

El trabajo conjunto del profesor de física y el de matemáticas. Una aplicación al estudio del movimiento ondulatorio y del sonido

Francisco Moreno Soto
I.E.S. "Zurbarán" (Badajoz)

INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas que encontramos en la asignatura Matemáticas II de 2º de Bachillerato es que, en muchas ocasiones, la temporalización de la materia no satisface las necesidades de uso de herramientas matemáticas en otras disciplinas como la Física. En este nivel, tampoco podemos pasar por alto la dificultad que los alumnos encuentran con la asimilación de los conceptos matemáticos y su aplicación a otras áreas. Parece así evidente la necesidad de poner en marcha todos los recursos de los que disponemos, y en particular los relacionados con las TIC, para conseguir tanto una correcta asimilación del contenido matemático como su correcta extrapolación a otras materias, en aras a conseguir un proceso de enseñanza-aprendizaje de calidad.

Veamos con un ejemplo como podemos soslayar estos problemas. Para ello, exponemos a lo largo de este trabajo una unidad didáctica en la que con el uso de la **Pizarra Digital Interactiva**, el software libre **Graphmatica** y el programa **Ondas 2.1** trabajaremos el Análisis de funciones y aplicaremos lo aprendido en el estudio del movimiento ondulatorio y el sonido.

Con el objetivo de buscar soluciones tanto al problema de la temporalización, como al de la extrapolación de los conocimientos matemáticos desarrollaremos esta unidad de forma conjunta con los compañeros del Departamento de Física y Química. La unidad didáctica está organizada de modo que en cada sesión los alumnos trabajen la unidad durante dos horas seguidas: la hora de Matemáticas y la de Física, evitando así un retraso con respecto a la temporalización general del curso

LA IMPORTANCIA DEL TRABAJO CONJUNTO

El peso de las evidencias y las conclusiones de múltiples estudios señalan con claridad y contundencia que el trabajo colaborativo entre profesores constituye uno de los más determinantes criterios de calidad. Estudios como los de Muñoz-Repiso y otros (1995), en el contexto español, refuerzan estas tesis. Son múltiples las evidencias e indicios que avalan la certeza de la afirmación anterior. Así, la idea y la necesidad del trabajo entre enseñantes que comparten la educación de un contingente de alumnos en el mismo establecimiento escolar, basado en la colaboración, se justifica por numerosos motivos. Algunos, aunque no siempre considerados en nuestras prácticas como enseñantes, conviene recordarlos aunque son bien evidentes y de sentido común:

- La acción sinérgica suele ser más efectiva y eficaz que la acción individual o que la simple adición de acciones individuales. Mediante la colaboración parece más factible mejorar las ayudas pedagógicas que proporcionamos a nuestros estudiantes, ofrecer una oferta educativa más completa.
- La colaboración mediante el trabajo en equipo permite analizar en común problemas que son comunes, con mayores y mejores criterios.

A estas razones habría que añadir una que parece fundamental: la colaboración mediante el trabajo en equipo es un objetivo en la educación escolar. Los currículos que se desarrollan en la totalidad de los países democráticos recogen con claridad el encargo que tienen los enseñantes de capacitar a sus alumnos para esas tareas. Como consecuencia, si los profesores no damos ejemplo de trabajo colaborativo mediante prácticas basadas en el trabajo en común, la coordinación y la ayuda mutua, difícilmente podremos ser creíbles y conseguir las capacidades que, en ese sentido, parece que deberíamos pretender en los alumnos.

Al referirnos a trabajo colaborativo, queremos designar la acción de obrar conjuntamente con otro u otros con el propósito compartido de alcanzar un mismo fin. La acción de colaborar puede desarrollarse entre diversos estamentos: profesorado, alumnado, padres y madres; entre servicios: inspección, servicios psicopedagógicos de apoyo a los centros...; entre centros educativos, etc. En este caso, la colaboración entre docentes, es un modo de trabajar de dos o más personas, compartiendo recursos, para alcanzar unos propósitos específicos durante un período de tiempo determinado, que tiene como características y requisitos principales los siguientes:

- i) Es voluntario.
- ii) Está establecido en términos de colegialidad, entre iguales; no existe predominio por parte de ninguno de los agentes; en igualdad de condiciones independientemente de rangos jerárquicos o situaciones administrativas.
- iii) Se basa en la lealtad y en la confianza recíprocas.
- iv) Implica, por tanto, un determinado planteamiento ideológico (ausencia de jerarquías, equidad, igualdad entre participantes, voluntad de transformación y mejora...) (*Hall y Wallace, 1993*).

- v) Supone, a diferencia de la simple cooperación, realizar en común, participativamente, el diseño de lo que se pretende alcanzar o desarrollar; acordar la metodología de trabajo y discutir y evaluar en común el proceso y los resultados.

Un equipo de trabajo consiste en un grupo de personas trabajando juntas las cuales comparten percepciones, tienen una propuesta en común, están de acuerdo con los procedimientos.

EL PROGRAMA GRAPHMÁTICA Y LA PIZARRA DIGITAL INTERACTIVA (PDI)

Graphmática

Es una aplicación informática de carácter matemático especialmente diseñada para graficar funciones. Algunas de las características que presenta son:

- Automáticamente determina el tipo de gráfico que colocamos basándose en las variables usadas
- Reconoce dominios de ecuaciones, si los incluimos.
- Ajusta la razón x/y cuando modificamos el rango de los ejes o cambia el tamaño de la ventana de gráficos para que se mantenga el aspecto apropiado del gráfico.
- Soporta inecuaciones cartesianas.
- El procesador de ecuaciones sigue las reglas matemáticas: multiplicación implícita, librería completa de funciones matemáticas, y no es necesario aislar variables antes de graficar.
- También es posible realizar cálculo numérico y simbólico: derivadas, integrales y puntos críticos de cualquier función cartesiana.

La Pizarra Digital Interactiva

Cada vez existe mayor número de recursos tecnológicos en las aulas y uno de los más utilizados es el videoprojector. Un paso más en esta tecnología son las **Pizarras Digitales (PD)** y las **Pizarras Digitales Interactivas (PDI)**, que aporta mayores ventajas.

La PD es sistema tecnológico, generalmente integrado por un ordenador y un videoprojector que permite proyectar en una superficie plana contenidos digitales en un formato idóneo para visualización en grupo.

La “Pizarra Interactiva”, también denominada “Pizarra Digital Interactiva”(PDi) consiste en un ordenador conectado a un videoprojector, que muestra la señal de dicho ordenador sobre una superficie lisa y rígida, sensible al tacto o no, desde la que se puede controlar el ordenador, hacer anotaciones manuscritas sobre cualquier imagen proyectada, así como guardarlas, imprimirlas, enviarlas por correo electrónico y exportarlas

a diversos formatos. La principal función de la pizarra es, pues, controlar el ordenador mediante esta superficie con un bolígrafo, el dedo -en algunos casos- u otro dispositivo como si de un ratón se tratara. Es lo que nos da interactividad con la imagen y lo que lo diferencia de una pizarra digital normal (ordenador + proyector).

Ventajas de su uso conjunto

- Haciendo uso de Graphmatica junto con la Pizarra Digital Interactiva podemos exponer con claridad, rapidez y precisión gran parte del tema de funciones y gráficas que nos ocupa. - Es un elemento motivador para el aprendizaje de los alumnos, aumentando sus aportaciones en clase, la atención y retentiva de éstos gracias a su mayor participación.
- Aumenta la comprensión: permitiendo mostrar más ejemplos para comentar y además permite visualizar conceptos y procesos complejos, difíciles o imposibles de exponer en clase con la pizarra tradicional.
- Se pueden preparar clases mucho más atractivas y documentadas, permitiendo guardar los materiales que se van creando. Esto también es fuente de motivación para el docente, además de obtener mejores resultados de sus alumnos.
- Ayuda en Educación Especial, pudiendo compensar problemas de visión (en la PDI se puede trabajar con caracteres grandes), audición (la PDI potencia un aprendizaje visual), coordinación psicomotriz (en la PDI se puede interactuar sin ratón ni teclado)...

Vamos a aprovechar estas características para representar con el programa **Graphmatica** un sistema de ejes cartesianos y, con la PDI, interactuar directamente sobre la superficie de proyección. El objetivo es desarrollar el tema de funciones mediante el lenguaje de las gráficas con ayuda de los recursos TIC mencionados.

EL SOFTWARE ONDAS 2.1.

Esta herramienta se dirige fundamentalmente al alumnado y a docentes del último curso de la Educación Secundaria, como un complemento de las clases y de las prácticas y experiencias respecto a la Física Ondulatoria, con la que se pretende, de forma cualitativa:

- Comprender los aspectos básicos de la interferencia mediante la superposición de pulsos.
- Analizar algunos de los parámetros que intervienen en el movimiento ondulatorio.
- Modelizar dos fenómenos típicamente ondulatorios: la interferencia y la difracción.
- Dar una visión única de la interferencia y la difracción, independientemente de la naturaleza del movimiento ondulatorio.

- Completar la información de la interferencia y difracción de las experiencias con la cubeta de ondas y el láser a través de gráficos de la perturbación total y del cuadrado de la amplitud.
- Comprender el concepto de Paquete de ondas y su importancia en la formulación de la mecánica cuántica.

Las modelizaciones que se proponen en los distintos módulos están limitadas al análisis del movimiento ondulatorio en una y dos dimensiones.

Desde un punto de vista físico, el objetivo del programa es facilitar la manipulación de los fenómenos ondulatorios mencionados, en ocasiones a expensas de la precisión, es decir, se trata de una herramienta didáctica y no de un simulador.

EL SISTEMA EDUCATIVO EXTREMEÑO

“Tras quedarse fuera de todas las revoluciones, Extremadura no podía dejar pasar de largo también la tecnológica”. Esta premisa que fue la que motivó al Gobierno autonómico a implantar un plan de informatización de la enseñanza en 2002. La apuesta fue total: equipos informáticos, conexión a internet, formación al profesorado y, lo más destacado, el desarrollo -por primera vez en España- de un sistema operativo específico para la educación basado en software libre, el GNU LinEx, que después copiarían Andalucía, Valencia, Madrid o Castilla-La Mancha.

El sistema educativo extremeño cuenta con más de 70.000 ordenadores. El 99% usa exclusivamente programas de código abierto, totalmente gratuitos. Además, el desarrollo y el mantenimiento de LinEx es asumido directamente por la Administración para eliminar los límites económicos en el acceso a las tecnologías. De hecho, se asignó un funcionario técnico a cada centro para administrar la intranet

UN PASO POR DELANTE: LAS AULAS EXTREMEÑAS YA TIENEN PORTÁTILES

El anuncio del Ministerio de Educación de dotar con portátiles a los alumnos de 5º de Primaria el curso 2009-2010 cayó “muy de sorpresa”. En Extremadura, ya disponemos de portátiles en todos los institutos

UNIDAD DIDÁCTICA

Pasemos ahora a describir la unidad didáctica de la que estamos hablando

Caracterización de funciones.

Aplicación al estudio del movimiento ondulatorio y del sonido

IDENTIFICACIÓN / CONTEXTUALIZACIÓN

Asignaturas: Matemáticas II y Física

Nivel educativo y curso: 2º de Bachillerato.

Temática concreta: Análisis de funciones. Movimiento ondulatorio. Estudio del sonido.

Objetivos:

- Comprender y aplicar los conceptos y procedimientos matemáticos propios del Análisis de funciones a otras ciencias.
- Emplear los recursos aportados por las tecnologías actuales (PDI, Graphmática) para obtener y procesar información, facilitar la comprensión de fenómenos dinámicos, ahorrar tiempo en los cálculos y servir como herramienta en la resolución de problemas.
- Reforzar el aprendizaje de conceptos y procedimientos propios del análisis de funciones, especialmente de las funciones sinusoidales.
- Reforzar el aprendizaje de conceptos y procedimientos propios de las ondas y el sonido.
- Manejar la experimentación y la modelización asistidas por ordenador de fenómenos físicos (sonido, ondas).
- Dinamizar el estudio de este tema complementando sus aspectos abstracto y formal con representaciones visuales y auditivas.

Duración de la actividad: 5 sesiones.

Número de alumnos y características:

Grupo reducido de alumnos de 17 a 18 años, de un instituto de enseñanza secundaria. Todos disponen de ordenador en sus casas y tienen acceso a los programas que utilizaremos. También disponemos de un ordenador portátil por alumno en el laboratorio

Pizarra digital utilizada:

Se utiliza la pizarra digital interactiva fija montada en el laboratorio de Física y un portátil con los programas y archivos de imágenes y sonidos previamente cargados. También es necesario acoplar un micrófono normal de PC, y como reproductor de sonido, el altavoz del portátil, o uno conectado a él, dado el reducido número de alumnos.

Recursos:

- Libro de texto y cuaderno de apuntes y ejercicios, como en una clase habitual.
- Graphmática Es una aplicación informática de carácter matemático especialmente diseñada para graficar funciones
- Programa ONDAS 2.1. (<http://eureka.ya.com/explorar>). Se trata de un simulador sencillo que presenta modelizaciones de fenómenos ondulatorios producidos por ondas armónicas (propagación, interferencia, difracción, etc.).
- Programa *Creative Wave Studio* (CTWAVE 32: disponible en el *software* asociado a la tarjeta de sonido Sound Blaster).
- Algunos archivos de imágenes, texto o sonidos para utilizar en las sesiones relacionadas con el tema seleccionado.

DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD

Breve descripción:

Comenzamos el curso por el bloque de Análisis para evitar el problema que señalamos en la introducción respecto a la temporalización de los contenidos de las materias Matemáticas y Física. Así durante una serie de sesiones, que abarca parte del primer trimestre, estudiamos los conceptos de límites, continuidad, derivadas, propiedades de las funciones derivables y aplicaciones de la derivada. Una vez trabajado el bloque de Análisis, procedemos a desarrollar las sesiones en las que aplicamos los conceptos estudiados anteriormente a la descripción del movimiento ondulatorio y del sonido.

El profesor de Matemáticas dedica dos de estas sesiones a que el alumno se familiarice con las características esenciales del programa Graphmática y a la aplicación de las mismas al estudio de funciones sinusoidales. Algunas de las características esenciales de este software han sido enumeradas anteriormente.

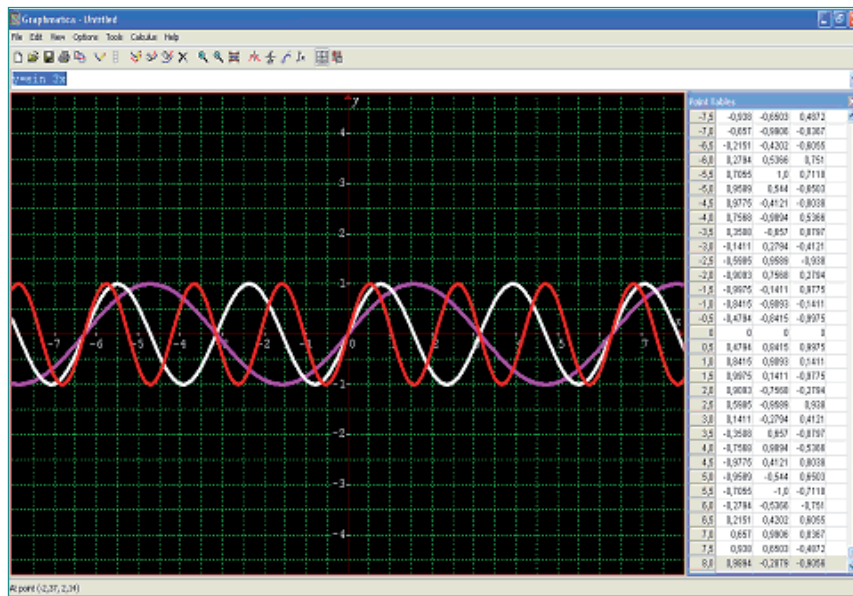


Figura 1

Posteriormente, dedicamos tres sesiones a la aplicación de lo estudiado en la clase de Matemáticas al estudio del movimiento ondulatorio y del sonido. Estas tres sesiones se desarrollan conjuntamente con el profesor de Física. Para ello, en una primera sesión se presenta ante los alumnos una serie de modelizaciones de fenómenos propios de las ondas armónicas que tienen que ver con su propagación e interferencia. Con ayuda del programa ONDAS, se muestran los gráficos elongación-posición de las ondas individuales, de su superposición y del cuadrado de la amplitud (intensidad), evolucionando con el

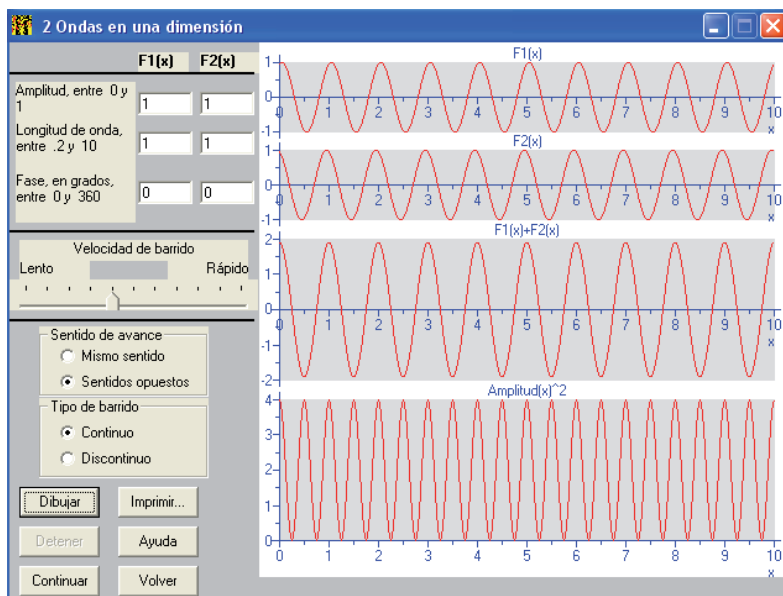


Figura 2.

tiempo. Durante la actividad, tanto el profesor de Física como el profesor de Matemáticas explican el significado de los gráficos y proponen a los alumnos preguntas y sugerencias para comprobarlas a continuación. Véase Figura 2.

Las sesiones segunda y tercera se desarrollan mientras se trata el tema del sonido. En las explicaciones preliminares se utiliza la pizarra digital para ilustrar las explicaciones de los profesores con algunos esquemas e imágenes fijas (curvas habituales en el tema, características principales de estas, percepción del sonido, fuentes de sonido, diagrama de audición, etc.) y posteriormente volvemos a recordar como podemos utilizar el programa Graphmática para construir esas curvas.

A continuación se utiliza el programa CTWAVE 32 para grabar sonidos directamente o procesar archivos de sonido previamente grabados y analizar los parámetros de su onda sonora, como la frecuencia, amplitud, o su composición armónica. Esto permite medir las características de los sonidos y relacionarlas con las propiedades percibidas por el oído

Listado de actividades propuestas a los alumnos:

1. Representación de curvas

— El docente facilita un documento a cada alumno en el que haya ejercicios del tipo siguiente:

De acuerdo con el teorema de Fourier, “cualquier función periódica puede expresarse como suma de una serie de funciones seno y coseno” (en casos particulares, sólo

de senos o sólo de cosenos). La utilidad de este teorema estriba en que permite reducir el análisis del movimiento ondulatorio al de las ondas sinusoidales. Así, si tenemos un movimiento ondulatorio de ecuación $y = f(x - v \cdot t)$, es posible considerarlo formado por la superposición de los movimientos ondulatorios que corresponden a los términos de la serie trigonométrica en que podemos descomponer la función dada. Además, si no se conoce la ecuación del movimiento ondulatorio pero se dispone de una representación gráfica del mismo pueden determinarse sus componentes por medios mecánicos.

Como ejemplo de una serie de Fourier, la onda rectangular representada en la figura (a) puede obtenerse como suma de la serie:

$$y = A \cdot \text{sen } x + 1/3 A \cdot \text{sen } 3x + 1/5 A \cdot \text{sen } 5x + \dots$$

En la figura (b) se han representado los tres primeros términos de esta serie, y en la (c) su suma. Obsérvese que, con sólo sumar tres términos, la serie sinusoidal ya se aproxima a la forma de la onda dada.

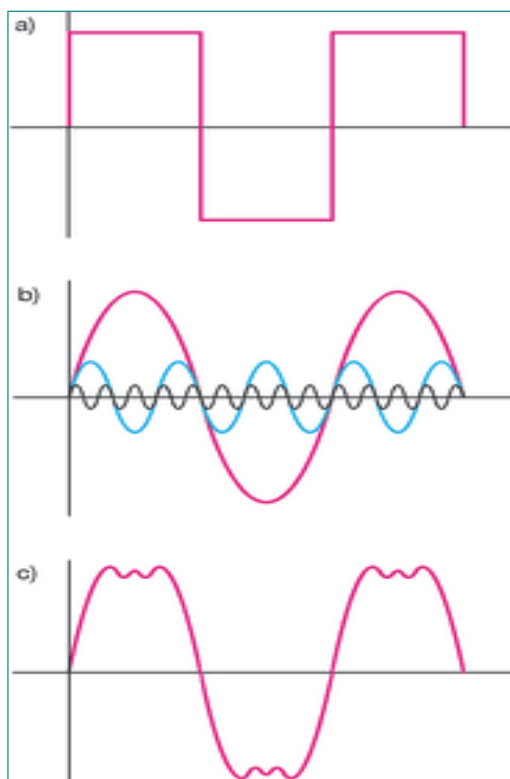


Figura 3.

Lleva a cabo este estudio con Graphmática

II. Modelización de fenómenos ondulatorios con el programa ONDAS:

— Observación de pulsos y ondas armónicas en una o en dos dimensiones: se representan frente al espacio la evolución en el tiempo de ondas individuales, de su superposición, y del cuadrado de su amplitud (mapa de intensidad). Se analiza matemáticamente lo observado.

Se estudia el efecto producido al cambiar los parámetros de cada onda (longitud de onda, fase inicial, velocidad y amplitud).

— Proyección del vídeo AVI del mismo programa que muestra la interferencia de dos ondas circulares superficiales y su mapa de intensidades, que permite comprender la interferencia de las ondas en la superficie de un estanque.

III. Análisis de sonidos con el programa CTWAVE 32:

— Medida experimental de la frecuencia, amplitud y periodo de un sonido cualquiera a partir del registro de su onda sonora. Relación con las representaciones gráficas previamente obtenidas

— Relacionar sonoridad, tono y timbre de un sonido con los parámetros de su onda: amplitud, frecuencia y complejidad armónica. Por ejemplo, comparando varias notas en varios instrumentos musicales.

Papel de los alumnos:

Los alumnos participan desde sus asientos proponiendo y llevando a la práctica cambios o modificaciones en las simulaciones, o discutiendo entre todos cuestiones que surjan durante la actividad ante lo visto en la pantalla. También participan más activamente, por turno, produciendo y grabando frente al ordenador los sonidos propuestos por el profesor o ellos mismos, para analizar a continuación, con la ayuda del profesor de Matemáticas, los gráficos obtenidos en la pantalla. El docente invitará a algunos alumnos o alumnas a proyectar sus resultados al grupo y, si se dispone de pizarras individuales (TabletPC), el alumnado puede resolver sus ejercicios al grupo desde cada mesa (En la enseñanza pública esto es, a día de hoy, una utopía).

Papel del profesor:

El profesor dirige la actividad demandando la participación y avivando el interés de los alumnos (cada uno en su área). Explica la estructura y manejo básicos del programa. Mientras explica los conceptos básicos, muestra la simulación de los mismos. Propone retos, formula preguntas y anima a los alumnos a que comprueben las respuestas en ese mismo instante, experimentando frente a su ordenador o frente a la pizarra digital (Esto último implica una cierta familiarización con el uso de este recurso). También emplaza a los alumnos a que sigan investigando más posibilidades en el ordenador de sus casas.

Evaluación de la actividad:

La evaluación se basa en una encuesta informal a los alumnos acerca de qué les ha aportado esta actividad, y en los resultados de la prueba escrita en la que se evalúan todos los contenidos del bloque de Análisis (Matemáticas) y del bloque de vibraciones y ondas (Física).

También evaluamos los resultados, teniendo en cuenta tanto la destreza en el manejo de los recursos como la correcta asimilación de la materia curricular. Por ello conviene que los resultados de los ejercicios que han resuelto los alumnos queden almacenados para que el docente los pueda revisar después o que cada alumno resuelva un ejercicio en la última sesión para poder comprobar la adquisición de conocimientos.

CONCLUSIONES

Una experiencia docente como la que acabamos de exponer no estaría completa sino se exponen los resultados de la misma. Una de las maneras de cuantificar dichos resultados es la de observar las calificaciones obtenidas en las dos materias implicadas. Así, a continuación se expondrán los resultados obtenidos en las pruebas de evaluación correspondientes al bloque de Análisis en Matemáticas II y al estudio de las ondas en Física.

2008/2009		2010/2011		2011/2012	
Matemáticas II	Física	Matemáticas II	Física	Matemáticas II	Física
5	4,6	8	9,4	7	7,8
2	3,9	4	4,1	2	4,4
1	3,4	4	6,5	2	9
1	5,2	4	3,6	4	5,2
6	6,3	9	9,6	9	9,6
8	8,9	9	9,1	10	9,6
		3	2,2	7	8,3
				8	8,5
				6	7,3
Nota Media	Nota Media	Nota Media	Nota Media	Nota Media	Nota Media
3,8	5,4	5,9	6,4	6,1	7,7

Tabla 1. Comparativa de notas

Los primeros resultados, curso 2008/2009, reflejan las notas de ambas materias antes de llevar a cabo la experiencia descrita en este trabajo (Muestra control). Los siguientes, curso 2010/2011, se corresponden con los del primer año que se llevó a cabo la experiencia. Por último, los del curso 2011/2012 se refieren al último año en el que se ha llevado

a cabo esta experiencia y en el que ya se han corregido algunos de los fallos detectados en el curso anterior durante el desarrollo de la misma¹.

Veamos que conclusiones obtenemos de los datos anteriores

1) Tanto en Matemáticas como en Física observamos una mejora de los resultados obtenidos. Si nos centramos en la evolución de las notas medias a lo largo de los cursos

Matemáticas: $3.8 < 5.9 < 6.1$

Física: $5.4 < 6.4 < 7.7$

vemos que:

- Claramente los resultados mejoran respecto al año control en el que aun no se había llevado a cabo la experiencia
- En el último curso, 2011/12, los resultados son mejores que en el 2010/11, primer año en el que se había llevado a cabo la experiencia
- Los resultados en Física son siempre mejores que en Matemáticas

2) Si observamos la nube de puntos construida con los datos obtenidos, esta refleja claramente una correlación lineal positiva entre los resultados en ambas materias.

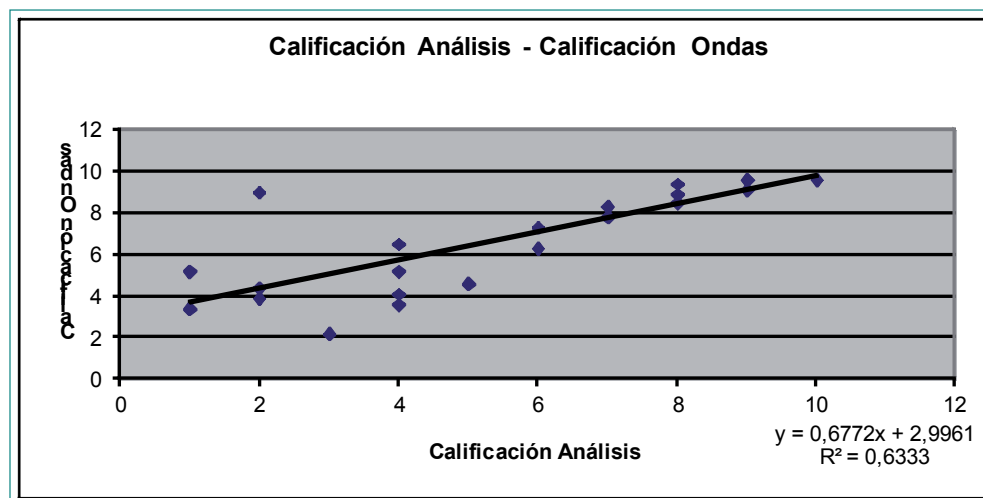


Figura 4.

Si llevamos a cabo un ajuste lineal obtenemos un coeficiente de determinación $R^2 = 0,6333$. En este tipo de ajuste este coeficiente coincide con el coeficiente de correlación lineal, por lo que tenemos $r^2 = 0,6333$ o equivalentemente $r = 0,796 \approx 0,8$, lo que indica una correlación lineal positiva bastante fuerte

Por tanto, podemos concluir que la mejora en la asimilación de conocimientos en el bloque de Análisis en Matemáticas lleva asociada una mejora evidente en este campo de la Física dedicado a las ondas.

1. Los profesores encargados de desarrollar esta experiencia han sido los mismos durante los tres cursos

Esta conclusión conduce a pensar que el planteamiento de experiencias docentes como la expuesta en este trabajo pueden resultar de interés para el logro del objetivo planteado: “una mejora en la asimilación de los conceptos matemáticos y en su extrapolación a otras materias, mediante el trabajo conjunto e interdisciplinar y el uso de las TIC”

Valoraciones

Ventajas que aporta el uso de la pizarra digital:

Los alumnos se muestran mucho más motivados y participativos que en una clase habitual. También pueden mostrar interés por seguir investigando en el ordenador de sus casas aspectos relacionados con lo visto en la clase. Con esta unidad didáctica se persigue la integración, muy interesante desde el punto de vista didáctico, de la explicación del profesor, el trabajo conjunto de profesores de varias materias, la resolución de ejercicios, el trabajo de laboratorio y la discusión en grupo.

REFLEXIÓN FINAL

Con esta experiencia se puede comprobar que la pizarra digital es una herramienta didáctica muy potente en la enseñanza de las ciencias experimentales. En especial, permite ayudar al alumno a asimilar fenómenos difíciles de comprender si se recurre sólo a palabras o al formalismo matemático, como puede ser el de las ondas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Calviño, F. (1998): *Mecánica Cuántica. Carácter ondulatorio de la materia*. Disponible en http://sisps5.upc.es/Docencia/FisicaModerna/Ondas_de_Materia/
- Franco, A. (1999): *Física con ordenador (Movimiento ondulatorio)*. Disponible en <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/default.htm>
- Hall, V. y Wallace, M. (1993). Collaboration as a Subversive Activity: a professional response to externally imposed competition between schools? *School Organisation*, 13(2), 101-117.
- Ministerio de Educación. ITE. (2012) “*TIC en el Área de Matemáticas*”
- Marquès, P. (2006). *La pizarra digital en el aula de clase*. Barcelona. Grupo EDEBÉ
- Muñoz-Repiso, M. y otros (1995). *Calidad de la educación y eficacia de la escuela. Estudio sobre la gestión de los recursos educativos*. Madrid: CIDE. Ministerio de Educación y Ciencia.
- ONDAS 2.1. 2000-2002 © Pedro Rodríguez Lorca. La Coruña. España
- Tipler, P. (1989) *Física moderna*, Reverté, Barcelona.
- Villasuso, J. (1999) *Temas de Física con Java (Ondas)*. Disponible en http://members.es.tripod.de/pefeco/ondas0_indice.htm