

INVESTIGAR EN FÍSICA. EXPERIENCIA EN EL BACHILLERATO INTERNACIONAL DEL IES JUAN DE LA CIERVA DE TOTANA

CAÑIZARES MILLÁN, Miguel; IES Juan de la Cierva y Codornú.

RESUMEN

Se explica en qué consiste el programa del Bachillerato Internacional (BI) y los requisitos de las asignaturas científicas, uno de los más notables es la obligatoriedad de dedicar un mínimo de horas a actividades prácticas. En el BI dichas actividades consisten en plantear pequeñas investigaciones, en las que no se requiere grandes conocimientos teóricos, ni materiales muy sofisticados, sino simplemente sentido común y el uso de las destrezas propias del trabajo científico reconocidas en la enseñanza internacional: *seleccionar variables, emitir hipótesis, diseñar experiencias para comprobarlas, realizar medidas, encontrar correlaciones matemáticas entre variables (tablas, gráficas, uso de TICs), extraer conclusiones y redactar informes científicos*. Se muestra con detalle una experiencia de este tipo realizada con alumnos del BI en el IES Juan de la Cierva: *investigar la influencia de la separación entre fichas en la velocidad del efecto dominó*. También se indica un listado de otras 23 posibles pequeñas investigaciones. Se concluye que, para realizar actividades experimentales educativamente fructíferas, el recurso más importante que se necesita es tiempo suficiente para impartir la asignatura, además de un pequeño “empujón” inicial para vencer la inercia. Ambas cosas, el tiempo y el empujón, las obtuvo el comunicante al empezar a impartir el BI.

1. Introducción: déficit histórico de la enseñanza científica en España.

La Ciencia en general, y la Física en particular, en las enseñanzas medias de España, siempre han presentado el déficit del trabajo experimental. Sin duda habrá que salvar numerosas excepciones a la afirmación anterior, pero creo que en general se puede admitir ese diagnóstico sin muchas dificultades. Se ha enseñado, con mejor o peor acierto, teorías, fórmulas, demostraciones, datos, hechos, etc., pero se dedica poca atención a desarrollar en los alumnos las destrezas propias del trabajo científico, de la investigación científica. Algunas veces se dedica algún tiempo a teorizar sobre esas destrezas, es usual encontrar en los libros de texto un primer tema en el que se expone el llamado “método científico” con su distintas etapas, siempre discutibles. Sinceramente, creo que es bastante ineficaz enseñar teóricamente algo que es eminentemente práctico, las habilidades de la investigación científica se adquieren poniéndolas en práctica.

En un reciente artículo sobre la enseñanza de las ciencias en España [2] se dice lo siguiente: *“el pensamiento científico es una construcción cultural que no está grabado en ningún código genético (...) Si un alumno no razona bien en las ciencias es, en general, por que no ponemos el cuidado suficiente en familiarizarle con el pensamiento científico, seguramente acuciados por enseñarle todos los contenidos del temario”*. En ese mismo artículo, para poner de manifiesto cual es la situación, se hace referencia a una encuesta pasada el primer día de curso a alumnos de primero de la licenciatura de física en la UA de Madrid. Se les preguntó *“¿En su opinión para qué sirve la experimentación científica?”*. Resulta clarificador que, de entre 90 estudiantes que se supone motivados por la ciencia, tan solo uno respondiera que puede servir *“para verificar o refutar hipótesis (...) nos sorprendió que cerca del 99% de*

los alumnos consultados hubiera salido del bachillerato ignorando ese uso básico de la experimentación". El pensamiento científico y las destrezas propias de la investigación científica sólo hay una manera eficaz de que las adquieran los alumnos: iniciándolos adecuadamente en la práctica de dicha investigación.

Puede haber multitud de razones para que un profesor de Física eluda las prácticas de laboratorio en la enseñanza de su materia. El que esto escribe, a lo largo de sus treinta años de experiencia docente, las ha utilizado profusamente para eludir o reducir al mínimo el trabajo experimental de los alumnos, de todas esas razones unas son más convincentes y otras menos, o algunas simplemente cómodas coartadas. Lo que me ha movido a presentar esta comunicación es precisamente el haber descubierto ahora, en el ocaso de mi carrera profesional, el planteamiento adecuado de las prácticas para desarrollar en los alumnos las destrezas de la investigación científica. Este descubrimiento tardío lo he hecho al impartir el programa del Bachillerato Internacional, que por obligación me hizo remover las trabas para realizar este tipo de actividades con los alumnos.

2. El Bachillerato Internacional.

El programa de Diploma del Bachillerato Internacional (BI) consiste en un curso de dos años de duración, propuesto por la International Baccalaureate Organization (IBO) con sede central en Ginebra, que conduce a la obtención de un diploma, reconocido por muchas universidades del mundo para ingresar en ellas.

La IBO establece seis grupos de asignaturas y los estudiantes de este programa deben cursar obligatoriamente, al menos, una asignatura de cada grupo, además de una materia de tronco común (Teoría del Conocimiento), realizar a lo largo de los dos años una monografía sobre un tema elegido por el alumno y dedicar un determinado número de horas a las actividades CAS (creatividad, acción y servicio) fuera del horario lectivo. El diploma lo concede la IBO a aquellos alumnos que, una vez cumplidos todos los requisitos y realizados todos los trabajos prácticos de las diferentes asignaturas, superen unos exigentes exámenes que se realizan en mayo del segundo año.

En España los centros públicos autorizados a impartir el BI deben superponer el currículo del programa de diploma, propuesto por la IBO, con el del Bachillerato español. Con algunas dificultades, aumentando considerablemente el horario lectivo de los alumnos y limitando su optatividad en la elección de asignaturas, es posible diseñar un currículo que cumpla con los dos simultáneamente, en cada uno de los itinerarios posibles. Las complicaciones que todo esto conlleva hace que este programa no esté muy extendido en nuestro país (lo imparten aproximadamente 40 centros), aun reconociendo sus virtudes como complemento de nuestro bachillerato para aquellos alumnos que tengan mayor capacidad, deseo de esforzarse y de prepararse mejor para los estudios universitarios, con el aliciente añadido de poder conseguir un título internacional.

Naturalmente, los alumnos que cursan el BI en los centros públicos españoles, optan a dos titulaciones totalmente independientes. Por una parte son calificados, en 1º y 2º curso, de cara a la obtención del título del bachillerato español con los criterios propios de dicho bachillerato y sin ningún tipo de relación con la organización IBO, aunque generalmente los profesores suelen tener en cuenta los trabajos prácticos que realizan por exigencia del BI, para mejorarles

su nota. Por otra parte, pueden optar al Diploma Internacional expedido por la IBO, para ello los alumnos tienen una evaluación externa y otra interna:

- a) La evaluación externa consiste en un examen bastante exigente de cada asignatura, propuesto y corregido por la organización IBO. Estos exámenes se realizan durante el mes de mayo del 2º año, como si fuesen unas pruebas de Selectividad internacional.
- b) La evaluación interna consiste en una serie de trabajos prácticos de cada asignatura, que, siguiendo unos criterios establecidos por la IBO, los proponen y los corrigen los propios profesores del centro, de ahí el nombre de “evaluación interna”. No obstante, una muestra de esos trabajos debe enviarse para su moderación, es decir, para que la IBO compruebe que se han seguido los criterios correctamente. De dicha moderación puede resultar una disminución, o un aumento, general de la nota de evaluación interna a todos los alumnos.

En la nota final, que la IBO asigna a cada asignatura, la evaluación externa tiene un peso que ronda el 75% (varía algo según qué asignatura) y lógicamente la evaluación interna contribuye en un 25 %. El título del Diploma Internacional se consigue a partir de una puntuación mínima global de todas las asignaturas y tras cumplir unos requisitos excluyentes: haber realizado una monografía sobre un tema a elección del alumno, haber presentado unos ensayos sobre teoría del conocimiento y haber cubierto un número de horas suficiente de actividades CAS.

3. La Física en el BI. Actividades experimentales.

El cuarto grupo de asignaturas del programa de Diploma del BI es el que contiene a las asignaturas experimentales: Química, Biología y Física. La característica común de estas asignaturas es la exigencia de dedicar un número mínimo de horas a actividades prácticas.

Tal como dice Renaud [6] en el Bachillerato Internacional la enseñanza de las ciencias trata de equilibrar dos objetivos: enseñar *conocimientos científicos* y enseñar a *ser un científico*, a diferencia de nuestro bachillerato en el que existe una clara decantación hacia los conocimientos teóricos, a veces inabarcables en el horario disponible para la asignatura.

En el caso que nos ocupa, la Física que es impartida a los alumnos del itinerario de ciencia e ingeniería, se exige un mínimo de 60 horas para actividades prácticas, repartidas entre los dos años del programa. Por supuesto que para hacer esto posible, además de impartir los necesarios contenidos teóricos, se requiere separar la física de la química en 1º y aumentar considerablemente la carga horaria tanto en 1º como en 2º, con respecto a la que tiene en el bachillerato español,

El profesor de la asignatura tiene amplia libertad de elección de las actividades prácticas, según su criterio personal y la disponibilidad de su centro, pero con la condición de que sean adecuadas para iniciar a los alumnos en la investigación, es decir, que sirvan para enseñarles a *ser científicos*. Esos trabajos prácticos, de cada uno de los cuales los alumnos tienen que presentar un informe individual, son evaluados por el profesor del centro y constituyen la componente de evaluación interna de la asignatura, de cara a la obtención del Diploma del BI, a la que me refería en el apartado anterior. El profesor deberá mandar a la IBO una muestra de los trabajos para su moderación y, no cabe duda, que ese factor contribuye a un mayor

interés por seleccionar actividades adecuadas y cubrir los objetivos que se pretenden. Dicho coloquialmente, contribuye a que el profesorado “se ponga las pilas”.

Las actividades prácticas, tal como están enfocadas en el BI, tiene una finalidad muy clara: se pretende desarrollar una serie de habilidades propias del trabajo científico. Por lo tanto, no se trata de comprobaciones experimentales que apoyen los conocimientos teóricos impartidos en clase, con un guión de instrucciones y sabiendo de antemano el resultado que deben obtener. Por el contrario, se trata de plantear preguntas, aunque no tengan nada que ver con la teoría impartida, pero a las que los alumnos puedan dar respuesta experimentalmente, sin que esto requiera grandes conocimientos teóricos, ni materiales muy sofisticados, sino simplemente sentido común y el uso, precisamente, de las destrezas a desarrollar. La lista de esas destrezas puede hacerse muy pormenorizada y extensa, pero podríamos resumir en las siguientes:

- Plantear un problema y seleccionar las variables pertinentes para su estudio. experimental.
- Emitir hipótesis y diseñar experiencias para comprobarlas, variando las variables adecuadas y controlando otras.
- Realizar medidas con diversos instrumentos y asignarles márgenes de error. Tener habilidades de observación y manipulación.
- Encontrar correlaciones matemáticas entre variables. Presentación de tablas y gráficas, linealización de éstas, etc. Para estas tareas, hoy día, no se puede eludir el uso de las nuevas tecnologías de la información (existen programas informáticos de ajustes de gráficas, etc)
- Extraer conclusiones coherentes con los resultados experimentales obtenidos y hacer una valoración crítica de ellas.
- Redactar informes científicos en los que expongan el desarrollo de la experiencia y conclusiones.

Las actividades experimentales se enfocarán para que los alumnos utilicen las anteriores destrezas, y los criterios de evaluación se basarán, precisamente, en cómo se han utilizado. Ese es el signo distintivo respecto a otro tipo de prácticas que se realizan habitualmente.

En la sección siguiente, tomando como hilo conductor una práctica concreta, se ilustra con detalle el “jugo” que se le puede sacar en cuanto a utilización de destrezas investigadoras.

4. Un ejemplo concreto de actividad experimental.

Una práctica típica de las que se hacen en el BI es la siguiente: *pedir a los alumnos que investiguen cómo afecta a la velocidad del efecto dominó la separación entre las fichas*. En primer lugar, un planteamiento como ese suele estimular la curiosidad de los alumnos, pues en realidad no saben cómo influye, no es algo teórico que hayan estudiado y tengan que comprobar, y es fácil que tengan el impulso natural de satisfacer su curiosidad experimentalmente. Pasaremos revista a algunas características de esta experiencia que, como prototipo, ilustra lo que aconseja la IBO para iniciar a los alumnos en la investigación científica.

1°. Se puede hacer en cualquier momento, e independientemente del desarrollo teórico de la asignatura, pues el único concepto que deben manejar los alumnos es el de velocidad media como división de la longitud total de la hilera de fichas y el tiempo que transcurre desde que se empuja a la primera y cae la última. Eso para un alumno de bachillerato no es ningún problema.

2°. El material necesario está al alcance de cualquiera, basta un juego de dominó, una cinta métrica y un cronómetro (muchos alumnos llevan cronómetros en sus relojes o teléfonos móviles). Eso sí, hace falta tiempo. No me cansaré de repetir que todo esto, sin tiempo suficiente para la asignatura, no es posible.

3°. La primera destreza que se pone en juego es la de plantearse el problema y seleccionar las variables que tienen que medir. Es una cuestión fácil, pero no trivial para los alumnos. Lógicamente deberán pensar que, por una parte hay que medir la separación entre fichas (x), y por otra, el tiempo que tarda el efecto dominó en propagarse por toda la hilera (t), no sin antes haber medido la longitud total de la misma (d), pues la variable que será relevante no será el tiempo de propagación sino la velocidad: cociente entre “ d ” y “ t ”. (Figura 1).

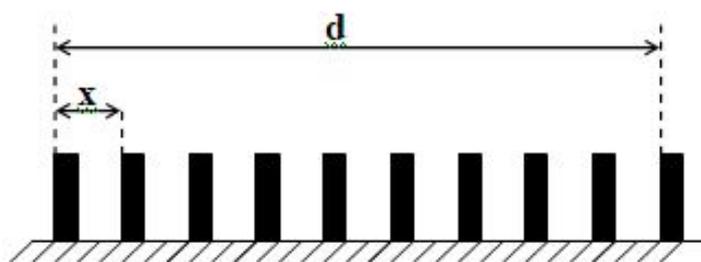


Figura 1

4°. Otra cuestión básica del trabajo científico consiste en la emisión de hipótesis razonables y que sean susceptibles de ser comprobadas experimentalmente. Los alumnos de forma natural tienden a aventurar hipótesis: “a mayor separación de fichas la velocidad es mayor porque cada una golpea con más fuerza a la siguiente” o por el contrario, “a mayor separación de fichas la velocidad es menor porque cada una tarda más tiempo en golpear a la siguiente”. En realidad la hipótesis sería que existe una dependencia entre “ v ” y “ x ”, sin aventurar cómo es tal dependencia, que pretendemos desenmascarar experimentalmente.

5°. Los alumnos deben diseñar la experiencia. De lo que se trata ahora es de que, antes de lanzarse a efectuar medidas alocadamente, deben planificar cómo las van a hacer y el número de veces. Por sentido común comprenden que deben variar el valor de la separación entre fichas (variable independiente) y, para cada valor de x , medir la velocidad del efecto dominó (variable dependiente). Deben decidir los distintos valores de x que van a tomar y el número de veces que van a realizar cada medida.

6°. En la fase de diseño de la experiencia deben tener en cuenta el control de variables, es decir, otros posibles factores que puedan influir en la velocidad del efecto dominó deben mantenerse constantes, para que sólo se detecte la influencia de la variable “separación entre fichas: x ”. Por ejemplo, una variable que los alumnos suelen mencionar es la fuerza con la que se empuja a la primera ficha. Sin entrar a investigar si verdaderamente ese factor influye o

no, lo prudente es mantenerlo siempre constante en todas las experiencias, para ello los alumnos suelen idear algún método como que lo que empuje a la primera ficha sea una bola que se deja caer por una rampa siempre desde la misma posición, o simplemente, que quien lo haga manualmente procure utilizar siempre la misma fuerza. Otras variables que pueden influir es el tamaño y peso de las fichas, pero obviamente esas variables están controladas, pues todas las experiencias se hacen siempre con el mismo juego de dominó.

7°. Una vez diseñada la experiencia, los alumnos deben pasar a la acción de tomar las medidas planificadas. Las destrezas de manipulación y observación son fundamentales ahora. En esta experiencia concreta, esta fase es bastante laboriosa, pues hay que colocar la hilera de forma recta y con una separación determinada entre fichas. En las experiencias hechas en el IES Juan de la Cierva (figuras 2 y 3) se facilitaba a cada grupo de alumnos dos juegos de dominó (56 fichas). Una vez colocadas, la medida de la longitud total de la hilera dividida entre el número de huecos (nº de fichas menos una) debe dar aproximadamente el valor de la variable “x”. Los resultados de las medidas pertinentes deben registrarse cuidadosamente.



Figura 2



Figura 3

8°. La presentación de los datos, con claridad, debidamente tabulados e indicando sus unidades en los encabezamientos de la tabla, es otra de las costumbres que deben adquirir los alumnos. Además deben familiarizarse con la asignación de márgenes de incertidumbre, para lo cual se les informa de unas reglas sencillas para medidas directas e indirectas. En la tabla 1 se muestran los datos reales, extraídos de la práctica realizada por uno de los alumnos del BI.

Tabla 1: Datos reales de la experiencia de un alumno en el IES Juan de la Cierva

Distancia entre fichas: x (cm)	Longitud total de hilera: d (cm)	Tiempo en propagarse el efecto (seg)	Velocidad efecto dominó (cm/s)
1,5 ± 0,3	80 ± 1 (1,2%)	1,57 ± 0,10 (6,4%)	50,9 ± 3,9 (7,6%)
2,0 ± 0,3	111 ± 1 (0,9%)	1,42 ± 0,10 (7,0%)	78,2 ± 6,2 (7,9%)
2,5 ± 0,3	138 ± 1 (0,7%)	1,52 ± 0,10 (6,6%)	90,8 ± 6,6 (7,3%)
3,0 ± 0,3	166 ± 1 (0,6%)	1,96 ± 0,10 (5,1%)	84,7 ± 4,8 (5,7%)
3,5 ± 0,3	193 ± 1 (0,5%)	2,37 ± 0,10 (4,2%)	81,4 ± 3,8 (4,7%)
4,0 ± 0,3	221 ± 1 (0,5%)	3,70 ± 0,10 (2,7%)	59,7 ± 1,9 (3,2%)

9º. Con los resultados experimentales los alumnos se centran en otra de las habilidades científicas: encontrar correlaciones matemáticas entre variables. Para ello deben llevar a una gráfica los datos tabulados, eligiendo escalas adecuadas en los ejes, utilizando barras de incertidumbre, etc. En esta tarea es aconsejable que utilicen medios informáticos, los cuales aligeran y evitan cálculos tediosos, que ocultan el sentido último de lo que se pretende. Un programa como el Graph, de acceso gratuito en Internet [3], es versátil y muy sencillo de manejar (doy fe que los alumnos se familiarizan con mayor facilidad que los profesores), permite mostrar con rapidez y eficacia cómo a una serie de puntos experimentales se puede ajustar una función matemática, con más o menos índice de fiabilidad. En la figura 4 se observan los seis puntos experimentales, correspondientes a la tabla anterior, con sus barras de incertidumbre y el ajuste a una curva.

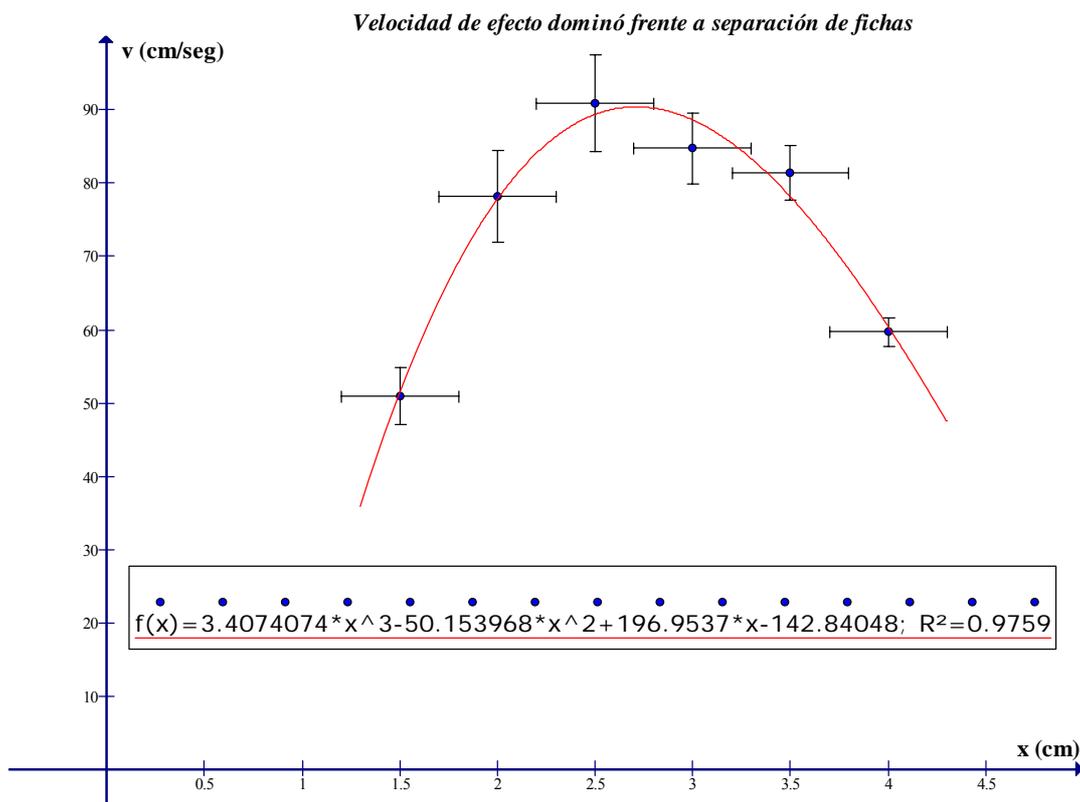


Figura 4: Imagen del Graph, con puntos experimentales y una función matemática ajustada

A pesar de que el programa permite investigar, con extraordinaria agilidad, el tipo de función matemática que mejor se ajusta, no libera a los alumnos de reflexiones educativas, como tener que elegir las escalas apropiadas en los ejes, rotularlos adecuadamente, decidir a qué tipo de función van a tratar de ajustar los puntos, etc. En un menú donde aparecen diversos tipos de funciones: lineal, exponencial, logarítmica, polinómica (de diversos grados) etc., deben elegir a qué clase de función desean realizar el ajuste. Esa elección naturalmente vendrá condicionada por la hipótesis previa que tengan sobre el fenómeno a investigar, o por la tendencia observable de los puntos experimentales. En este caso, en el que no había ninguna hipótesis previa sobre la función $v(x)$, tras probar varias opciones, parece ser que se ajusta a una función polinómica de tercer grado, cuya ecuación la proporciona el programa, y que aproximadamente es:

$$v(x) = 3,4 x^3 - 50,2 x^2 + 197 x - 142,8 \quad (R^2 = 0,97)$$

Sería excesivo para alumnos de bachillerato, y llevaría mucho tiempo, que se les enseñara los laboriosos métodos de mínimos cuadrados y otros métodos numéricos encaminados a ajustar funciones a puntos. Lo esencial para este nivel es que se familiaricen con la idea de que los ajustes de puntos experimentales a funciones matemáticas, suponen descubrir la relación matemática que regula el fenómeno estudiado, y para esto resulta claramente ventajoso utilizar programas como el Graph.

En esta parte de una investigación, cuando los alumnos pretenden encontrar la función matemática del fenómeno estudiado, es importante que adquieran la habilidad de “linealizar gráficas”. En el ejemplo que nos ocupa, el estudio del efecto dominó, al no tener una hipótesis previa sobre la forma de la función, no resulta pertinente lo de la linealización. Sin embargo, en otras experiencias en las que sabemos de antemano (o introducimos como hipótesis) que la función va a ser de una forma determinada no lineal, casi siempre se tiene la posibilidad de hacer un cambio de variable, o tomar logaritmos, de manera que la función adopte la forma de una recta ($y = m \cdot x + b$), lo que se comprueba con el Graph, representando gráficamente los valores adecuados y eligiendo la opción de ajuste a una recta. El valor de la pendiente y ordenada en el origen de la recta ajustada permiten determinar las constantes de la función que buscamos.

10º. Extraer conclusiones de los resultados obtenidos, así como hacer una valoración crítica de ellos, es otra importante destreza científica que los alumnos deben ir adquiriendo poco a poco. Esta experiencia del efecto dominó, se presta a reflexionar sobre las conclusiones que se pueden extraer. Es obvio que deben concluir que existe una separación óptima entre fichas, para la cual la velocidad del efecto es máxima, pero esa separación óptima, que en nuestra experiencia concreta ronda los 2,7 cm, no es algo general, sino que presumiblemente dependerá de otras variables como el tamaño y peso de las fichas.

Por otra parte, los puntos experimentales, salvo el que corresponde a la 4ª medida realizada (para $x = 3$ cm), que se desvía algo de la tendencia general, parecen ajustarse a una función de tercer grado. Sin embargo, lo razonable es que los alumnos presenten ese resultado como una posibilidad, pero no deberían establecerlo como una conclusión segura, por diversos motivos: el número de puntos que se dispone es demasiado pequeño, y el margen de error de esos puntos es demasiado grande, como para poder asegurar que el fenómeno está regido por una determinada función.

Los alumnos deben reflexionar sobre los puntos débiles de la experiencia, los que introducen más errores en la misma. En este caso, la medida del tiempo que tarda en propagarse el efecto dominó es el punto más débil, pues a pesar de haber utilizado un número suficiente de fichas (dos juegos: 56 fichas) el tiempo a medir es de unos pocos segundos y es bastante probable cometer errores importantes. Los alumnos realizaban esas medidas con un cronómetro que apreciaba hasta centésimas de segundo, no obstante, los reflejos para apretar el botón en los instantes precisos, por muy buenos que sean, aconsejan tomar un margen de incertidumbre de, por lo menos, medio segundo. En la tabla expuesta anteriormente, que corresponde al informe presentado por uno de los alumnos, asigna a esos tiempos un error de $\pm 0,10$ seg., claramente insuficiente dado el método cómo se hacían las medidas. De haber considerado una incertidumbre mayor, las barras de error de los puntos experimentales también serían mucho mayores, lo que nos reafirma aun más en lo dicho anteriormente, que la expresión analítica de la función matemática ajustada no es ni mucho menos una conclusión cierta.

Reflexionar sobre cómo mejorar los puntos débiles también es una actividad educativa que se exige a los alumnos. En este caso, aunque podamos concluir cualitativamente, que al ir aumentando la separación entre fichas, la velocidad del efecto dominó va aumentando hasta llegar a un máximo y luego disminuye, para poder mejorar el análisis cuantitativo de la función matemática que rige ese fenómeno habría que mejorar considerablemente las medidas de tiempo, utilizando un método en el que se introduzca menos error, por ejemplo, utilizando puertas fotoeléctricas. También, para cada separación, podría medirse la velocidad varias veces cambiando el número de fichas y comprobando que es independiente de dicho número. En fin, no se trata de que los alumnos mejoren las medidas, pues quizás no dispongan del material adecuado, sino que lo educativo es hacerles pensar en *cómo* podría hacerse.

Otro aspecto importante de este tipo de experiencias es la diferenciación clara entre física experimental y teórica. Algunos alumnos preguntan, o tratan de encontrar, una explicación teórica al hecho, comprobado por ellos, de la existencia de un máximo de velocidad para una determinada separación. Un desarrollo teórico complicado, basado en las leyes de la mecánica, podría llevarnos a tal conclusión. Incluso se podría llegar a deducir teóricamente la función matemática $v(x)$, pero, como es natural, no es de esperar que ese desarrollo teórico lo hagan alumnos de bachillerato (ni siquiera los profesores). Sin embargo, sirve para clarificar una característica del funcionamiento de la Ciencia: primero se experimenta y se observan hechos y luego se trata de encajarlos en el marco teórico existente en cada época histórica.

11º. Por último, otro aspecto que los alumnos deben aprender, es a redactar informes científicos, con el estilo y rigor propios de la ciencia. Como ya dijimos anteriormente, aunque hayan realizada la toma de datos en grupos de dos o tres alumnos, en el BI se le exige a cada uno de ellos un informe individual de la práctica realizada. Dicho informe debe contener, al menos, los siguientes tres apartados:

- Diseño de la experiencia.
- Obtención y procesamiento de datos.
- Conclusiones y evaluación de la experiencia.

Si algún alumno quiere ampliar el informe con otros apartados (introducción, fundamentos teóricos, etc) puede hacerlo, pero los tres anteriores deben estar presentes, pues serán la base de la evaluación.

En el apartado de *Diseño de la experiencia*, la idea que se les trata de transmitir es que el informe debe ser lo suficientemente escueto para que tenga claridad, pero con los detalles relevantes para que cualquier otro investigador, que lo lea, pueda reproducir la experiencia y obtener los mismos resultados. Se les invita a que en este apartado incluyan esquemas y fotos. Los alumnos suelen, a veces, pecar por exceso de detalles irrelevantes y omitir, o “pasar de puntillas”, por algo mucho más relevante como es el control de variables que han hecho, por ejemplo, mencionar el tamaño y peso de las fichas de dominó con las que se ha realizado la experiencia. No es que no hayan entendido el diseño de la experiencia que han realizado, o lo hayan hecho mal, es que les cuesta sintetizarlo y comunicar por escrito lo esencial.

El apartado de *Obtención y procesamiento de datos*, suele ser el que mejor hacen los alumnos, pues es el más mecánico. Aparte de algunos olvidos de unidades, o márgenes de incertidumbres inadecuados, una vez que han hecho la experiencia y han procesado los datos correctamente, enseguida se habitúan a presentarlos debidamente tabulados y a extraer del programa Graph todas sus posibilidades.

En cuanto al apartado de *Conclusiones y evaluación de la experiencia*, los alumnos suelen extraer conclusiones de acuerdo con sus resultados, pero tienen más dificultades para evaluar los puntos débiles de la experiencia y proponer posibles mejoras.

Respecto a los aspectos formales, se exige que presenten sus informes escritos con procesador de textos y con un aspecto claro, ya que algunos de ellos serán enviados a correctores de la IBO para la moderación de la evaluación interna. Curiosamente, a veces cuesta más enseñar a los alumnos a redactar adecuadamente el informe científico de la experiencia, que la realización de la experiencia propiamente dicha. En realidad, la destreza de redactar informes trasciende a la propia asignatura para conectar con el uso del lenguaje, la capacidad de sintetizar ideas y transmitirlos correctamente por escrito.

5. Otros ejemplos concretos de prácticas

Tras haber visto un prototipo de actividad experimental en la que los alumnos ponen en práctica habilidades de investigadores, es decir, aprenden a *ser científicos*, asalta enseguida la duda sobre la dificultad de encontrar más actividades con esas características. En realidad no es tan difícil, una vez que se ha roto el hielo y entra el “gusanillo” de la investigación, se puede plantear a los alumnos multitud de pequeñas auténticas investigaciones.

Debe tenerse siempre como objetivo que los alumnos realmente investiguen, que haya una pregunta clara a la que puedan dar respuesta haciendo medidas experimentales. Por ejemplo, mejor que comprobar la ley de Ohm con una práctica en la que se hable de la conocida ley y se proporcione un guión de los procedimientos a seguir, sería que, cuando los alumnos no tienen ni idea de dicha ley, tras haberles explicado cómo se mide la diferencia de potencial V y la intensidad de corriente I , proponer que investiguen la relación entre V e I . Es decir, es bueno a priori desvincular la investigación de lo explicado en clase (aunque posteriormente se relacione) por lo que, puestos a elegir, son mejores las experiencias, como la del efecto dominó, en la que la pregunta de la investigación ni se ha dado ni se va a satisfacer con las teorías de clase.

Las prácticas de tipo comprobatorio, para apoyar lo explicado en el aula, tienen su valor educativo y pueden cumplir un papel en un momento determinado, pero son más proclives a que los alumnos no apliquen destrezas investigadoras y se limiten a seguir instrucciones sin plantearse problemas. Además, suele ser frustrante que, después de todo, no se pueda comprobar la ley que se pretendía, pues la realidad siempre está afectada de más complejidades que la teoría.

A continuación presento una serie de experiencias concretas de las que se realizan en el BI. La mayoría de ellas proceden del *Material de ayuda al profesor del grupo cuatro: Ciencias Experimentales*, [5] que edita la organización IBO, otras son de propia iniciativa. A su vez, cada una de ellas puede tener distintas variantes respecto a la pregunta de la investigación que se hace a los alumnos. Por otra parte, no todas tienen las mismas características, las hay que no requieren casi ningún material específico de laboratorio, que los alumnos incluso pueden realizarlas en casa, otras pueden requerir determinado material y son más apropiadas para tomar datos en el laboratorio del centro; las hay que casi no requieren conocimientos teóricos, en otras hay que utilizar ciertos conocimientos; las hay en las que se ponen en juego casi todas las destrezas investigadoras, otras en cambio pueden ser apropiadas para desarrollar

sólo determinadas destrezas, etc. En cualquier caso, todas están planteadas para que los alumnos realmente investiguen y redacten un informe con los resultados de su investigación. Si esos resultados no son perfectos ni totalmente acordes con lo que debería salir según la teoría, es lo de menos, lo importante es que investiguen, extraigan conclusiones honestas de acuerdo a sus medidas experimentales y, luego, sean capaces de reflexionar sobre los puntos débiles de su investigación.

1. Investigar las salpicaduras cuando una bola cae en un recipiente lleno de agua. Hay diversas variables cuyas correlaciones se podrían investigar. Por ejemplo, el alumno podría preguntarse ¿qué relación existe entre la altura de caída de una bola y el alcance (medido desde el centro del recipiente) de las salpicaduras de agua?
2. Investigar la formación de cráteres al dejar caer una bola en una caja llena de arena o arcilla para modelar. Similar, pero diferente a la experiencia anterior. Hay diversas variables: tamaño y peso de la bola, altura de caída, características de la arena, profundidad del cráter, diámetro del cráter, etc. Se podría concretar una pregunta de investigación, tal como: ¿Cuál es la relación matemática entre la altura de caída de la bola y el diámetro del cráter?
3. Investigar los botes de una pelota. Hay una multitud de variantes de esta experiencia. Se pueden plantear diferentes preguntas, por ejemplo ¿hay una relación constante entre la altura de caída y la del rebote, en un rango razonable de alturas de caída? ¿qué relación matemática hay entre la altura de caída y el tiempo en rebotar seis veces? ¿qué factores, y cómo, influyen en la pérdida de energía mecánica cuando bota una pelota? Lo más difícil es medir la altura del bote de la pelota, lo cual puede hacerse, por ejemplo, grabando el movimiento en video delante de una escala graduada. Muchos alumnos en sus teléfonos móviles llevan dispositivos de grabación.
4. Investigar diversos factores que afectan a la deflexión de una regla apoyada en la mesa. Los alumnos pueden plantearse como hipótesis cuáles son esos factores, por ejemplo: el peso que se cuelga de la regla, la distancia de ese peso al borde de la mesa (donde la regla se fija con cinta adhesiva o cualquier otro método) y la longitud de la parte de regla apoyada en la mesa. Se puede encontrar la relación matemática entre cada una de esas variables y la deflexión del extremo de la regla, manteniendo controladas las otras dos variables en cada caso.
5. Investigar la velocidad con la que avanza una sombra. Los alumnos pueden plantearse la pregunta ¿la sombra avanza con velocidad constante, o varía a medida que se alarga? Pueden determinar experimentalmente la velocidad de la sombra (midiendo por ejemplo el tiempo empleado en avanzar 1 cm) y tratar de encontrar la relación matemática existente entre esa variable y la longitud de la sombra.
6. Investigar los factores que influyen en la distancia de frenado recorrida por un bloque, lanzado por una superficie horizontal, mediante una goma elástica. Se puede plantear estudiar la relación matemática existente entre dicha distancia y la fuerza del lanzamiento (medida directamente al sujetar el elástico con un dinamómetro), o con el peso del objeto lanzado, etc.
7. Investigación sobre el salto elástico (puenting). Dicho salto puede simularse de diferentes maneras: peso atado a una cuerda elástica, se deja caer libremente. Se puede investigar

alguno de los factores que pueden influir, por ejemplo, ¿que relación existe entre la altura máxima de rebote y la longitud de la cuerda elástica? De nuevo, la altura máxima de rebote se puede medir grabando en video el movimiento, para lo cual los teléfonos móviles de los alumnos, con dispositivos de grabación, pueden ser de gran ayuda.

8. Investigar el movimiento de un cuerpo en un fluido (aceite, glicerina, gel, etc). Hay que introducir el concepto de *velocidad límite*, la cual se puede medir experimentalmente dejando caer en los fluidos pequeñas bolitas que alcanzan enseguida dicha velocidad límite, que no es demasiado grande. Pueden plantearse diversas investigaciones sobre factores que afectan, por ejemplo, ¿cuál es la relación entre la velocidad límite y la temperatura del fluido? o ¿cuál es la relación entre la velocidad límite y el radio de la bola?
9. Investigar el tiempo que tarda en llegar a la superficie del agua un objeto que flota, soltado desde el fondo. Se puede plantear, por ejemplo, ¿cuál es la relación entre el tiempo de ascenso y el tamaño del objeto?
10. Investigar sobre globos. Por ejemplo, investigar la relación matemática entre el tamaño de un globo y el número de exhalaciones necesarias para inflarlo. En esta experiencia habría que buscar un método para producir exhalaciones siempre iguales y definir de forma más concreta la variable a la que nos referimos cuando hablamos del *tamaño del globo*. Otra opción más académica es estudiar la relación entre presión y volumen del globo, aunque en este caso haría falta un manómetro.
11. Investigar el alcance del chorro de agua al vaciarse un recipiente. Sea una botella con agua. Si a cierta altura se hace un pequeño agujero, el agua se verterá con un movimiento parabólico. Los alumnos pueden planificar una investigación para estudiar los factores que influyen en el alcance del chorro.
12. Determinar experimentalmente la constante universal de los gases. Esta práctica requiere conocimientos previos y no es una investigación como las otras, pero también desarrolla destrezas científicas. Puede servir una jeringa grande graduada colocada verticalmente, incrustada en un bloque de plastilina, con el émbolo hacia arriba. La temperatura del aire es la del ambiente y el número de moles encerrado puede determinarse previamente. Colocando distintas pesas sobre el émbolo vamos modificando la presión y el volumen a temperatura constante y, tras tabular los datos y llevarlos a una gráfica, debidamente linealizada (representar P frente a $1/V$), se determina el valor aproximado de R mediante la pendiente de la recta.
13. Investigar en los choques la relación matemática que existe entre el sonido producido y la masa, o también, entre el sonido y la velocidad del impacto. Esta experiencia requiere materiales como un sonómetro, o bien un micrófono conectado a un osciloscopio, para cuantificar de alguna forma la intensidad del sonido. Por lo demás hay que hacer medidas controlando variables: si se investiga la influencia de la masa habrá que procurar que los choques sean siempre a la misma velocidad; si se investiga la influencia de la velocidad, que los choques sean siempre con la misma masa.
14. Investigar cómo es la curva de enfriamiento de un líquido. Un líquido, por ejemplo un vaso de agua o de leche, con temperatura superior a la del ambiente va enfriándose hasta que su temperatura se iguala a la del ambiente. Se puede plantear la siguiente pregunta:

¿la diferencia de temperatura con respecto a la ambiental, va disminuyendo linealmente con el tiempo, o esa función no es lineal? ¿Cómo es esa función matemática?

15. Investigar el efecto sobre la temperatura al mezclar dos líquidos (café y leche, o agua y alcohol). Se pueden plantear diversas preguntas de investigación experimental. Una concreta podría ser la siguiente: *“Has calentado leche y café y cuando te dispones a mezclarlos llaman a la puerta. Al ir a abrir vas a tardar unos minutos y en cualquier caso se va a producir un enfriamiento. De cara a tomarte el café con leche lo más caliente posible, ¿qué te conviene más: mezclarlos y luego ir abrir la puerta, o por el contrario, mezclarlos después de abrir la puerta?”* Los alumnos deben definir las variables que influyen, controlar algunas de ellas, planificar las medidas de temperatura, etc.
16. Determinar experimentalmente el calor específico de un trozo de sólido. Al igual que la nº 12 esta práctica requiere conocimientos previos de calorimetría y no es una investigación como las otras, pero es una experiencia clásica en la que los alumnos no saben el resultado del calor específico buscado. Deben utilizar un calorímetro y aplicar el conocido método de las mezclas.
17. Investigar los factores que afectan al ritmo de evaporación. Los alumnos pueden plantear hipótesis sobre distintos factores: temperatura, superficie libre, naturaleza del líquido, etc. Esas serían las variables independientes. Por otro lado, deben definir cuantitativamente lo que llamamos *ritmo de evaporación* (masa evaporada / tiempo) como la variable dependiente. Se puede plantear encontrar la relación existente entre dicho ritmo de evaporación y alguna de las variables. Se precisa una balanza eléctrica de precisión.
18. Investigar factores que afectan a la velocidad de las ondas superficiales en el agua. La velocidad de las ondas se puede determinar experimentalmente en cualquier recipiente de agua, lo suficientemente amplio para poder medir el tiempo que tarde un frente de ondas en ir de un extremo al otro. No obstante, el material ideal sería una cubeta de ondas. Las preguntas que se pueden plantear son, por ejemplo: ¿Cómo afecta la concentración de sal? ¿Cómo afecta la profundidad?
19. Investigar factores que influyan en el índice de refracción del agua. En esta experiencia los alumnos necesitan el concepto de índice de refracción y poder medirlo experimentalmente. Dicha medida experimental es lo más complicado, pero puede conseguirse con habilidad, empleando un puntero láser y un recipiente con agua, al que se adhieran convenientemente papeles con escalas para poder determinar ángulos de incidencia y de refracción. Una vez conseguido, las preguntas pueden ser ¿Cómo influye la concentración de sal? ¿cómo influye la temperatura?
20. Investigar sobre pilas eléctricas construidas utilizando limones o patatas, junto con electrodos de diferentes metales. Se puede plantear, por ejemplo, la pregunta: ¿cómo afecta al voltaje la distancia entre los electrodos, qué relación matemática existe entre esas dos variables? Lógicamente, en esta experiencia se necesita un multímetro, cuyo manejo debe hacerse familiar para los alumnos en las prácticas de electricidad.
21. Investigar la conductividad de una disolución, y cómo se ve afectada por la concentración. Los alumnos deben conocer el concepto de conductividad y la forma de medirla experimentalmente. Se pueden plantear la pregunta ¿qué relación existe entre la

concentración de una disolución de sulfato de cobre y su conductividad? Para esta experiencia se necesita utilizar electrodos, cables, multímetros, etc.

22. Investigar propiedades eléctricas de determinados materiales: papel conductor, plastilina, etc. Los alumnos necesitan conocer la definición de resistencia eléctrica y su medida experimental como el cociente $\Delta V/I$. Utilizando una fuente de alimentación, cables, pinzas y multímetros, se pueden plantear preguntas como las siguientes: ¿Cuál es la relación entre la resistencia efectiva de un cuadrado de papel conductor y la superficie total del papel? ¿Cuál es la relación entre el diámetro de un cilindro de plastilina y su resistencia eléctrica?
23. Investigar factores que afectan a la fuerza de un electroimán. Los alumnos deben saber que una bobina, por la que circula corriente, para todos los efectos se comporta igual que un imán. La fuerza magnética que ejerce ese “electroimán” puede medirse experimentalmente, por ejemplo, acercándolo a un objeto metálico situado sobre una balanza de precisión y observando el cambio de peso que experimenta; también mediante el número de clips que puede soportar, etc. Los alumnos pueden plantearse las siguientes preguntas: ¿cuál es la relación entre la intensidad de corriente y la fuerza que ejerce el electroimán? ¿cuál es la relación entre el número de espiras de la bobina y la fuerza del electroimán? ¿cómo varía esa fuerza con la distancia? Lógicamente, esta experiencia requiere materiales de laboratorio: bobinas de diverso número de espiras, fuente de alimentación de voltaje variable, multímetros, balanza, etc.

Las anteriores experiencias tratan de ser un muestrario de posibilidades, que se puede ampliar indefinidamente con nuevas ideas sobre propiedades susceptibles de ser medidas e investigar relaciones entre variables. No hay que tener prevención a medir y experimentar con aspectos que pueden parecer imprecisos y que no conducirán a resultados claros y teóricamente correctos, pues lo importante aquí no es el resultado de la investigación (si sale “de libro” mucho mejor), sino el propio proceso de investigación experimental, la capacidad de hacer una evaluación crítica de sus puntos débiles y, por lo tanto, de la validez de los resultados obtenidos.

En ese muestrario se ha procurado una temática variada y con preguntase de investigación que sean novedosas y estimulantes para los alumnos. Por supuesto que pueden añadirse otras experiencias sobre situaciones más frecuentemente transitadas en los manuales de Física: movimientos uniformemente acelerados en planos inclinados, muelles y constates elásticas, péndulo simple, etc. Lo importante es que, sea la situación de estudio más común o más novedosa, en el planteamiento de la práctica debe procurarse propiciar que los alumnos investiguen y no que “sigan recetas”.

6. Evaluación de las actividades experimentales

Como ya se ha mencionado anteriormente, en el Bachillerato Internacional los alumnos deben dedicar un mínimo de 60 horas (repartidas entre los dos cursos) a realizar actividades prácticas. Estas prácticas son evaluadas por el profesor del centro, siguiendo una serie de criterios establecidos por la organización IBO, tras lo cual asigna una nota a cada alumno. Estas se conocen como “*notas de evaluación interna*”.

Según puede verse en la guía de la asignatura de Física [4], editada por IBO, hay cuatro criterios para que el profesor evalúe las prácticas:

- Diseño de la experiencia.
- Obtención y procesamiento de datos.
- Conclusiones y evaluación de la experiencia.
- Técnicas de manipulación.

A su vez, cada uno de esos criterios tiene tres aspectos, que se evalúan con 0, 1 ó 2 puntos, siendo la evaluación total del criterio sobre 6 puntos máximo. Las tablas siguientes muestran los detalles sobre la forma de evaluar cada uno de los criterios:

Tabla 2: Evaluación del criterio *Diseño de la experiencia (D)*

Nivel de logro Puntuación	<u>Aspecto 1</u> Definición del problema y selección de variables	<u>Aspecto 2</u> Control de las variables	<u>Aspecto 3</u> Desarrollo de un método de obtención de datos
Completamente Puntuación: 2	Enuncia un problema o pregunta de investigación concretos, e identifica las variables pertinentes.	Diseña un método que permite controlar eficazmente variables.	Desarrolla un método que permite obtener datos pertinentes y suficientes.
Parcialmente Puntuación: 1	Enuncia un problema o pregunta de investigación de forma incompleta, o solo identifica algunas de las variables pertinentes.	Diseña un método que permite controlar, en cierta medida, las variables.	Desarrolla un método que permite obtener datos pertinentes, pero no suficientes.
No alcanzado Puntuación: 0	No enuncia un problema o pregunta de investigación ni identifica variables pertinentes.	Diseña un método que no permite controlar las variables.	Desarrolla un método que no permite obtener datos pertinentes.

Tabla 3: Evaluación del criterio *Obtención y procesamiento de datos (OPD)*

Nivel de logro Puntuación	<u>Aspecto 1</u> Registro de datos brutos	<u>Aspecto 2</u> Procesamiento de datos brutos	<u>Aspecto 3</u> Presentación de los datos procesados
Completamente Puntuación: 2	Registra datos brutos apropiados, tanto cuantitativos como cualitativos asociados, incluyendo unidades y márgenes de incertidumbre en los casos pertinentes.	Procesa los datos brutos cuantitativos correctamente.	Presente los datos procesados de forma apropiada y, en caso pertinente, incluye errores e incertidumbres.
Parcialmente Puntuación: 1	Registra datos brutos apropiados, pero con algunos errores u omisiones.	Procesa los datos brutos cuantitativos, pero con algunos errores u omisiones.	Presenta los datos procesados de forma apropiada, pero con algunos errores u omisiones
No alcanzado Puntuación: 0	No registra datos brutos apropiados, o los datos brutos son incomprensibles.	No procesa los datos brutos cuantitativos o comete errores graves.	Presenta los datos procesados de forma inapropiada o incomprensible.

Tabla 4: Evaluación del criterio *Conclusión y evaluación (CE)*

Nivel de logro Puntuación	<u>Aspecto 1</u> Formulación de conclusiones	<u>Aspecto 2</u> Evaluación de los procedimientos	<u>Aspecto 3</u> Mejora de la investigación
Completamente Puntuación: 2	Enuncia una conclusión y la justifica, basándose en una interpretación razonable de los datos.	Evalúa los puntos débiles y las limitaciones.	Propone mejoras realistas en relación con las limitaciones y puntos débiles señalados.
Parcialmente Puntuación: 1	Enuncia una conclusión basándose en una interpretación razonable de los datos.	Señala algunos puntos débiles y limitaciones, pero no los evalúa o su evaluación es deficiente.	Sólo propone mejoras superficiales.
No alcanzado Puntuación: 0	No enuncia ninguna conclusión o la conclusión se basa en una interpretación de los datos que no es razonable.	Señala puntos débiles y limitaciones que no son pertinentes.	Propone mejoras que no son realistas.

Tabla 5: Evaluación del criterio: *Técnicas de manipulación* (evaluadas de forma sumativa)

Nivel de logro Puntuación	<u>Aspecto 1</u> Cumplimiento de las instrucciones.	<u>Aspecto 2</u> Aplicación de las técnicas	<u>Aspecto 3</u> Seguridad en el trabajo.
Completamente Puntuación: 2	Sigue las instrucciones con precisión y se adapta a nuevas circunstancias, buscando ayuda cuando la necesita.	Utiliza diversas técnicas y equipos de forma competente y metódica.	Presta atención a las cuestiones de seguridad.
Parcialmente Puntuación: 1	Sigue las instrucciones pero necesita ayuda.	Utiliza diversas técnicas y equipos de forma, por lo general, competente y metódica.	Por lo general, presta atención a las cuestiones de seguridad.
No alcanzado Puntuación: 0	Pocas veces sigue las instrucciones o necesita supervisión constante.	Utiliza diversas técnicas y equipos, pero pocas veces lo hace de forma, competente y metódica.	Pocas veces presta atención a las cuestiones de seguridad.

En todas las prácticas no es necesario evaluar todos los criterios. De hecho, el criterio de *técnicas de manipulación* se evalúa una única vez de forma sumativa, tras la observación de todas las prácticas realizadas por el alumno. Algunas experiencias pueden ser adecuadas para evaluar los tres criterios básicos (D, OPD y CE) y otras tan sólo para evaluar alguno de ellos. Lo que es preceptivo es que cada criterio básico sea evaluado, a lo largo de los dos años, un número mínimo de veces.

Las *notas de evaluación interna* que asigna el profesor, siguiendo los anteriores criterios, deben ser enviadas al centro de evaluación de Cardiff (Reino Unido), el 10 de abril del 2º año, como fecha tope. Tras la recepción de esas notas, dicho centro solicita información detallada de todos los trabajos prácticos realizados, el tiempo empleado en cada uno de ellos, las instrucciones dadas por el profesor, etc., así como una muestra aleatoria de los informes presentados por los alumnos. Esa muestra se envía, con fecha tope el 20 de abril, a correctores especialistas en Física de IBO (naturalmente, con conocimientos de español) que comprueban si la calificación se ajusta a los criterios establecidos, estandarizando y moderando las notas

de evaluación interna previamente introducidas, bien para subirlas todas o bajarlas todas en la misma proporción.

De cara a la obtención del diploma internacional, la nota de evaluación interna en Física contribuye con un 24% en la nota final de la asignatura. El otro 76% corresponde al examen (evaluación externa) que realizan en mayo del 2º año. El examen de Física consta de tres pruebas, de duración: una hora, dos horas y cuarto y una hora y cuarto, respectivamente, en las que se plantean preguntas de características muy variadas: tipo test de respuesta múltiple, cuestiones y problemas clásicos, desarrollos teóricos, supuestos experimentales, etc.

7. Conclusiones.

En primer lugar diré algo obvio, pero dada la tradición española de enseñanza científica en la que se pone el acento en lo teórico, conviene recordarlo: las prácticas no deben enfocarse como un refuerzo de la teoría, ni para afianzar leyes teóricas estudiadas. Para aprender conceptos y leyes ya están las imprescindibles explicaciones, la resolución de cuestiones y problemas tradicionales, etc. Las prácticas son fundamentalmente para aprender destrezas de investigación experimental, por lo que, puestos a elegir, resultan más adecuadas aquellas en las que se plantee algo cuya respuesta no tenga nada que ver con la teoría impartida y que verdaderamente *obliguen* a investigar.

Un plan de trabajos prácticos, para que los alumnos investiguen, no necesita de grandes medios materiales. En esta comunicación se ha puesto ejemplos de experiencias, muy productivas de cara a desarrollar habilidades investigadoras, que no requieren ningún material de laboratorio sofisticado, basta con lo que los alumnos tienen a su alcance en casa (más hoy día, que disponen de teléfonos móviles con cronómetros, dispositivos de fotografías y grabación de video, etc.). Por supuesto, que si se dispone de un laboratorio bien equipado las posibilidades son mayores, pero en absoluto es imprescindible. Sólo se necesita un poco de imaginación para encontrar preguntas de investigación a las que puedan dar respuesta los alumnos experimentalmente, y el empujón inicial para vencer la inercia y lanzarse a esa tarea.

Lo importante en las actividades experimentales de los alumnos es el propio proceso de investigación, que sean capaces de hacer una valoración crítica de los resultados obtenidos y del grado de validez de las conclusiones que emitan. Por lo tanto, no debemos desechar posibles investigaciones por el hecho de no poder hacer medidas suficientemente precisas para obtener unos resultados teóricamente correctos. Si la experiencia sale “de libro” mucho mejor, pero lo importante para nuestra intencionalidad didáctica no son los resultados en sí mismos, sino el proceso y su evaluación.

Lo que si es absolutamente imprescindible, y lo pongo con mayúsculas, es TIEMPO. Me refiero a un número de horas semanales de la asignatura suficiente, como para poder impartir el necesario programa teórico, resolver problemas, etc., a la vez que poder hacer investigaciones como las planteadas anteriormente. Si el tiempo es insuficiente, hay que optar por una de las dos opciones: dedicarnos a enseñar teoría y problemas a los alumnos, o dedicarnos a enseñarles destrezas investigadoras. Con escasez de tiempo cumplir con esas dos enseñanzas resulta inviable, aunque ambas sean necesarias para la formación científica.

En el caso del bachillerato español, dada la preponderancia que tiene la teoría, también de cara a la prueba externa de la selectividad, amén de otros factores como la tendencia del

profesorado, que a su vez, tuvimos poca formación investigadora, hacen que la balanza se decante claramente en impartir teoría y problemas, con el agravante de que la insuficiencia de tiempo ni siquiera permita hacer eso con garantías. Basta mirar al nivel de 1º de bachillerato, donde se dan 4 horas semanales para una asignatura que incluye dos materias, Física y Química, con un currículo prescrito muy completo en cuanto a contenidos y objetivos de formación científica (ya sabemos que “el papel lo soporta todo”), pero muy alejado del currículo real que se imparte en los centros, en los que me aventuraría a decir que, por término medio, no se cubre ni el 50% del currículo oficial prescrito. La distancia entre los currículos oficiales de ciencias y los currículos realmente aplicados en el aula, es algo que merecería la pena ser investigado.

Se habla mucho de la necesidad de impulsar en España la investigación científica, que es nuestra asignatura pendiente como país desarrollado, olvidar definitivamente aquella desafortunada frase de “que inventen ellos”. Para este fin, aparte de medidas aplicables a los investigadores ya existentes, no cabe duda que habrá que intentar producir para el futuro una mínima “masa crítica” de científicos, para lo cual habrá que empezar a sentar las bases en el bachillerato. Un bachillerato *de Ciencias*, que haga honor a ese nombre y que realmente pretenda iniciar a los alumnos en la investigación, lo primero que debe procurar es tiempo suficiente para las materias científicas. Hablo del Bachillerato, ese corto periodo de dos años que sirve de puente hacia la Universidad, pues quizás la Enseñanza Secundaria Obligatoria (ESO) tenga otros requerimientos dado su carácter obligatorio y generalista, aunque también en esa etapa la enseñanza científica tiene mucho que mejorar, según muestra el último informe PISA, y debería adaptar su currículo a las competencias científicas que propone dicho informe [1].

En el bachillerato español llamado “de ciencias”, de las 30 horas lectivas semanales se dedica entre 8 y 12 a materias científicas básicas, y el resto, entre 22 y 18 horas, a otros conocimientos que los alumnos de ciencias deben adquirir exactamente con la misma profundidad que los alumnos de letras: análisis sintácticos de oraciones complicadas, sintagmas, morfemas, historia del Mundo y de España de todas las épocas, reflexiones profundas sobre el pensamiento filosófico, etc. Todos esos conocimientos son muy interesantes y no trato de infravalorarlos, pero creo que para un Bachillerato *de Ciencias* podrían aligerarse, buscar lo verdaderamente instrumental y cultural, y adaptarse a un menor requerimiento horario que dejara tiempo para dar preponderancia a la formación científica. Nótese la asimetría que supone que a los alumnos de letras tan solo se les imparte, y no a todos, 4 horas semanales de unas matemáticas especiales adaptadas para ellos (aplicadas a las CCSS) y ahora 2 horas semanales de la nueva asignatura, Ciencia para el mundo contemporáneo.

En el Bachillerato Internacional es posible introducir a los alumnos en la investigación científica porque se dispone de tiempo suficiente para ello. Se imparte la Física separada de la Química, tanto en el primer curso como en el segundo, con un considerable aumento de horario semanal respecto al bachillerato español. Además, se dispone de materiales de apoyo para asimilar el tipo de actividades prácticas apropiadas para la intencionalidad didáctica de formación científica. Esos materiales de apoyo y el propio currículo están en continua revisión crítica, con aportaciones procedentes de todas partes del mundo. Se dispone también de un Centro Pedagógico en línea (CPEL), que permite estar en contacto con profesores de la misma asignatura de todo el mundo, intercambiando opiniones, materiales, experiencias, ideas, etc.

En un artículo de la revista *Enseñanza de las Ciencias* [6] se dice lo siguiente: “Una de las ventajas del BI es que - al tiempo que proporciona una sólida cualificación para los estudios superiores - constituye un laboratorio pedagógico permanente que, no sólo sirve a su propio desarrollo, sino que es un instrumento al servicio de los diversos sistemas nacionales. La flexibilidad de que dispone la Oficina del Bachillerato Internacional y su experiencia, basada en tipos muy diversos de escuelas y de tradiciones pedagógicas, la convierten en un dominio de investigación aplicada particularmente abierto. Con el interés y el apoyo que le conceden un número de países que crece sin cesar, el BI puede contribuir notablemente al progreso de las reformas pedagógicas”.

8. Referencias.

[1] CAÑAS, A; MARTÍN-DÍAZ, M.J; NIEDA, J. “¿Debería nuestro currículo adaptarse más a la competencia científica de PISA?”. En *Alambique* nº 57. Editorial Graó, Barcelona, 2008, pp 32-40.

[2] GARCÍA CAMARERO, E. “La ciencia y la enseñanza de las ciencias en España: un ejercicio de memoria histórica”. En *Enseñanza de las Ciencias*, Vol 26, nº 1. Edita ICE de la Universidad Autónoma de Barcelona, 2008, pp. 125-140.

[3] Graph 4.3. Disponible en: <http://www.padowan.dk/graph/> [Consulta: 3 septiembre 2008]

[4] IBO. “Guía de Física”. Edita el centro de currículo y evaluación, Cardiff (Reino Unido), 2007.

[5] IBO. “Material de ayuda al profesor del grupo cuatro: Ciencias Experimentales”. Edita el centro de currículo y evaluación, Cardiff (Reino Unido), 2007.

[6] RENAUD, G. “El Bachillerato Internacional y su enseñanza de las ciencias y de las matemáticas”. En *Enseñanza de las Ciencias*, Vol 3, nº 1. Edita ICE de la Universidad Autónoma de Barcelona, 1985, pp. 39-42.