parte del profesor; consideramos estos resultados bastante objetivos ya que se escogieron a priori y abordan numerosos aspectos muy concretos del proyecto.

Posteriormente, analizando los comentarios del profesor, se han añadido otra serie de resultados que llamaremos “espontáneos” y que si bien no tiene sentido utilizarlos para la evaluación de los alumnos si tienen importancia en la evaluación del proyecto y en las posibilidades de reproducirlo en otros cursos.

4.1. Resultados a partir de indicadores a priori.

Aspectos organizativos.

Como era de esperar, se aprecia una mayor soltura en la utilización de instrumental de laboratorio y capacidad de improvisación a la hora de sustituir alguno de los materiales propuestos por otros. También mejora notablemente el seguimiento de guiones: interpretan más rápidamente las instrucciones, necesitan menos indicaciones y menos detalladas e identifican los posibles problemas que tendrán en la realización con solo leer los protocolos, antes de llegar al punto en cuestión, pudiendo anticiparse para evitarlos.

Sin embargo, no todos los alumnos fueron capaces de corregir cantidades o proporciones escritas en función de los resultados obtenidos como se esperaba. Por ejemplo, en el caso de una tinción de células vegetales con orceína en la que las paredes no se disolvieron debidamente, solo unos pocos alumnos sugirieron alargar el tiempo de tratamiento con calor o aumentar la proporción de ácido. Estas observaciones se repitieron en varios trabajos prácticos.



El contexto y las expectativas de los alumnos modifican su capacidad de aportar soluciones. Cuando se analizan los resultados de las prácticas y se pregunta por posibles modificaciones del método, los alumnos dejan volar su imaginación y aportan multitud de posibilidades. Sin embargo, si en el momento de la realización falla algo, les cuesta mucho sugerir modificaciones para solucionarlo.

A partir de los comentarios de los propios alumnos, este hecho puede interpretarse en base a sus expectativas: En el caso del análisis de resultados, el profesor pide una respuesta sobre una situación concreta, los alumnos interpretan que esa situación tiene solución y que con sus conocimientos pueden llegar a ella o que se pide una respuesta imaginativa sea o no realizable, consideran entonces que es cuestión de darle vueltas. En el caso del obstáculo durante la práctica, no asumen que exista una solución o que si esta existe ellos puedan llegar a ella, esta idea limita sus expectativas de éxito hasta bloquearlos.

Actuación en los debates.

El desarrollo de los debates en grupo evolucionó progresivamente. Desde los primeros trabajos se aprecia un aumento rápido de la participación activa de todos los alumnos. Sobre este punto debe comentarse que la clase estaba formada por varios grupos y que muchos alumnos no se conocían entre sí. Esto puede afectar a que los alumnos más tímidos tarden más en soltarse, pero también contribuye a que se adopten nuevos roles que entre conocidos sería más difícil.

La moderación de los debates evolucionó más lentamente. Es evidente que las relaciones personales influyen enormemente en el talante de los participantes, pero la idea fue, desde el principio, que la actitud en los debates debía potenciar la participación de todos los alumnos. Se trabajaron mucho las normas básicas de debate: el control de los turnos de palabra, el respeto por las opiniones ajenas aunque no se compartan, la asertividad al dirigirse a otros miembros y el acatamiento de los acuerdos adoptados. Todas estas normas se adquirieron lentamente, observándose altibajos, hasta que al final de la primera evaluación, en muy pocos días los debates empezaron a funcionar bien. Esta mejoría coincidió con el final de los exámenes finales, por lo que se interpreta como que al

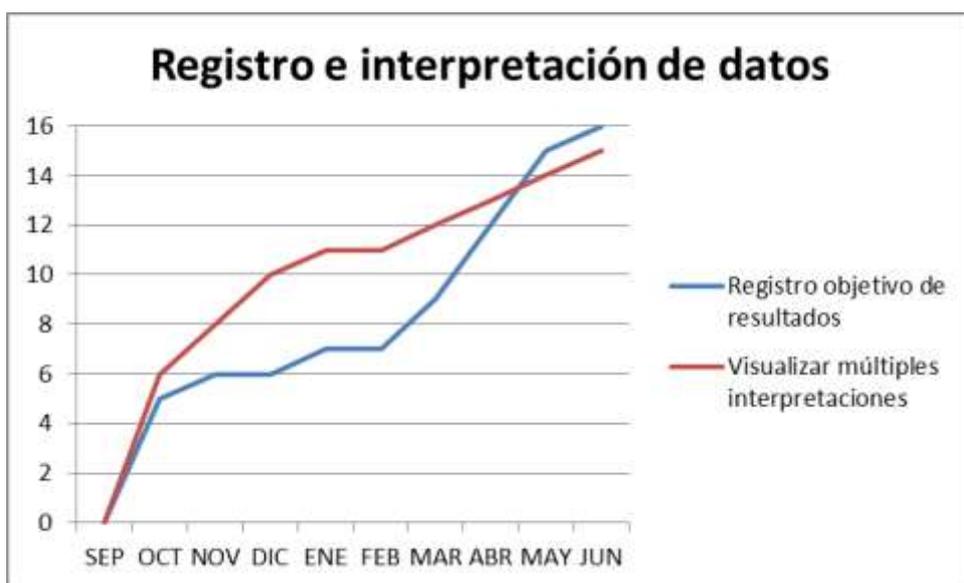
tranquilizarse después de una situación tensa pusieron en práctica todas las técnicas ensayadas y, quizá al apreciar la diferencia, las mantuvieron durante el resto del curso.



También se aprecia una diferencia considerable en las argumentaciones a lo largo de todo el curso. Tanto en la madurez de los argumentos, el rigor y la relevancia en el tema trabajados; como en aspectos formales como exponerlas correctamente o seguir el hilo de una discusión sin saltar de idea o volver hacia atrás.

Comprensión del método científico.

Los alumnos debían interiorizar la idea de ciencia como algo dinámico, constantemente a prueba y susceptible de modificarse en cualquier momento. Para medir esta interiorización se tomaron indicadores relativos al modo en el que se enuncian las hipótesis, las observaciones o las leyes extraídas. Por ejemplo: si el enunciado de las hipótesis de trabajo permite ser comprobadas; que un resultado negativo niega una hipótesis, pero uno positivo no la demuestra; recoger las observaciones de forma objetiva y rigurosa; que los mismos resultados pueden interpretarse de diversas maneras; etc.



A lo largo del curso se observa que todos los alumnos, sin excepción, han superado este apartado, que era además uno de los objetivos de la metodología del proyecto. Sin embargo, pareció llamativa la lentitud con la que los alumnos fueron adquiriendo esta competencia. Los principales puntos negros estuvieron relacionados con la interpretación de los resultados, especialmente con lo esperado a priori. A más de la mitad de los alumnos les costó registrar los resultados observados de forma objetiva, sin contaminarlos con interpretaciones o con los resultados esperados. Para unos pocos, además, fue difícil asumir que con los mismos resultados se podían llegar a diversas conclusiones, a veces no compatibles entre sí.

4.2. Resultados espontáneos a partir de comentarios del profesor.

Uno de los resultados más llamativos fue la tremenda reducción en los tiempos invertidos en iniciar las prácticas.

Desde que entran hasta que se sientan, se colocan y sacan sus materiales. Desde que se les dice lo que necesitan y se les recuerda donde está hasta que se levantan, lo cogen, vuelven para lo que se les haya olvidado y finalmente lo tienen en las mesas. Desde que se les dice lo que deben hacer hasta que empiezan el trabajo efectivo, algunos no empezaban hasta ver a los de al lado y otros ya habían acabado cuando estos empezaban. Y por último desde que acababan la práctica hasta que lo dejaban todo recogido y pasan el visto bueno del profesor.

Esta reducción de tiempos tuvo lugar en muy pocas sesiones y de forma masiva en todo el grupo. Los alumnos ganaron autonomía y realizaban las prácticas con muy pocas indicaciones.

Otro resultado observado, que aunque se justifica fácilmente, no se consideró a la hora de diseñar los indicadores es la de la organización del trabajo, tanto dentro de cada pareja como en el grupo general.

Cada pareja se organizó su propio trabajo, distribuyendo las tareas de forma rotativa o permanente, el profesor no intervino en estos acuerdos. Por ejemplo, que mientras uno hace acopio del material, el otro toma notas de la pizarra, repasa los protocolos o acondiciona el puesto de trabajo.

También se organizaron como grupo, evitando levantarse todos a la vez o utilizar las zonas comunes como lavaderos, desagües o armarios al mismo tiempo. Nuevamente, esta coordinación surgió de forma semiespontánea, con muy pocas indicaciones en las primeras sesiones por parte del profesor. Unas parejas recogían los materiales al principio para empezar lo antes posible y otras preferían primero repasar los protocolos y levantarse después a por los materiales sin aglomeraciones; unas fregaban el instrumental a medida que lo dejaban de utilizar, aprovechando los ratos muertos, mientras que otras lo fregaba todo al final.

5. CONCLUSIONES.

Después de analizar los resultados estamos en disposición de responder a nuestras preguntas iniciales.

¿Pueden desarrollarse todos los contenidos recogidos en el currículo de la asignatura únicamente a base de trabajos prácticos?

Afirmamos que es posible desarrollar todos los contenidos teóricos de ABG a base de trabajos prácticos, con unas leves matizaciones.

Para algunos de los contenidos relativos a genética, se aprovechó que todos los alumnos cursaban la asignatura de Biología y Geología, y que en ella se desarrolla extensamente este tema.

Algunos contenidos relativos a ingeniería genética, imposibles de trabajar de forma práctica en un laboratorio escolar, se abordaron como trabajo de búsqueda de información aplicada, para ello se les dio a los alumnos el contexto de tener que montar un laboratorio de ingeniería.

El resto de contenidos se desarrollaron exclusivamente como experiencias prácticas, abordando los conceptos teóricos en la introducción de los trabajos o en la interpretación de los resultados.

¿Qué ventajas puede tener sobre un desarrollo a base de clases magistrales apoyadas por algún trabajo práctico?. ¿Qué valor añadido puede tener esta metodología?

Ruá y Alzate determinaron en un trabajo de 2012 que “se está transmitiendo una imagen distorsionada de ciencia, en la que las prácticas son el único criterio de validez de conocimiento científico”. Martínez y colaboradores, el mismo año, afirmaban que “el punto de partida para comprender el mecanismo de funcionamiento de la naturaleza y las ciencias ambientales está en los fundamentos teóricos, pero para alcanzarlos se debe llegar a la realidad, a través tanto de salidas al medio como con trabajo en el laboratorio”.

Sin atrevernos a afirmaciones tan contundentes, si alzamos como principal ventaja de esta metodología, en comparación con otra a base de clases magistrales apoyadas por algún trabajo práctico, la interiorización del concepto de ciencia y de cómo se hace ciencia en situaciones bastante aproximadas a las condiciones reales. Trabajando los contenidos teóricamente, aún apoyados con trabajos prácticos procedimentales sería difícil trabajar aspectos como la mutabilidad de la ciencia, el concepto de hipótesis como enunciado a comprobar o la interpretabilidad de los resultados. Nuestras conclusiones sobre este punto son acordes a las detectadas por otros autores.

Casal (2013) presentó un trabajo similar en el que se planteó a los alumnos tres trabajos prácticos de indagación, en cada uno de los cuales, se incrementaba el grado de apertura y participación del alumnado respecto al anterior, tras cada uno debían escribir un artículo científico. Casal detectó una mejor comprensión de la naturaleza de la ciencia y el fomento del desarrollo de habilidades científicas como la distinción entre los resultados y las conclusiones, o el diseño de experimentos, además de la propia escritura de textos científicos.

Avendaño (2012) constató que las actividades prácticas formuladas como módulos experimentales en su trabajo, permitieron a sus estudiantes adquirir responsabilidades relacionadas con el uso racional de los conocimientos científicos aplicados a la tecnología.

García-Carmona y colaboradores (2012) observaron que aunque los estudiantes lleguen a emitir argumentos ricos y fundamentados ante situaciones tecno-científicas controvertidas, esto no implica, necesariamente, que hayan mejorado su comprensión sobre la naturaleza de la ciencia. Y que la toma de decisiones está basada en argumentos personales, morales o éticos. En su opinión, para aprender sobre la naturaleza de la ciencia no basta con enseñar procedimientos o incluir trabajos prácticos o de indagación. Pues puede transmitir un falso reduccionismo de la ciencia por ser demasiado implícita. Y

recomiendan una enseñanza explícita y reflexiva de la naturaleza de la ciencia, (ligada o no a trabajos prácticos).

Creemos que el proporcionar espacios para la reflexión y el debate de estas cuestiones facilita no solo la comprensión de la naturaleza de la ciencia, sino también la interiorización de esta naturaleza. Uno de los aspectos más llamativos para los estudiantes fue precisamente que analizando los mismos datos desde enfoques distintos puede llegarse a conclusiones incompatibles, solo discernibles con nuevos experimentos y que el peso del “criterio experto”, que tan presente está en la ciencia mundial, inclina la balanza en ocasiones saltándose estas comprobaciones.

El participar en todas las fases del método científico les aporta un enfoque global de la materia y una visión más realista y profesional del trabajo científico. Los alumnos parecen disfrutar yendo más allá de las prácticas propuestas y organizando el trabajo en un laboratorio profesional o mejorando protocolos ideales sin sufrir las limitaciones económicas o materiales.

Estos ejercicios, así como explicar fenómenos, más allá de los esperados, corregir los fallos o solucionar problemas imprevistos, no generados por el profesor específicamente para su formación, fomentan la creatividad.

Que los alumnos confeccionen materiales tales como guías didácticas, guiones de prácticas y otros materiales con fines pedagógicos que habitualmente proporciona el profesor, ayuda a los estudiantes a comprender más profundamente los conceptos y asimilar de forma más duradera los principios puestos a prueba. A resultados similares llegaron García y Rodríguez (2012).

Vázquez y colaboradores (2014) obtienen además una serie de efectos positivos del aprendizaje por proyectos como son la conexión del aprendizaje con el mundo real, al aumento de motivación, el fomento de la interdisciplinariedad, y la adquisición de competencias genéricas.

Otro valor añadido destacado sería la ganancia de autonomía. Con mayor o menos soltura, todos los alumnos acaban dominando las técnicas instrumentales básicas, conocen la ubicación de todo el instrumental y siguen con naturalidad los protocolos escritos. Esto contribuye a mejorar su autoestima y les permite participar activamente en la dinámica de las clases, atreverse a argumentar y opinar en las puestas en común. La consciencia de sus logros y el reconocimiento de lo que son capaces y de sus limitaciones son valores sin precio, que los alumnos podrán trasladar a su vida cotidiana.

6. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.

A la vista de los resultados nos parece interesante plantear tres líneas de investigación:

La primera es repetir el proyecto en un nuevo curso por otro profesor y evaluar si estos resultados se deben de hecho a la metodología o a otros factores como el profesor o los propios alumnos.

La segunda sería entrevistar a otros profesores de los alumnos que participaron en el proyecto para comprobar si han notado alguna mejoría en otras asignaturas en cuanto a la madurez de sus intervenciones.

La tercera sería adaptar el estudio realizado por Alvarez y Carlino en 2004 para valorar si lo que el equipo docente considera haber realizado en el aula coincide con lo que los alumnos han percibido.

7. BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA.

Alvárez, S.M. y Carlino, P.C. (2004). La distancia que separa las concepciones didácticas de lo que se hace en clase: el caso de los trabajos de laboratorio en biología. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(2), pp. 251-262. Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona

Asenjo, M. P. F. y Barberá, J. P. (2014). Evaluación del impacto de la educación superior en la iniciativa emprendedora. *Historia y Comunicación Social*, 18, 377-386. Madrid.

Ausubel, D. P., Novak, J. D., y Hanesian, H. (1976). *Psicología educativa: un punto de vista cognoscitivo* (Vol. 3). México: Trillas.

Avendaño, R., Lancheros, W., Castiblanco, O. y Arcos, F. O. (2012). La enseñanza de la física a través de módulos experimentales. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, 7(1), 32-49. Bogotá (Colombia)

Avendaño Ramírez, R. J. y Lancheros Bohorquez, W. F. (2014). Módulos de laboratorio para el desarrollo de prácticas experimentales enfocadas desde el aprendizaje significativo. Universidad Distrital Francisco José de Caldas recuperado de <http://hdl.handle.net/11349/1341> el 14 de abril de 2015

Barrón Ruiz, A. (1993). Aprendizaje por descubrimiento: principios y aplicaciones inadecuadas. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(1), pp. 3-11. Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona

Barberá, Ó. y Valdés, P. (1996). El trabajo práctico en la enseñanza de las ciencias: una revisión. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(3), pp. 365-379. Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona

Caamaño, A. (1992). Los trabajos prácticos en ciencias experimentales: Una reflexión sobre sus objetivos y una propuesta para su diversificación. *Aula de Innovación Educativa*, 9, pp. 61-68. Barcelona

Caamaño, A. (2002). ¿Cómo transformar los trabajos prácticos tradicionales en trabajos prácticos investigativos? *Aula de innovación educativa*, n. 113-114, pp. 21-26. Barcelona

Caamaño, A. (2004). Experiencias, experimentos ilustrativos, ejercicios prácticos e investigaciones: ¿una clasificación útil de los trabajos prácticos? *Alambique*, 39, pp.

Caamaño, A. (2012). ¿Cómo introducir la indagación en el aula?: los trabajos prácticos investigativos. *Alambique: didáctica de las ciencias experimentales*, 18(70), 83-91.

Casal, J. D. (2013). Secuencias de apertura experimental y escritura de artículos en el laboratorio: un itinerario de mejora de los trabajos prácticos en el laboratorio. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 31(3), 249-262. Bogotá (Colombia)

Corvea, J.L., de Bustamante, I., et al. (2006). Guía de puntos de interés didáctico del norte de la Comunidad de Madrid. *Cátedra UNESCO*. Madrid.

Corominas, J. y Caamaño, A. (2004). ¿Cómo abordar con los estudiantes la planificación y realización de trabajos prácticos investigativos? *Alambique*, 39,

Chang, H. y Lederman, N. (1994). The effect of levels of cooperation within physical sciencelaboratory groups on physical science achievement. *Journal of Research in Science Teaching*. 31(2), pp. 167-181.

Claxton, G. (1994). Educar mentes curiosas. El reto de la ciencia en la escuela. *Visor*. Madrid.

Delgado, E. C., Pavón, Z. S., Esaa, A. E. y Monagas, C. M. (2014). Prácticas de laboratorio de Química Inorgánica y el pensamiento crítico docente. *Diálogos educativos*, (28), 3-20. Rioja.

Etxabe, J.M. (2001). Trabajos prácticos como recetas y como investigaciones. *Revista de Psicodidáctica*, 11-12, pp. 87-96. Bilbao.

García-Carmona, A., Vázquez Alonso, Á. y Manassero Mas, M. A. (2012). Comprensión de los estudiantes sobre naturaleza de la ciencia: análisis del estado actual de la cuestión y perspectivas. *Enseñanza de las Ciencias* (Vol. 30, pp. 0023-34). Barcelona

García, J. J. G., & Rodriguez, E. R. (2012). La medición de la capacidad de resolución de problemas en las ciencias experimentales. *Ciência & Educação*, 18(4), 755-767. Sao Paulo (Brasil).

Gil, D. y Valdés, P., (1995). Un ejemplo de práctica de laboratorio como actividad investigadora: Segundo Principio de la Dinámica. *Alambique*, 6, pp. 93-102

Gil, D. y Valdés, P. (1996). La orientación de las prácticas de laboratorio como investigación: un ejemplo ilustrativo. *Enseñanza de las Ciencias*, vol.14, 2, pp. 15-163. Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona

Gil, D., Furió, C y Valdés, P. (1999). ¿Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio?. *Enseñanza de las Ciencias*, 17 (2), pp. 311-320. Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona

González, E y Gil, D. (1991). Las prácticas de laboratorio en la formación del profesorado de física. (Tesis doctoral). Departament de Didáctica de les Ciències Exloerimentals de la Universitat de València.

- González, E. (1992). ¿Qué hay que renovar en los trabajos prácticos? *Enseñanza de las Ciencias*, 10(2), pp. 206-211. Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona
- Hodson, D. (1992). Assessment of practical work. Some considerations in philosophy of science. *Science and Education*, 1, pp. 115-144.
- Hodson, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(3), pp. 299-313. Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona
- Insausti, M.J. y Merino, M. (2000). Una propuesta para el aprendizaje de contenidos procedimentales en el laboratorio de física y química. *Investigações em Ensino de Ciências*, v5 (2), pp. 93-119.
- Izquierdo, M., Sanmartí, N. y Yespinet, M. (1999). Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), pp. 45-49 Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona.
- Kirchner, P., Meester, M., Middelbeek, E. & Hermans, H. (1993). Agreement between student expectations, experiences and actual objectives of practicals in the natural sciences of the Open University of the Netherlands. *International Journal Science Education Online*.15(2), pp. 175-197
- Lawson, A. (1994). Uso de los ciclos de aprendizaje para la enseñanza de destrezas de razonamiento científico y de sistemas conceptuales. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2) pp. 165-187. Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona
- Lillo, J. (1994). Los trabajos prácticos de Ciencias Naturales como actividad reflexiva, crítica y creativa. *Alambique*, 2, pp. 47-56
- Martínez, J., Domenech, J. L., Menargues, M. A., & Romo, G. (2012). La integración de los trabajos prácticos en la enseñanza de la química como investigación dirigida. *Educación Química*. Vol. 23, n. extraord. 1. Mexico.
- Madrugá, J. G. (1990). Aprendizaje por descubrimiento frente a aprendizaje por recepción: la teoría del aprendizaje verbal significativo. en *Coll, C. Desarrollo psicológico y educación II. Psicología de la educación*.
- Marina, J.A. (2013). El aprendizaje de la creatividad. *Pediatría Integral*, XVII(2), pp. 138-142.
- Ruá, A. M. L., & Alzate, Ó. E. T. (2012). Las prácticas de laboratorio en la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 8(1), 145-166. Colombia
- Solbes, J., Montserrat, R. y Furió, C. (2007). Desinterés del alumnado hacia el aprendizaje de la ciencia: implicaciones en su enseñanza. *Didáctica de les Ciències Experimentals i Socials*, n 21. Valencia.

Vázquez, M. S., Baldazo, M. G., Martínez, M. R. y Vitoria, X. L. (2014). Aprendizaje de competencias a través de proyectos en el ámbito universitario: Salud Pública para el Grado de Ciencias Ambientales. *Pulso: revista de educación*, (37), 83-103. Rioja.

Watson, J.R., (1994). Diseño y realización de investigaciones en clase de ciencias. *Alambique*, 2, pp. 57-65

Cita Recomendada

RODRÍGUEZ-REY TREJO, Concepción; REAL GARCÍA, José julio; GREGORI LABARTA, Inés (2015). El aprendizaje de la metodología científica a través de trabajos prácticos. En Revista Didáctica, Innovación y Multimedia, núm. 32 <http://dim.pangea.org/revista32.htm>

Sobre los autores



Concepción Rodríguez-Rey Trejo

Profesora de Biología y Geología en Educación Secundaria. Centros Públicos de la Comunidad de Madrid



José Julio Real García <real.julio@gmail.com>

Departamento de Didáctica y Teoría de la Educación. Universidad Autónoma de Madrid



Inés Gregori Labarta

Filóloga Inglesa y Profesora de Español. Estudiante de Escritura Creativa en la Universidad de Lancaster



REVISTA CIENTIFICA DE OPINIÓN Y DIVULGACIÓN de la Red "Didáctica, Innovación y Multimedia", dirigida a profesores de todos los ámbitos y demás agentes educativos (gestores, investigadores, creadores de recursos). Sus objetivos son: seleccionar buenas prácticas y recursos educativos, fomentar la investigación sobre el uso innovador de las TIC en los entornos formativos y compartir conocimientos y experiencias.

Los textos publicados en esta revista están sujetos –si no se indica lo contrario– a una licencia de Reconocimiento 3.0 de Creative Commons. Puede copiarlos, distribuirlos, comunicarlos públicamente y hacer obras derivadas siempre que reconozca los créditos de las obras (autoría, nombre de la revista, institución editora) de la manera especificada por los autores o por la revista. La licencia completa se puede consultar en <http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/es/deed.es>.

