



**MEMORIA DE LAS ACCIONES DESARROLLADAS
PROYECTOS DE MEJORA DE LA CALIDAD DOCENTE
VICERRECTORADO DE PLANIFICACIÓN Y CALIDAD
X CONVOCATORIA (2008-2009)**



❖ **DATOS IDENTIFICATIVOS:**

Título del Proyecto

COMPLEMENTOS PEDAGÓGICOS PARA LA ENSEÑANZA DE LA TEORÍA CUÁNTICA EN FÍSICA Y SU ADECUACIÓN A LA METODOLOGÍA DEL ESPACIO EUROPEO DE EDUCACIÓN SUPERIOR

Resumen del desarrollo del Proyecto

A lo largo de la ejecución del proyecto se han desarrollado diversos recursos pedagógicos que han pretendido promover un conocimiento más profundo de la teoría cuántica que el que se consigue mediante los métodos tradicionales de enseñanza. Entre estos recursos pedagógicos se encuentran el desarrollo de simulaciones en JAVA, el desarrollo de una página Web sobre la teoría cuántica, viajes a distintos centros de investigación relacionados con las asignaturas de cuántica y el desarrollo de experimentos durante las clases.

Los alumnos han participado activamente en el desarrollo de algunos de los applets de JAVA. Los applets se han colocado en la página Web y son de dominio público. Los alumnos también han participado en el desarrollo de la página Web redactando artículos relacionados con la teoría cuántica y que se han colocado en la página en forma de Blog. La página se ha desarrollado utilizando el servidor de contenidos Joomla, que permite un acceso sencillo a su administración y un resultado muy vistoso, lo que estimula a los alumnos a visitarla.

El control de las visitas a la página se ha realizado utilizando la herramienta gratuita Google Analytics, que permite un análisis completo de las visitas que recibe la página: número de visitas, procedencia de las visitas, artículos más visitados, etc.

El desarrollo del proyecto ha sido un éxito, ya que la página ha recibido numerosas visitas de los alumnos y éstos están muy satisfechos con el trabajo que se ha desarrollado entre todos. La página, incluyendo todo su contenido (applets, apuntes, artículos, etc), constituye un material excelente que ha permitido un conocimiento profundo de la teoría cuántica por parte de los alumnos.

| | Nombre y apellidos | Código del Grupo Docente |
|-----------------------------|--|---------------------------------|
| Coordinador/a: | José Ignacio Fernández Palop Rut Morales Crespo | 082 082 |
| Otros participantes: | Jerónimo Ballesteros Pastor | 082 |

Asignaturas afectadas

| Nombre de la asignatura | Área de Conocimiento | Titulación/es |
|--------------------------------|-----------------------------|----------------------|
| Física Cuántica | Física Aplicada | Física |
| Mecánica Cuántica | Física Aplicada | Física |

MEMORIA DE LA ACCIÓN

Especificaciones

Utilice estas páginas para la redacción de la Memoria de la acción desarrollada. La Memoria debe contener un mínimo de cinco y un máximo de diez páginas, incluidas tablas y figuras, en el formato indicado (tipo y tamaño de fuente: Times New Roman, 12; interlineado: sencillo) e incorporar todos los apartados señalados (excepcionalmente podrá excluirse alguno). En el caso de que durante el desarrollo de la acción se hubieran producido documentos o material gráfico dignos de reseñar (CD, páginas web, revistas, vídeos, etc.) se incluirá como anexo una copia de buena calidad.

Apartados

1. Introducción (justificación del trabajo, contexto, experiencias previas etc.)

La teoría cuántica es una de las materias más difíciles de aprender, debido a un alto grado de abstracción y una gran complejidad matemática. Es fundamental el que los alumnos asimilen correctamente los conceptos de esta disciplina de la física, ya que la mayor parte de las asignaturas del segundo ciclo de la licenciatura de Física requiere de un conocimiento previo de la teoría cuántica. El presente proyecto se solicitó con la finalidad de desarrollar nuevos recursos pedagógicos que ayuden en la comprensión de la teoría cuántica. El proyecto se ha desarrollado en las dos asignaturas en las que se imparte la teoría cuántica en la licenciatura de Física, a saber, Física Cuántica de tercer curso y Mecánica Cuántica de cuarto curso.

El proyecto ha sido una extensión de proyectos similares desarrollados durante los últimos cursos académicos. En este nuevo proyecto se ha unificado todo el material desarrollado hasta el momento en el marco de las nuevas tecnologías en una página Web dedicada a la teoría cuántica. Esta página Web es de dominio público, de modo que toda la comunidad universitaria puede disponer del material desarrollado.

Entre los recursos pedagógicos que se han desarrollado para ayudar a asimilar la teoría cuántica se encuentran los applets en JAVA, redacción de artículos por parte de los alumnos, viajes a diversos centros de investigación y utilización de experimentos durante las clases.

Gracias al desarrollo de los Proyectos de Mejora de la Calidad Docente, disponemos cada año de un mayor número de recursos pedagógicos que facilitan el aprendizaje de la teoría cuántica.

2. Objetivos (concretar qué se pretendió con la experiencia)

Como objetivo principal del proyecto, se ha pretendido adecuar el uso de nuevas tecnologías a la enseñanza, y promover un acercamiento al nuevo sistema de transferencia de créditos europeos, mediante: trabajo individual y colectivo paralelo a las sesiones teóricas, seminarios, visitas a otros centros, participación de los alumnos cuando se encuentran fuera del aula, para potenciar la adquisición de las competencias TUNING, tanto transversales como longitudinales, según propugna el EEES.

A continuación se enumeran el resto de los objetivos específicos que se han perseguido mediante este proyecto:

- Comprobar la eficacia de utilizar simulaciones de procesos físicos mediante aplicaciones informáticas, como complemento a los métodos tradicionales de enseñanza.

- Estudiar si los alumnos asimilan de forma correcta los conceptos que se hayan impartido mediante el uso de las simulaciones desarrolladas.
- Promover el trabajo tanto individual como colectivo ayudando a desarrollar las aplicaciones.
- Analizar si los alumnos son capaces de redactar correctamente artículos relacionados con los avances actuales de la teoría cuántica y corregir los defectos y vicios que tengan en la redacción.
- Estimular la comunicación de los alumnos entre sí y con los profesores fuera del aula, mediante la participación en el Blog que se ha introducido en la página Web de la asignatura.
- Vincular al alumnado con la universidad cuando se encuentra fuera de ésta, mediante el uso de la página Web desarrollada.
- Ayudar a los alumnos a relacionar los conocimientos teóricos que adquieren en el aula con las experiencias reales que verán durante las visitas a otros centros y las experiencias de cátedra.
- Utilizar diversos experimentos de cátedra, durante la impartición de las clases, para ilustrar diversos fenómenos de la teoría cuántica.
- Disponer de un sistema completo de simulaciones de los diversos experimentos que ponen de manifiesto la teoría cuántica y hacer de dominio público dicho sistema, mediante una página Web, de modo que toda la comunidad universitaria, tanto de esta universidad como de otras universidades españolas y extranjeras, pueda tener un acercamiento a esta extraña disciplina de la física.
- Publicar los resultados obtenidos en esta experiencia, de modo que sean de dominio público y que el resto de la comunidad científica internacional los puedan aprovechar.

3. Descripción de la experiencia (exponer con suficiente detalle lo realizado en la experiencia)

El proyecto se ha desarrollado durante el curso académico 2008-09 y de forma paralela al desarrollo de las clases de las asignaturas de cuántica. Debido a que es el tercer curso en el que se desarrolla un proyecto de estas características, ya partíamos de material desarrollado y que se ha podido utilizar durante este curso. El material de que se disponía era un conjunto de applets desarrollados en lenguaje JAVA y material para desarrollar algunas experiencias de cátedra.

Uno de los primeros pasos que se han dado en el desarrollo de este nuevo proyecto ha sido unificar todo el material del que disponíamos en una página Web dedicada a la teoría cuántica. Con este fin, entramos en contacto con el Vicerrector de Tecnología de la Información y las Comunicaciones para estudiar el gestor de contenidos más adecuado para el desarrollo de la página. Este servidor de contenidos es Joomla, y es el que hemos instalado para administrar la página, que se encuentra alojada en los servidores de la UCO y cuya dirección es <http://www.uco.es/hbarra> (en referencia a la constante de Planck reducida). Una vez instalado Joomla, se ha organizado todo el material.

Desde principio de curso, se informó a los alumnos del proyecto y mostraron bastante ilusión, lo que ha permitido que los alumnos participen activamente.

Durante el presente proyecto se han desarrollado nuevas aplicaciones en JAVA, de modo que en la actualidad contamos con 50 aplicaciones, que cubren aproximadamente un 80% del contenido de la asignatura de tercero y una pequeña parte de la asignatura de cuarto. Las aplicaciones se han programado en el entorno Easy Java Simulations, desarrollado por el profesor Francisco Esquembre de la Universidad de Murcia.

La mayor parte de las aplicaciones han sido desarrolladas por los profesores responsables del proyecto y los alumnos han colaborado elaborando parte del material gráfico de las aplicaciones.

Las aplicaciones se han utilizado durante la impartición de las clases fundamentalmente de dos formas. La primera consiste en ilustrar un determinado fenómeno físico en clase utilizando la aplicación de la simulación correspondiente. De esta forma, los alumnos asimilan más fácilmente y con mayor profundidad el concepto que se pretende enseñar, ya que las aplicaciones permiten variar los parámetros de la simulación, lo que permite ilustrar distintas condiciones y analizar qué ocurre con el resultado de la simulación en cada caso. La segunda forma de utilizar las aplicaciones ha consistido en analizar una simulación concreta y que los alumnos la utilicen y obtengan datos concretos de la simulación. Para esta segunda forma, se han utilizado las Aula de Educación Interactiva de las que dispone la Facultad de Ciencias. De este modo los alumnos trabajan con la simulación como si fuera un experimento. Por último, como las simulaciones se encuentran alojadas en la página, los alumnos han tenido ocasión de visitarlas y trabajar con ellas cuando se encuentran fuera del aula.

Como se ha mencionado anteriormente, se está desarrollando una página Web dedicada a la teoría cuántica. Los alumnos han contribuido a la página mediante redacción de artículos relacionados con los últimos avances de la teoría cuántica. Estos artículos se han colocado en la página en forma de Blog, de modo que todos los alumnos pudieran leerlos y colocar comentarios sobre los mismos. Para que todos los alumnos participaran en la redacción de artículos, todas las semanas se encargaba la redacción de un artículo a uno o varios alumnos.

La siguiente imagen muestra el aspecto de la página.



Otro de los recursos pedagógicos que se han utilizado ha sido la visita a diversos centros de investigación que tuvieran alguna relación con la aplicación de la teoría cuántica. En esta ocasión fuimos a visitar distintos centros de Granada.

La primera visita que realizamos fue al Instituto de Astrofísica de Andalucía. En este centro se realizan diversas labores de investigación todas ellas enmarcadas dentro de la astrofísica. Una parte de las labores está orientada a la observación desde los observatorios que se encuentran en Andalucía. Otra parte está orientada a la construcción de instrumentos, tanto para los observatorios como para misiones espaciales. Al llegar nos ofrecieron una pequeña charla en la que nos informaron de las labores que desarrollan en el instituto y sobre las posibilidades de empleo que tienen los físicos en el instituto. Posteriormente visitamos los laboratorios en los que pudimos ver desde cómo se hace el diseño de un instrumento hasta su construcción final. También pudimos ver una réplica de uno de los instrumentos que se encuentra actualmente en la misión Rosetta. Los alumnos tuvieron la posibilidad de preguntar sobre todo aquello que les llamó más la atención de la investigación en astrofísica.



La segunda visita que realizamos fue al Laboratorio de Estudios Cristalográficos que se encuentra en Armilla, una población que linda con Granada. En el laboratorio recibimos una primera charla en la que Fermín Otálora, uno de los investigadores senior, nos explicó las distintas labores de investigación que realizan. Los alumnos tuvieron la posibilidad de ver cómo funciona un laboratorio multidisciplinar en el que trabajan no sólo físicos sino también ingenieros, geólogos, farmacéuticos, químicos y biólogos. A continuación tuvimos un debate con Emilio Melero, un antiguo alumno nuestro, sobre las salidas profesionales del físico. Los alumnos le plantearon diversas dudas sobre qué capacidad tienen de trabajar y en qué pueden trabajar una vez terminen sus estudios. Emilio tuvo la capacidad de abrirles un gran horizonte ya que es una persona que ha trabajado en diversas instituciones y empresas, tanto en España como en el extranjero.



A continuación fuimos a comer al Parque de las Ciencias de Granada. Este fue un momento de relax dentro del viaje pero también muy aprovechado desde el punto de vista científico. Cuando los alumnos iban terminando de comer, tuvieron la posibilidad de visitar todo el parque y ver distintos experimentos de interés para ellos. También tuvieron la posibilidad de preguntar a los profesores todas las dudas que surgieron sobre cómo funciona tal o cual experimento.



La última visita que realizamos fue al Hospital Clínico Universitario San Cecilio de Granada. En el hospital tuvimos en primer una charla con dos radiofísicos que trabajan en el hospital, uno realizando labores clínicas y otro de investigación. Los alumnos se pudieron informar sobre los pasos que hay que dar para completar la carrera de radiofísico y sobre las labores que realizan.

A continuación visitamos las instalaciones del hospital dedicadas a radioterapia y donde desarrolla su labor el personal dedicado a la radiofísica. Visitamos el laboratorio en el que se calibran las dosis de las distintas fuentes radiactivas que se utilizan para el radio-diagnóstico. También pudimos ver diversos instrumentos que se utilizan para el tratamiento del cáncer mediante radioterapia, principalmente una bomba de cobalto y un acelerador de partículas. Los alumnos tuvieron la posibilidad de ver en la práctica distintos aspectos relacionados con las asignaturas de cuántica (Física y Mecánica Cuántica) .



Por último, durante la impartición de las clases se han desarrollado diversas experiencias de cátedra, como la interferencia en láminas delgadas, la interferencia de fotones mediante distintas rendijas y la difracción de fotones a través de una rendija. Los alumnos asimilan con mayor profundidad un determinado fenómeno cuando tienen la posibilidad de ver ese fenómeno mediante un experimento. El presente proyecto nos ha permitido adquirir nuevo material, como es un dispositivo para observar espectros atómicos.

4. Materiales y métodos (describir la metodología seguida y, en su caso, el material utilizado)

El material utilizado ha sido de muy distinta naturaleza, dependiendo de la finalidad. En el caso de las aplicaciones en Java, se ha utilizado el programa de dominio público Easy Java Simulations (EJS). Este entorno ha sido desarrollado por el profesor Francisco Esquembre, de la Universidad de Murcia, y está expresamente diseñado para desarrollar simulaciones de procesos físicos.

El diseño de una aplicación desarrollada en EJS se divide en tres partes bien diferenciadas y que explicaremos a continuación:

Introducción) Este apartado es como un editor de código HTML, en el que se puede incluir una explicación del proceso que se va a simular, los parámetros que se pueden modificar, y en general cómo se maneja la aplicación. El programa EJS permite publicar la simulación en una página Web, que incluye el texto introducido en este apartado.

Modelo) En este apartado se definen tanto las variables que se utilizarán en la simulación como las ecuaciones que rigen la simulación. Este apartado se divide a su vez en los siguientes apartados:

- Variables.- En este apartado se definen las variables que se utilizarán en la simulación.
- Inicialización.- Se inicializan las variables.
- Evolución.- En este apartado se introducen las relaciones que existen entre las variables en cada paso de la simulación, de acuerdo con las ecuaciones que rigen el proceso que se desea simular.
- Ligaduras.- Aquí se introducen las ligaduras que puedan existir entre las variables, en el caso en que existan.
- Propio.- En este apartado se definen las funciones y subrutinas que no sean estándar del lenguaje JAVA pero que sean imprescindibles para la simulación.

Vista) En este último apartado se definen las ventanas que se verán en la simulación, así como el contenido. El programa EJS es muy rico y ya tiene definidas multitud de representaciones, como graficas XY, gráficas en 3D, etc.

Para la elaboración de la página Web, se ha utilizado el gestor de contenidos Joomla, ya que es el que se suele utilizar en nuestra universidad. Este gestor permite controlar de forma sencilla el aspecto de la página y añadir y gestionar el material que se va elaborando. Uno de los ítems que se pueden colocar dentro de una página creada con Joomla es la alimentación servidores de noticias RSS. Estos servidores proporcionan noticias actuales sobre diversos temas. En particular, la página contiene los siguientes servidores de noticias: sección de cuántica de Science Daily, American Physical Society, Nature Physics, sección de Tecnología del El País y sección de Tecnología de ABC. Estos servidores de noticias son los que utilizan los alumnos para extraer material para la redacción de los artículos.

Otra herramienta que hemos utilizado, y que se describirá con más detalle más adelante, es el entorno público Google Analytics, que permite obtener una información muy rica sobre las visitas que recibe la página.

5. Resultados obtenidos y disponibilidad de uso (concretar y discutir los resultados obtenidos y aquéllos no logrados, incluyendo el material elaborado y su grado de disponibilidad)

La mayor parte del material que se ha descrito en los apartados anteriores de la memoria se encuentra accesible a todo el mundo a través de la página Web.

Como resultados del proyecto podemos destacar los siguientes aspectos:

- El desarrollo de las aplicaciones en Java ha permitido a los alumnos simular diversos procesos físicos de la teoría cuántica. Esto ha permitido un conocimiento más profundo por parte de los alumnos de dichos fenómenos. Dado que las aplicaciones se encuentran disponibles en la página Web, los alumnos las han podido utilizar cuando se encuentran fuera del aula.
- Los artículos desarrollados por los alumnos les han permitido conocer diversos aspectos novedosos de la teoría cuántica. La corrección por parte de los profesores les ha permitido detectar los principales problemas que tienen a la hora de redactar un documento. Los artículos redactados también se encuentran a disposición de toda la comunidad universitaria a través del Blog de la página.
- El viaje a Granada ha permitido a los alumnos conocer diversos centros en los que han visto las aplicaciones reales y prácticas que tiene la teoría cuántica. Del mismo modo, han conocido distintos centros en los que pueden ejercer su actividad profesional una vez que terminen sus estudios. Esta experiencia ha sido muy positiva y pensamos que debemos repetirla todos los años, si tenemos ocasión.
- Los experimentos de cátedra han permitido a los alumnos ver y tocar diversos experimentos que solo se pueden explicar bajo la teoría cuántica. Estos experimentos se encuentran a disposición de las siguientes promociones de alumnos que cursen las asignaturas de cuántica.

Finalmente, también hay que destacar que el proyecto ha permitido la publicación de un artículo en la revista de educación *European Journal of Physics*, otro en la *Revista Mexicana de Física*, ambas incluidas en el *Science Citation Report*, y la participación mediante un proyecto en el Encuentro sobre la Universidad Expandida, organizado por la UNIA y que se ha celebrado durante el mes de septiembre en la Rábida.

6. Utilidad (comentar para qué ha servido la experiencia y a quienes o en qué contextos podría ser útil)

La experiencia desarrollada mediante el proyecto, ha permitido ir adaptando gradualmente las asignaturas de cuántica a las nuevas tecnologías y, en general, a los métodos que se pretenden incentivar en el nuevo Espacio Europeo de Educación Superior.

Dado que gran parte de las herramientas utilizadas (Java, Easy Java Simulations, Joomla, Servidores de noticias RSS, Google Analytics) son de dominio público, se pueden utilizar en cualquier asignatura. La instalación y uso de Joomla requiere unos conocimientos mínimos de informática, ya que el personal del Servicio de Informática facilita el acceso a una base de datos MySQL y a un servidor con PHP, que son los requisitos indispensables para que pueda funcionar el gestor de contenidos. En cualquier caso, también se pueden utilizar otros entornos como WordPress, BlogSpot, etc.

Mediante la experiencia, también hemos conseguido que los alumnos participen de forma más activa en su propio aprendizaje. Está comprobado que si el alumno participa de forma activa, asimila el contenido con mayor profundidad que si el profesor facilita todo el material y se limita a impartir lecciones magistrales.

7. Observaciones y comentarios (comentar aspectos no incluidos en los demás apartados)

Consideramos que los apartados son suficientes y que contienen todos los aspectos importantes del proyecto.

8. Autoevaluación de la experiencia (señalar la metodología utilizada y los resultados de la evaluación de la experiencia)

Este año hemos utilizado como control para la evaluación de la experiencia el propio Joomla, que gestiona el contenido de la página y la herramienta Google Analytics, que permite obtener una gran información sobre las visitas que ha recibido la página.

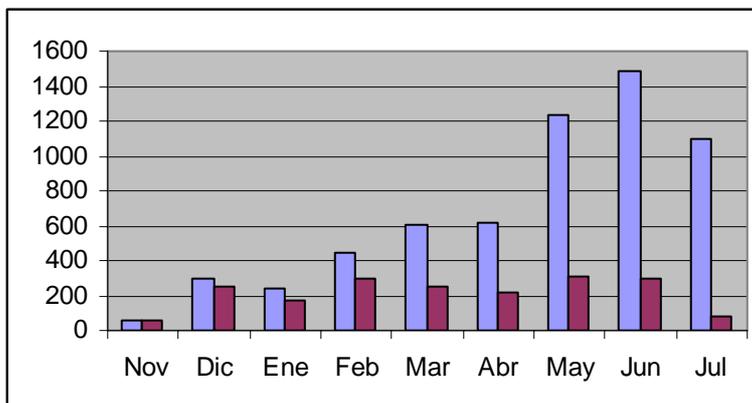
Joomla nos ha permitido hacer pequeñas encuestas a los alumnos sobre la experiencia. Estas encuestas permiten valorar una determinada experiencia en forma de pregunta con dos respuestas si/no. En todos los casos, cuando se ha consultado a los alumnos si estaban satisfechos con la experiencia han respondido positivamente.

Joomla también nos permite conocer las visitas que recibe cada uno de los artículos publicados. Los más visitados se muestran en la siguiente tabla.

| Título | Visitas |
|---|---------|
| Qué rayos ¡el campo eléctrico terrestre existe! | 1045 |
| Entrelazamiento cuántico | 926 |
| Desarrollo multipolar del potencial eléctrico | 873 |
| Que puntazo la cuántica! (quantum dots; puntos cuánticos) | 764 |
| No Dolly - Teorema de la no clonación cuántica | 697 |
| Grafito pirolítico levitando | 637 |
| Rayos cósmicos y meteorología | 539 |
| Radiación del cuerpo negro - Hipótesis de Planck | 494 |
| | |

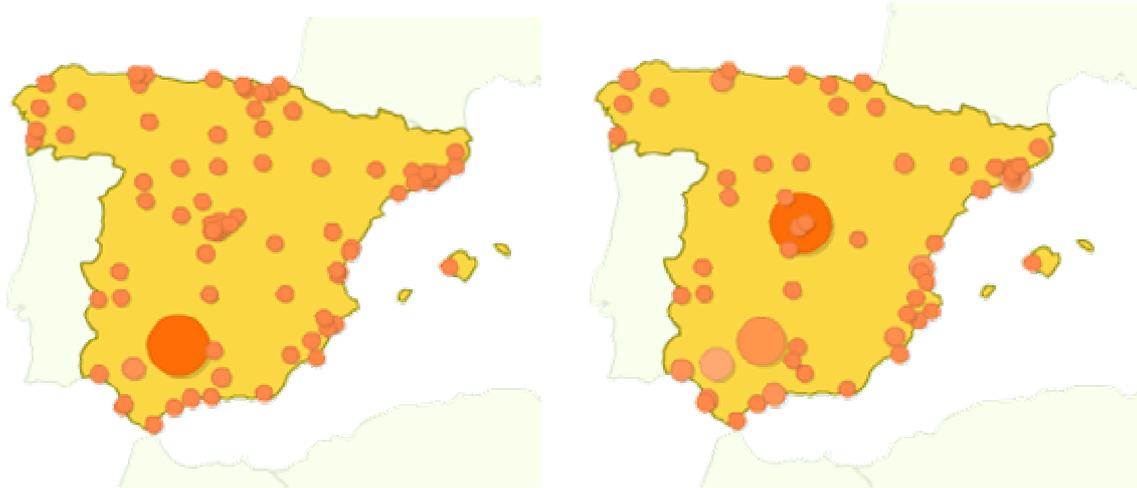
Estos datos demuestran que la página está cumpliendo su misión de dar a conocer la teoría cuántica a toda la comunidad universitaria.

Por otro lado, Google Analytics nos ha permitido obtener una gran información sobre las visitas que ha recibido la página. El siguiente gráfico muestra el número de visitas que ha recibido la página al mes desde que se puso en marcha. Las barras azules muestran las visitas totales, mientras que las rojas muestran las visitas realizadas por los alumnos. Podemos comprobar que los alumnos han visitado la página con bastante constancia, y solo han decaído parcialmente las visitas en las épocas de exámenes. Por otro lado, las visitas totales han ido aumentando gradualmente.



En las siguientes figuras se puede ver dos mapas de procedencia de las visitas en España. La primera nos muestra la procedencia de las visitas durante todo el curso académico, mientras que la segunda nos muestra la procedencia de las visitas en agosto.

Podemos ver que durante el curso las visitas provienen fundamentalmente de Córdoba, ya que son visitas realizadas por los alumnos, mientras que durante el mes de agosto la mayoría provienen de Madrid, ya que la página es de interés general.



9. Bibliografía

- F. Esquembre, "Creación de Simulaciones Interactivas en Java. Aplicación a la Enseñanza de la Física", Editorial PEARSON Prentice Hall.
- J. I. Fernández Palop, "A versatile applet to explore the wave behavior of particles, European Journal of Physics **30** (2009) 771-776.
- J. I. Fernández Palop, "Decay of a quantum discrete state resonantly coupled to a quasi-continuum set of states" **55** (2009) 112-117

Lugar y fecha de la redacción de esta memoria

Córdoba a 30 de septiembre de 2009