



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LA RIOJA
FACULTAD DE EDUCACIÓN

Trabajo Fin de Master

**Sobre la motivación y la enseñanza de física
en ambientes rurales usando una metodo-
logía por investigación dirigida**

Presentado por: Ricardo GÓMEZ ESCALANTE
Línea de investigación: Estudio de caso
Director/a: Vanessa P. MORENO RODRÍGUEZ

Ciudad: Madrid
Fecha: 6 de julio de 2015

Universidad Internacional de La Rioja

Sobre la motivación y la enseñanza de física en ambientes rurales usando una metodología por investigación dirigida

by Ricardo GÓMEZ ESCALANTE

Resumen

El profesor Alberto Aguayo del IES Valle del Saja en un entorno rural de Cantabria lleva diez años utilizando una metodología por Investigación Dirigida para motivar a sus alumnos. Los hechos hablan del éxito de sus iniciativas: un aumento en el número de vocaciones en carreras de ciencias físicas, premios en concursos nacionales y reconocimiento de diversas instituciones. A lo largo de este estudio se van a analizar sus proyectos más representativos y la forma de trabajar de este profesor, todo enmarcado en su contexto social y cultural. Las claves del éxito se pueden resumir en el buen clima que han caracterizado todos estos proyectos lo que consigue un verdadero espíritu de equipo, y en adoptar una postura científica y de humildad por parte de todos los miembros implicados ante los efectos investigados. Finalmente, se concluye que estas experiencias son trasladables a otros entornos educativos siempre que haya una motivación detrás del proyecto. Esto es debido a que estas investigaciones dirigidas han sido diseñadas desde un principio para promover valores sociales y científicos como el respeto, el trabajo en equipo y el pensamiento crítico.

Palabras clave: Investigación Dirigida, Alberto Aguayo, Física, Ciencia, Educación Secundaria.

Abstract

High school teacher Alberto Aguayo from IES Valle del Saja has been using Inquiry-Based Learning projects to motivate and educate his students for ten years. Facts can tell about the success of these projects: an increase of applications for university studies in Physics from this high school, awards in national wide competitions and acknowledgement from several institutions. In this study Aguayo's most representative projects are going to be analyzed together with his methodologies and his views on education; everything taking into account the social and cultural context. The key points to the success of his projects are defined as: a) a good working and social environment has implied a true team spirit and has always been a key characteristic; b) a scientific and humble behaviour from all students and teachers involved. Finally, it is concluded that these experiences are reproducible in other educative environments as long as there is a real motivation behind the projects. This reproducibility is due to the fact that all these Inquiry-Based projects have been designed from the beginning to promote social and scientific values as respect, team work and critical thinking.

Keywords: Inquiry-Based Learning, Alberto Aguayo, Physics, Science, High-school

Agradecimientos

Me gustaría agradecer a Alberto Aguayo toda la ayuda que ha prestado para la realización de este trabajo. Su trabajo con los alumnos en los últimos 10 años ha sido de una calidad singular y es el objetivo de este estudio traerlo a la luz y compartirlo para que otros puedan aprender de él. Gracias.

También agradecer al profesor de la Universidad de Cantabria Julio Largo su contribución a la hora de recolectar datos y estadísticas sobre la PAU y las matriculaciones universitarias. Gracias.

A las exalumnas de Alberto, Yael Gutiérrez y Celia Fernández que tan dispuestas se mostraron a que las entrevistase. Gracias.

Y finalmente, a la supervisora de este TFM Vanessa Moreno por todas sus correcciones y sugerencias. Gracias

Índice general

Introducción	1
1. Definición del caso	4
1.1. Contexto	4
1.1.1. Entorno	4
1.1.2. IES Valle del Saja	6
1.1.3. El aula	8
1.1.4. Departamento de Física y Química	10
1.2. Marco teórico	12
2. Desarrollo del caso	17
2.1. Metodología del estudio	17
2.2. La metodología de Alberto Aguayo	19
2.2.1. Metodologías predominantes en clase	19
2.2.2. Motivar a los alumnos	20
2.2.3. De las clases a las investigaciones dirigidas	22
2.3. Las Investigaciones Dirigidas de Alberto Aguayo	23
2.3.1. Tipologías	24
2.3.2. Proyectos representativos	27
2.3.2.1. 2005-2006: Año Internacional de la Física	27
2.3.2.2. 2008-2009: La Física del Correcaminos	33
2.3.2.3. 2012-2013: Rotura de una copa por resonancia	39
2.4. Resultados de 10 años de Investigaciones Dirigidas	44
2.4.1. Vocaciones	44
2.4.2. Exalumnos	46
2.4.3. Premios y reconocimientos	48
3. Conclusiones	49
3.1. Conclusiones	49
3.2. Limitaciones	50
3.3. Prospección	51
Referencias	52
A. Guión para entrevistas con Alberto Aguayo	1

B. Cuestionario para exalumnos	2
C. Respuestas al cuestionario para exalumnos	3
C.1. Ricardo Gómez (Año Internacional de la Física)	3
C.2. Yael Gutiérrez (La física del Correcaminos)	4
C.3. Celia Fernández (Rotura de una copa por resonancia)	5

Índice de figuras

1.1. Laboratorio de física	8
2.1. Marcapáginas AIF	28
2.2. Correcaminos y poleas	36
2.3. Correcaminos y palancas	36
2.4. Nuevo correcaminos	38

Índice de tablas

2.1. Descripción de exalumnos entrevistados	19
2.2. Competencias clave en los objetivos de AIF	31
2.3. Competencias clave en los objetivos de La Física del Correcaminos	34
2.4. Competencias clave en los objetivos de La Rotura de Copa por Resonancia	40
2.5. Vocaciones en física, IES Valle del Saja	45
2.6. Vocaciones en física, Cantabria (promedio)	45
2.7. De Bachiller a PAU	46

Abreviaturas

AIF	A ño I nternacional de la F ísica
C1	Competencia en comunicación lingüística.
C2	Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología.
C3	Competencia digital.
C4	Competencia de aprender a aprender.
C5	Competencias sociales y cívicas.
C6	Sentido de iniciativa y espíritu emprendedor.
C7	Competencia en conciencia y expresiones culturales
ESO	E ducación S ecundaria O bligatoria
IAA	I nstituto de A strofísica de A ndalucía
ID	I nvestigación D irigida
IES	I nstituto de E ducación S ecundaria
PAU	P ruueba de A cceso a la U niversidad
PEC	P royecto E ducativo del C entro
RSEF	R eal S ociedad E spañola de F ísica
RSEQ	R eal S ociedad E spañola de Q ímica
UNICAN	U NIversidad de C ANtabria
ZDP	Z ona de D esarrollo P rójimo

Introducción

Justificación teórica

En los últimos diez años el IES Valle del Saja en la población rural de Cabezón de la Sal (Cantabria) ha llamado la atención de diversos actores regionales y nacionales debido a la calidad de las actividades que se desarrollan en su departamento de Física y Química. Este departamento liderado por Alberto Aguayo Díaz desarrolla año tras año proyectos de gran calidad bajo la metodología de la Investigación Dirigida (ID) con los alumnos de cursos altos de Física que se presentan voluntarios.

Estos proyectos han tenido múltiples consecuencias:

- Se ha visto de forma no empírica un aumento significativo de vocaciones en física en alumnos que se presentan a la Prueba de Acceso a la Universidad.
- Participación de varias de estas investigaciones en concursos de importancia nacional como el certamen Jóvenes Investigadores.
- Reconocimientos variados al IES y a los profesores involucrados destacando los premios de las sociedades españolas de física y de química (RSEF y RSEQ) por sus contribuciones a la divulgación y a la enseñanza de las ciencias. Reconociendo además la dificultad añadida de hacerlo en un entorno rural.
- Finalmente, se ha reunido, a lo largo de los años, una gran experiencia en la enseñanza mediante ID y se ha creado material educativo relacionado con esta metodología.

Justificación personal

El autor de este trabajo fue alumno del IES Valle del Saja y más específicamente fue alumno de Alberto Aguayo en 2º de Bachiller en el curso 2005-2006. Al empezar dicho curso era su intención iniciar una carrera de ingeniería el año siguiente en la universidad, sin embargo tras ese curso y Investigaciones Dirigidas involucradas descubrió lo mucho que disfrutaba entendiendo los fenómenos cotidianos y buscando solución a los puzles de la naturaleza. Por ello, antes de que acabase el curso había cambiado su idea y empezó la Licenciatura en ciencias Físicas.

A medida que pasaban los años ha mantenido una amistad con el profesor y ha seguido con interés como las nuevas generaciones desarrollaban nuevos proyectos, se sentían atrapados por ellos y algunos, como el autor, acababan decantándose por estudiar Física. Debido a estas experiencias, el autor considera que el trabajo de Alberto Aguayo es de un gran valor y que merece ser estudiado y compartido.

Planteamiento del problema

Para el planteamiento de este caso se ha asumido la siguiente hipótesis:

- La metodología del profesor ha provocado un aumento significativo de vocaciones en física en alumnos que se presentan a la Prueba de Acceso de la Universidad.

Esta experiencia recogida puede llegar a resultar muy útil en otros contextos educativos, para profesionales que estén tratando de innovar pedagógicamente o para nuevos docentes que busquen alternativas a los modelos tradicionales. Por ello, este Trabajo Fin de Master se plantea el siguiente objetivo general:

- Analizar los diez años de implantación de la metodología para extraer las claves de su éxito.

Para ello, se perseguirán los siguientes objetivos específicos:

- Estudiar la filosofía educativa de Alberto Aguayo.

- Recopilar y analizar información sobre los proyectos pasados.
- Recopilar y analizar material escrito y multimedia de los proyectos pasados.
- Comparar el porcentaje de vocaciones de este centro con la media de Cantabria.
- Realizar una entrevista basada en preguntas abiertas para los exalumnos más implicados con los proyectos para estimar el impacto de esta metodología.

Descripción de los apartados

1. **Definición del Caso:** Esta primera parte se centra en contextualizar el caso en su entorno. Está dividido en 4 secciones, una que se centra en el entorno, otra en la que se habla del centro educativo, otra centrada en el departamento de Física y Química, y una última que se centra en el aula y los alumnos. Tras haber descrito el contexto del caso se procederá a establecer el marco teórico sobre el que se trabajará en el resto del trabajo.
2. **Desarrollo del Caso:** La segunda parte se centra en el desarrollo del estudio. Primero, se encuentra una sección dedicada a explicar la metodología del caso, es decir, el como se ha hecho. El resto de secciones se centran en los resultados obtenidos. Hay tres grandes bloques:
 - a) **La metodología de Alberto Aguayo:** En esta sección se va a describir como es la cosmovisión y la filosofía educativa del profesor. También se describirá como realiza las clases ordinarias, que recursos utiliza para motivar a los alumnos y como articula las clases con las investigaciones dirigidas.
 - b) **Las Investigaciones Dirigidas de Alberto Aguayo:** Desarrolla la tipología de los proyectos y se centra en la descripción pormenorizada de tres de las investigaciones más representativas.
 - c) **Resultados:** Se recopilan y se contextualizan los diferentes logros alcanzados. Desde el punto de vista de premios y reconocimientos, y desde el de vocaciones por la física.
3. **Conclusiones:** Detalla las conclusiones, limitaciones y la prospección del caso.

Capítulo 1

Definición del caso

1.1. Contexto

Para poder entender adecuadamente la importancia de un caso y el alcance que puede tener es necesario poder enmarcarlo en su contexto social y cultural. Es especialmente relevante en este caso debido a que el entorno marcadamente rural y conservador dificulta en cierta medida la enseñanza de las ciencias, la falta de recursos materiales será uno de los temas recurrentes a lo largo del trabajo. Esta sección del trabajo se va a encargar de ir concretando los diversos contextos de en los que se desarrollan los proyectos de Alberto Aguayo. Empezando por el más general: la región y la comunidad educativa; concretándolo luego al IES y, finalmente, al propio departamento.

1.1.1. Entorno

El IES Valle del Saja se encuentra en el pueblo de Cabezón de la Sal (también conocido como Cabezón), capital del municipio del mismo nombre, en Cantabria.

La población con la que cuenta este municipio supera los 8.500 habitantes [[Ayuntamiento de Cabezón de la Sal, 2011](#)] (la capital con alrededor de 5200 habitantes) sin embargo los municipios aledaños también forman parte de la comunidad escolar al ser demasiado pequeños para tener una propia. Por tanto, aparece un núcleo poblacional

poco numeroso y disperso (baja densidad poblacional). Actualmente, la tendencia demográfica de Cabezón es de crecimiento progresivo gracias al predominio de personas jóvenes y adultas, así como a los saldos migratorios favorables que presenta. La clase socioeconómico que presenta el pueblo es predominantemente media y con cierta estabilidad.

Aunque aún existe cierta presencia de la ganadería bovina en la zona (principal actividad económica en el pasado), la economía de Cabezón de la Sal y alrededores se basa fundamentalmente en los sectores secundario y terciario.

En el sector secundario, las principales actividades industriales se sustentan en los sectores: textil, cerámica (teja, ladrillo, etc) y de madera y mueble, en los que aún se pueden encontrar artesanos de oficio. Especial relevancia tiene el caso de la Textil Santanderina S.A., la industria más importante del lugar que manufactura textiles para clientes a lo largo del mundo y es una de las principales fuentes económicas y de empleo del municipio.

Además se observa un claro crecimiento del sector servicios. Esto se debe principalmente a que Cabezón de la Sal goza de una situación estratégica en la región que la convierte en un paso desde las comarcas montañosas interiores hacia el litoral. Los pueblos están inmersos en lo que se conoce como el Valle del Saja, una preciosa reserva natural con gran variedad en fauna y flora; esto unido a su ambiente rural y tranquilo y con una variada oferta de casas rurales a disposición de los turistas, lo convierte en una atractiva posibilidad para gente que busca turismo rural. Además la importancia turística de las cercanas villas costeras de Comillas y San Vicente de la Barquera y del parque natural de Oyambre proporciona también una mayor actividad del sector servicios durante el verano.

Las bibliotecas están en los centros escolares, colegios e institutos. También hay bibliotecas municipales en Cabezón de la Sal, Bustablado, Casar de Periedo, Mazcuerras, Ruente, Treceño y Comillas.

El ayuntamiento cuenta también con una asociación de vecinos y asociaciones culturales. Es una comarca en la que la participación ciudadana es, en general, grande en todos

los eventos culturales y sociales.

La cobertura educativa para la etapa secundaria para la zona de Cabezón y alrededores se encuentra cubierta por los dos institutos que se encuentran en la propia Cabezón, el IES Foramontanos y el IES Valle del Saja que va a ser el centro de atención de este estudio. Los centros educativos son los principales promotores culturales de la zona y están muy involucrados con la comunidad de vecinos.

1.1.2. IES Valle del Saja

El IES Valle del Saja es uno de los dos institutos de secundaria en el pueblo de Cabezón de la Sal que acoge a los niños y adolescentes de los municipios de los alrededores. El centro cuenta con 4 líneas en la etapa de la ESO y otras 4 en la etapa de Bachiller, sin ningún tipo de Formación Profesional. Al ser un instituto pequeño (XX alumnos) la cantidad de alumnos por aula en algunas materias optativas puede llegar a ser bastante bajo: un ejemplo es Física y Química de 4º ESO con 2 grupos de 13 y 15 alumnos. Este bajo número de alumnos permite que resulte más sencillo poner en marcha iniciativas que traten de fomentar la participación del alumno.

Este tipo de iniciativas está especialmente motivada por la dirección del centro y por el claustro de profesores, y de cierta forma queda reflejado en los documentos de identidad del centro. El Proyecto Educativo del Centro (PEC) está enfocado en la educación en valores y en la Atención a la Diversidad (AD). Esto es lo que se puede leer en su página web:

Lograr de manera efectiva una escuela que dé respuesta a las necesidades educativas de todos los alumnos no deja de ser una utopía a la que el IES Valle del Saja no desea ni puede renunciar. Los esfuerzos de esta comunidad educativa están orientados a la construcción y puesta en práctica de un currículum que atienda a la totalidad del alumnado.

Nuestro Proyecto Educativo de Centro no se fundamenta sólo en un conjunto de ideas, pues éstas por sí solas no pueden sustentar lo educativo. El mismo valor que damos a las ideas hemos de darlo también a la práctica. Así, pues, consideramos que las ideas y principios que permiten elaborar discursos abstractos, sólo serán válidos si se reflejan coherentemente en la práctica.

La institución educativa de la que formamos parte tiende hacia una concepción amplia de la educación, en la que los dos pilares básicos de la misma son

la educación en valores y la atención a la diversidad. El IES Valle del Saja se encuentra inserto en una corriente de pensamiento que intenta dar una educación lo más completa posible y de la mayor calidad, donde cada alumno y alumna descubra, despierte e incremente sus posibilidades; donde se adquiera el conocimiento y se aprenda a conocer, a hacer, a convivir y a ser. Dicho de otro modo, se trata de crear las condiciones bajo las que tenga lugar el aprendizaje apropiado para todos. Por eso, el Proyecto Educativo de Centro que se propone [...] posee como característica esencial: la flexibilidad. Es un proyecto que intenta dar diferentes oportunidades para conseguir los objetivos previstos. [IES Valle del Saja, 2015]

Aunque de diferentes formas, los valores descritos están asumidos e interiorizados por los profesores del centro. Este claustro de profesores está formado mayormente por profesores veteranos y son los principales impulsores de proyectos de todo tipo. Esto unido a la flexibilidad descrita en el PEC que quiere proporcionar la dirección y la buena ratio de alumnos, permite que este centro esté inmerso en multitud de proyectos.

Físicamente, el centro consta de dos edificios en los que se encuentran las aulas y las oficinas, un polideportivo municipal que en horario lectivo se utiliza para las clases de educación física y otros eventos multitudinarios, un espacio para agrupaciones estudiantiles y dos patios abiertos. Además, cuenta con 2 aulas de tecnología, 3 de informática, 3 de dibujo y plástica y 1 de música. Todo el centro tiene cobertura de WiFis con conexión a internet para los docentes y las aulas están todas equipadas con proyector, ordenador, equipo de sonido y conexión a internet por cable. Finalmente, existe un laboratorio de ciencias de la naturaleza pensado para prácticas con alumnos de bajo nivel y un laboratorio de química muy bien provisto de una gran variedad de equipo y reactivos. Sin embargo, la instalación más relevante para este trabajo será el laboratorio de física.

El laboratorio de física en una habitación de unos 35 m² con mesas de trabajo que disponen de lavabos y fuentes de alimentación regulables. El laboratorio se ha ido equipando a lo largo de los años gracias inversiones internas del centro, externas (de la Textil Santanderina por ejemplo), a los propios docentes o con materiales hechos por los alumnos. Al margen del abundante y variado equipo científico se tiene proyector, ordenador, equipo de sonido y conexión a internet.



FIGURA 1.1: Laboratorio de Física del IES Valle del Saja.

1.1.3. El aula

En relación a las características del alumno, el PEC del centro dice:

Se trata de una población heterogénea. El IES se encuentra con distintos niveles culturales dentro de un mismo grupo-clase, diferentes capacidades intelectuales, situaciones socio-económicas, ambiente familiar, formas de vida y pensamiento muy variados, etc. Por otra parte, además de los alumnos de la zona, se reciben alumnos que vienen de otras zonas de España, a la vez que aumentan poco a poco, debido a la inmigración, los alumnos procedentes de otros países: Colombia, República Dominicana, Rumanía, Marruecos, . . . Lejos de considerar esta heterogeneidad como un problema, el IES. Valle del Saja considera el reconocimiento de esta diversidad como una posibilidad que se abre para todos de ampliar el conocimiento de otras culturas y de desarrollar actitudes solidarias de cooperación y adquirir valores en relación con la no discriminación y con el esfuerzo por la integración plena de todos. Con el propósito de conseguir cubrir las necesidades educativas del alumnado, el Proyecto Educativo del IES Valle del Saja se configura como un proyecto integrador que favorecerá la individualización de la enseñanza a la vez que la socialización. [IES Valle del Saja, 2015]

Desglose del alumnado para estos cursos en el año académico 2014-2015 tal como está indicado en el PEC del centro:

1º ESO:

- 8 alumnos ANEAE, 3 de ellos NEE y un ITSE.
- 9 alumnos que cursan Taller de Comunicación.
- 3 alumnos que cursan Taller de Matemáticas.
- 30 alumnos en el Programa bilingüe de Inglés y 27 en el de Francés.

2º ESO:

- 8 ANEAE, 3 de ellos NEE.
- 9 alumnos cursan Taller de Comunicación.
- 7 alumnos cursan Taller de Matemáticas.
- 33 alumnos en el Programa bilingüe de Inglés y 29 en el de Francés.
- 11 alumnos tienen alguna materia pendiente de 1º.

3º ESO:

- 8 alumnos ANEAE, 2 de ellos NEE.
- 30 alumnos en el Programa bilingüe de Inglés y 31 en el de Francés.
- Materias optativas: 18 alumnos Expresión Corporal y 22 alumnos cursan Taller de música. El resto de los alumnos cursan Francés como segundo idioma.

4º ESO:

- 10 alumnos ANEAE, 4 de ellos NEE.
- 11 alumnos en Diversificación Curricular y 1 en el Programa de Refuerzo.

- 26 alumnos en el Programa bilingüe Inglés y 21 de Francés.
- 11 alumnos tienen alguna materia pendiente de cursos anteriores.
- 2 grupos para la materia de Física y Química de 13 y 15 alumnos.

1º Bachiller:

- 17 alumnos en el programa Bilingüe de Francés.
- 27 alumnos del Programa Bilingüe de Inglés.
- 30 alumnos de la modalidad de Ciencias y Tecnología
- 29 alumnos de la modalidad de Humanidades y CC. Sociales
- 2 grupos para la materia de Física y Química de 14 y 16 alumnos.

2º Bachiller:

- 11 alumnos en el programa Bilingüe de Francés.
- 20 alumnos del programa Bilingüe de Inglés.
- 18 alumnos tienen materias pendientes de 1º.
- 29 alumnos de la modalidad de CC. de la Naturaleza y la Salud.
- 26 alumnos de la modalidad de Humanidades y CC. Sociales.
- 1 grupo de Física con XX(sobre 15) alumnos y otro de Química con XX(sobre 15) alumnos

1.1.4. Departamento de Física y Química

El departamento de Física y Química del IES Valle del Saja se encarga de las materias de 'Física', 'Química' y 'Física y Química' y de alguna otra materia científica como Iniciación a la Investigación de todos los grupos desde 3º ESO hasta 2º Bachiller y consta de dos personas.

Covadonga Gutierrez es química de formación y, habitualmente, se encarga de impartir la mitad de los grupos de Física y Química de 3º de ESO, todos los de 1º de Bachiller y el grupo de Química de 2º de Bachiller. Covadonga siempre es un agente del departamento que participa activamente en los proyectos del departamento, ya sean suyos o de su compañero. Junto con el profesor Aguayo recibió el *Premio Divulgación a Profesores de Enseñanzas Preuniversitarias* otorgado por la Real Sociedad Española de Química (RSEQ) en el año 2013. [RSEQ, 2013]

Alberto Aguayo es un hombre de 52 años natural de Torrelavega, Cantabria. Físico de formación, lleva más de 25 años dando clase en diversos IES de la provincia y actualmente se encarga de impartir la mitad de los grupos de Física y Química de 3º de ESO, todos los de 4º de ESO y el grupo de Física de 2º de Bachiller. En su trabajo está el principal foco de atención de este estudio, lo que le convierte en el principal protagonista.

La alta implicación del profesor con sus proyectos ha provocado que por comodidad haya tomado el laboratorio de física como su oficina y que sea ahí donde imparta las clases de los niveles más altos. Esto permite además una mayor flexibilidad a la hora de incorporar experimentos a sus clases regulares. Fue galardonado con el premio de la Real Sociedad Española de Física (RSEF) por la *Enseñanza y Divulgación de la Física* (modalidad Enseñanza Media) en el año 2013 [RSEF, 2013], meses más tarde después de recibir el equivalente de la RSEQ.

Al estar en un centro de una zona rural poco poblada, el departamento recibe una dotación económica baja, dejando en manos de sus miembros la adquisición o renovación de material. En este sentido, el departamento trabaja en tres frentes para conseguir algo de financiación. Por un lado se tiene la inversión de patrocinadores privados, por ejemplo durante el Año Internacional de la Química en 2011 la Textil Santanderina SA donó al departamento 6000 euros para que fuesen invertidos en los proyectos de ese año a cambio de publicidad durante exhibiciones y congresos, o también la dotación económica de los premios sirven para renovar recursos. Por otro lado la buena relación entre el profesor Aguayo con la Facultad de Ciencias de la Universidad de Cantabria permite que estos donen o cedan temporalmente material al centro. Finalmente, el espíritu de comunidad

del pueblo ayuda a conseguir materiales para proyectos, es habitual que los padres de los alumnos (o los propios alumnos) contribuyan en labores relacionados con su trabajo (carpintería, trabajo con metales,..) o que empresas locales cedan materiales como barriles vacíos.

1.2. Marco teórico

Introducción

El constructivismo puede entenderse como una teoría que ofrece explicaciones en torno a la formación del conocimiento. La pregunta *¿cómo forma el individuo el conocimiento?* se remonta a la antigüedad y es de central importancia en la educación y en la psicología.

Del crisol de teorías que se han propuesto sobre educación, el constructivismo avanza el debate resolviendo el conflicto existente entre racionalismo y empirismo. Éste aúna las aparentemente dispares posturas: el conocimiento es posibilitado por la presencia de capacidades innatas presentes en el sujeto (racionalismo) y el elemento fundamental en la generación de nuevo conocimiento es la experiencia (empirismo)[[Araya et al., 2007](#)]. Es importante añadir que los empiristas defienden la existencia de una realidad externa objetiva accesible por los sentidos.

La perspectiva constructivista afirma que es el sujeto el que construye su propio conocimiento en tanto que interactúa con la realidad, la cual no puede conocer de manera directa, y va construyendo la realidad por medio de mecanismos cognitivos [[Mahmud y Gutiérrez, 2010](#)]. Este proceso es continuo y esto le permite ir contruyendo conocimientos nuevos en base a los conocimientos existentes a medida que se obtienen nuevas experiencias.

En el ámbito de la educación las ideas constructivistas se interpretan sobre la base de los objetivos de la educación, cuya meta pueden definirse como el progresivo acceso del individuo a etapas superiores de su desarrollo intelectual. Así, relacionado con las ideas de Piaget, el fin de la educación es ayudar al individuo a desarrollar la capacidad de pensar, sacar conclusiones, analizar el mundo que le rodea y en definitiva a conducir la

motivación intrínseca del ser humano por el aprendizaje para que aprenda a entender dicho mundo [[Chadwick, 2001](#)].

De las distintas corrientes del constructivismo en educación cabe destacar la postura de desarrollo intelectual con énfasis en los contenidos científicos como motivación metodológica para el presente trabajo. Esta corriente se basa en dos ideas más amplias dentro del constructivismo educativo, el aprendizaje por descubrimiento y el aprendizaje significativo y destaca de manera más específica de qué modo las metodologías científicas son una gran herramienta para el desarrollo de las capacidades cognitivas de los estudiantes. En particular son muy relevantes la conexión con conocimientos previos y la adaptación individualizada de los contenidos al nivel intelectual de los estudiantes.

Es difícil imaginarse cómo sería el estado actual de las teorías sobre aprendizaje sin las aportaciones de Piaget. Este psicólogo estudió de manera exhaustiva la capacidad para resolver problemas en los niños y fue el primero en reconocer que las capacidades cognitivas se desarrollan a lo largo de la infancia y adolescencia [[MacLeod, 2009](#)]. Es decir, de acuerdo con Piaget las capacidades cognitivas con las que se nace son muy básicas y se van desarrollando y adquieren una complejidad mayor en sucesivas etapas hasta alcanzar las plenas capacidades en la edad adulta. Estas etapas de desarrollo son cualitativamente diferentes y el paso de una a la siguiente es provocada por los cambios cognitivos resultantes de nuestra interacción con el mundo.

Piaget describe por tanto el desarrollo cognitivo como resultado del aprendizaje; este modelo del aprendizaje entiende que la mente trabaja en un continuo proceso en el cual el aprendizaje mejora las capacidades cognitivas y estas capacidades cognitivas más desarrolladas llevan a una mayor capacidad de resolver problemas. Este proceso trabaja mediante dos mecanismos principales: asimilación y acomodación [[Matthews, 1998](#)]. La asimilación es el proceso de interpretar información nueva con conocimientos existentes y la acomodación ocurre cuando se modifican los esquemas existentes para poder entender la información nueva. Un ejemplo de esto es la primera vez que uno ve un futón. El sujeto sabe lo que es un sofá y lo que es una cama y en un primer paso intenta asimilar el futón en una de esas dos categorías. Sin embargo, no pertenece unívocamente a ninguna de las dos, con lo cual modifica su esquema mental sobre

“cama” y “sofá” para poder incluir sus nuevos conocimientos sobre el futón. Piaget no analiza más a fondo el aprendizaje en sí sino el desarrollo cognitivo y destaca que ambos son un proceso.

De lo anterior se desprende que el contacto constante con nuevas situaciones impulsa de manera importante el desarrollo cognitivo. A esto se le llama aprendizaje por descubrimiento y es uno de los pilares del aprendizaje en ciencias. Los mecanismos de asimilación y acomodación son los utilizados para construir el conocimiento.

Para entender el proceso de aprendizaje en sí se hablarán de las ideas de Vygotsky, que son centrales para el aprendizaje cooperativo y motivan la metodología del presente trabajo. Vygotsky definió la Zona de Desarrollo Próximo (ZDP) [Vygotsky, 1978]. Por ZDP se entiende un estado cognitivo en que un sujeto dispone de casi todas las capacidades y motivación para construir conocimiento nuevo en una situación concreta, pero necesita un apoyo externo para cruzar esa barrera. Este apoyo puede venir en la forma de un profesor, otro alumno o medios como libros, lo fundamental es que el apoyo sea recibido en el momento correcto (cuando el sujeto se encuentra en la ZDP) y que se ajuste a las necesidades del sujeto [MacLeod, 2010]. Un ejemplo de esto es para una habilidad manual compleja dar instrucciones más generales cuando el sujeto asimila rápidamente las acciones necesarias pero ser más preciso cuando fracasa en el intento. Es por tanto fundamental que el apoyo sea fácilmente asimilable por el sujeto y se ajuste a su nivel de motivación y capacidades. De esto se desprende también que el conocimiento nuevo no debe ser demasiado diferente del existente, porque no podrá ser acomodado y el sujeto no podrá avanzar al paso siguiente, que es realizar la acción sin el apoyo externo.

En contraposición a Piaget, Bruner rechaza las etapas de desarrollo cognitivo escalonadas por edad y mantiene que el aprendizaje es mucho más individual y el desarrollo continúa en la edad adulta. De esto se desprende que no es necesario que se espere a que un sujeto alcance una etapa (edad) determinada para enseñar ciertos contenidos, sino que es simplemente cuestión de estructurar los conocimientos de manera adecuada para que el sujeto pueda asimilar y acomodar la información nuevo, independientemente de la edad del sujeto y la complejidad de la materia. La traducción de las ideas de

Brunner a la enseñanza escolar es el currículo en espiral, es decir, los mismos contenidos se imparten en repetidos momentos de la etapa escolar, con una creciente complejidad. El objetivo final de este enfoque es que los alumnos contruyan conocimiento mediante un sistema de aprendizaje propio, dotándoles de independencia. El profesor pasaría a un rol de facilitador del aprendizaje, dando a los alumnos el material necesario pero dejándoles la tarea de descubrir la estructura [MacLeod, 2012]. Esta teoría se enmarca por tanto dentro del aprendizaje por descubrimiento.

El objetivo final de todos estos modelos es que se produzca un aprendizaje significativo, es decir duradero y extensible. La comprensión de cómo un sujeto construye conocimiento a través de su interacción con el mundo que le rodea nos brinda la posibilidad de crear metodologías adecuadas.

Investigación Dirigida

En este marco contextual se puede encontrar el aprendizaje por Investigación Dirigida (ID), una metodología estrechamente relacionada con la idea del aprendizaje por descubrimiento y que está especialmente centrada en la enseñanza de las ciencias. Esta metodología implica un proceso de aprendizaje activo en el que los alumnos deben responder preguntas usando técnicas científicas. En su forma más pura, la ID implicaría que un estudiante se plantease sus propias preguntas, utilizase sus propias herramientas y aplicase técnicas como análisis de datos de forma independiente y alcanzase sus propios resultados y conclusiones. Sin embargo, debido a la dificultad en que un alumno de secundaria pueda realizar todo este proceso autonomamente, se considera que una actividad todavía puede estar catalogada como ID cuando las preguntas y los datos sean proporcionados siempre y cuando los estudiantes desarrollen el análisis y saquen sus propias conclusiones. Aún así, la mayoría de los estudiantes necesitarán aún más ayuda y guía en todos los pasos antes de que sean capaces de desarrollar una investigación científica autonomamente [Banchi y Bell, 2008]. Por ello, una metodología basada en el aprendizaje por ID no sólo fomenta que el alumno desarrolle sus propias investigaciones sino que les guía en el proceso de adquirir mejores habilidades científicas estableciendo una serie de categorías graduadas para las IDs [Bell et al., 2005]:

1. **Confirmación:** En este primer nivel de investigación, los alumnos deben confirmar un principio o teoría realizando un experimento del que ya conocen el resultado. En este paso el profesor proporciona la pregunta, los métodos y la solución.
2. **Investigación estructurada:** En el segundo nivel, los estudiantes deben realizar un pequeño experimento planteado por el profesor para poder llegar a un resultado o conclusiones. La pregunta y el procedimiento son proporcionados, pero no el resultado.
3. **Investigación guiada:** En el tercer nivel, se puede considerar que el trabajo desarrollado tiene un alto componente científico. Al alumno se le plantea un problema y debe ser él el que diseñe el experimento, recoja los datos, los analice y extraiga resultado y análisis.
4. **Investigación abierta:** En el cuarto y último nivel se encuentra la investigación científica con todas sus características. Es el propio alumno el que decide que cuestión quiere resolver, cómo hacerlo y como interpretar los resultados.

Capítulo 2

Desarrollo del caso

2.1. Metodología del estudio

Como se ha dicho previamente el objetivo de este trabajo es el de analizar los proyectos desarrollados por el profesor Aguayo en el marco de las investigaciones dirigidas y extraer las claves del éxito que ha ido cosechando a lo largo de su carrera. Para cumplir este objetivo principal se analizará todo el proceso de la ID desde que se empiezan las clases en Septiembre hasta que se acaban en Junio, incidiendo en los siguientes aspectos:

(A) La filosofía didáctica de Alberto Aguayo.

- Las clases ordinarias de Alberto Aguayo.
- La creación del proyecto de ID y la involucración del alumno.
- Los resultados contrastables de estas prácticas

(B) Las investigaciones dirigidas más representativas de Alberto Aguayo

- Descripción pormenorizada del proyecto.
- Crónica del desarrollo del proyecto, los logros conseguidos y las conclusiones.
- Detalle de la actitud de los alumnos y de su relación entre ellos como equipo y con el profesor
- Entrevista con uno de los alumnos.

Para poder incidir en todos los aspectos mencionados se diseñó una metodología cualitativa [Quecedo y Castaño, 2002] de trabajo que se desarrolló durante dos meses en el propio IES Valle del Saja. Consistió en los siguientes pasos:

1. Observación: El primer paso fue establecer un contexto en el que enmarcar las decisiones y las acciones tomadas, tanto por parte del alumnado como por parte del profesorado y la gente ajena al instituto. Este caso ocurre en un pequeño pueblo de marcado carácter rural y con pocos recursos. Es necesario entender el trasfondo para poder valorar los logros conseguidos adecuadamente.
2. Entrevistas con Alberto Aguayo: Él es el principal artífice de las ID, que pone en marcha por voluntad personal y en ocasiones con recursos propios. Entrevistas abiertas y semi-estructuradas con él permitieron entender su cosmovisión, elemento que está presente en todos los proyectos que ha iniciado y en los alumnos con los que ha trabajado. También se asistió a sus clases ordinarias y a sesiones de ID para poder establecer el vínculo entre ambas actividades. Este es el segundo y último paso que se toma para contextualizar los trabajos que más tarde se van a analizar. El guión que se siguió para abordar estas entrevistas se puede encontrar en el anexo [A](#).
3. Recopilación de información: En los últimos diez años se han podido desarrollar numerosas IDs. En ocasiones hubo una sólo durante todo el año, en otras ocasiones hubo una cada pocos meses o semanas, hubo otros proyectos de días. En esta fase se recopilaron y clasificaron estos proyectos, obteniendo información y material audiovisual para poder documentarlos adecuadamente.
4. Participación en la ID actual: En el curso actual (2014-2015) transcurre ID desarrollada por 3 alumnos de 1º de Bachiller que tratan de optimizar el disparo de un caño de aire y probar formas de medir las velocidades de los proyectiles con diferente grado de exactitud. Para un mayor entendimiento del funcionamiento de estas actividades se le permitió al realizador de este trabajo formar parte del equipo durante su estancia en el lugar.

TABLA 2.1: Descripción esquemática de los exalumnos entrevistados.

Nombre	Edad	Carrera	Ocupación	Otros
Ricardo Gómez	27 años	Física	Enseñanza	
Yael Gutiérrez	24 años	Física	Estudiante de Master	MH en Bachiller
Celia Fernández	20 años	Física	Estudiante de Grado	MH en Bachiller

5. Entrevistas con alumnos: Se contactó via correo electrónico a antiguos alumnos para que respondiesen un cuestionario. El cuestionario usado se puede encontrar en el anexo B y consta de 9 preguntas abiertas sobre su implicación en las IDs. Las primeras 2 preguntas tratan de establecer cómo es y fue la relación del alumnos con el profesor. Las 3 siguientes indagan sobre la experiencia del alumno sobre los proyectos en los que estuvieron implicados. Las últimas 4 cuestiones buscan la opinión del alumno sobre los beneficios de la metodología de ID.

2.2. La metodología de Alberto Aguayo

2.2.1. Metodologías predominantes en clase

Si un espectador externo acudiese a las clases de este profesor sin conocer a la persona ni el contexto, podría sacar la conclusión de que sus clases están dominadas por dos metodologías:

- Metodología expositiva:** La clase regular y ordinaria suele tener un carácter fuertemente expositivo, con una temporalización clásica: El profesor hace una disertación introduciendo nuevos conceptos y herramientas a los alumnos y después hay sesiones de problemas para que los alumnos puedan trabajar estos conceptos. Las exposiciones de introducción de contenidos suelen involucrar motivaciones históricas, motivaciones teóricas y anécdotas. Las de definición de conceptos, dictados con las definiciones, ejemplos de fenómenos de la vida cotidiana y consejos para su aplicación práctica. En las sesiones de ejercicios generalmente se deja a los alumnos intentar los problemas y luego uno de ellos sale a la pizarra para explicárselo a los demás; sin embargo, bajo determinadas situaciones (falta de

tiempo, matizaciones sutiles, complejidad extra, etc..) se les pide a los alumnos que intenten los problemas en casa y él es el que los corrige en clase.

- **Aprendizaje por descubrimiento:** El profesor trata de involucrar a los alumnos con experimentos científicos siempre que los contenidos y el tiempo se lo permiten. Hay prácticas de laboratorio estipuladas en casi todas las unidades didácticas y además suele hacer demostraciones habitualmente en clase, especialmente en 2º de Bachiller puesto que las clases transcurren en el propio laboratorio de Física. Los alumnos desarrollan las prácticas de laboratorio organizados en grupos de 3 o 4 y con la ayuda de un guión prehecho. El rol del profesor se limita a ayudarles en los pasos más complicados, a gestionar los pasos peligrosos (como uso de fuego o manipulación de sustancias tóxicas) y a controlar los tiempos. Las demostraciones en clase se utilizan para apoyar e ilustrar los conceptos recién introducidos, dependiendo del caso los alumnos pueden o no llegar a interactuar con el material.

Sin embargo, un análisis más profundo muestra una predominancia de una metodología por conflicto cognitivo. Exceptuando las partes más teóricas y matemáticas, todas las clases se desarrollan en una continua discusión entre los alumnos y el profesor, el cual siempre trata de conducirles a situaciones límite que desafíen sus concepciones previas. Obviamente, no se puede conseguir introducir un conflicto cognitivo en todos los temas, ya que muchas concepciones previas son correctas, pero la discusión y la exploración de errores conceptuales siempre está presente, ya sea en las clases ordinarias o en el laboratorio.

Esta situación se puede mantener sólo cuando la clase es muy participativa; y por ello una de las prioridades de Alberto Aguayo es mantener la motivación y el interés de los alumnos alta.

2.2.2. Motivar a los alumnos

Alberto Aguayo que tiene muchos rasgos de personalidad que son beneficiosos para la enseñanza entre los que se puede reseñar que es extrovertido, empático y razonable. Sin

embargo, para la enseñanza de las ciencias hay una combinación de características que tienen una especial repercusión en sus clases.

Por un lado, es un absoluto apasionado de la física, habiéndose convertido en aficiones temas como la exploración espacial, la historia de la ciencia y los experimentos históricos o la física de la vida cotidiana; de hecho, muchos de los instrumentos científicos que utiliza en sus clases son personales que él ha adquirido para su disfrute personal. Por otro lado es un excelente comunicador, no sólo es capaz de organizar rápidamente sus ideas sobre un tema para contarlos de una forma ordenada y coherente, sino que es capaz de transmitir la pasión que él siente por estos temas provocando un mayor interés en su público. Finalmente, es una persona humilde y muy cercana, él ve a sus alumnos como equivalentes intelectuales (aunque con menos experiencia y recursos) lo que provoca un trato de respeto en ambas direcciones.

La combinación de estos rasgos fomenta la creación de unos alumnos altamente interesados que participan activamente en las clases con preguntas y comentarios, convirtiendo monólogos del profesor en diálogos permanentes. Con esta descripción se podría pensar que en sus clases podría haber problemas de disciplina pero no es el caso, y en las escasas situaciones en las que ha aparecido un elemento disruptivo no ha dudado en atajar el problema con disciplina y eficacia.

Como recurso motivador externo, el profesor a menudo recurre a experimentos para mostrar algunos de los conceptos que se han visto en clase. Y cuando la ocasión lo permite, trata de convertir el experimento en un espectáculo. Los temarios de la ESO y Bachiller de física están llenos de conceptos que se pueden convertir en elementos espectaculares como explosiones (siempre con un uso estricto de medidas de seguridad), cohetes o efectos que desafían la intuición. A menudo estas demostraciones son mostradas ante todo el instituto y ante el pueblo con los alumnos como principales protagonistas. Esto cumple varias funciones: por un lado, los alumnos entrenan competencias comunicativas, por otro se identifican con el proyecto que presentan, haciéndolo suyo y aumentando su motivación; y finalmente, es una llamada al resto de la comunidad, los otros profesores pueden presentar ideas y propuestas de ejercicios transversales

y los alumnos más jóvenes pueden irse preparando para los próximos cursos (empezando el ejercicio de motivación antes incluso de que sean alumnos. Estas demostraciones combinadas con la motivación de los alumnos y con el buen clima que suele haber en las clases dan pie a nuevas preguntas, proposiciones y proyectos.

2.2.3. De las clases a las investigaciones dirigidas

Durante las clases ordinarias el profesor Aguayo observa como va siendo el desarrollo y la dinámica de cada grupo. Cuando les presenta las pequeñas demostraciones, puede ver como trabajan y se compenetran. Esto es especialmente relevante en el curso de 2º de Bachiller puesto que las clases se desarrollan en el propio laboratorio y las demostraciones ocurren con una frecuencia diaria; al ser los estudiantes más maduros y los que más tiempo están en contacto con la ciencia se convierten en los candidatos idóneos para para una ID.

Por ello cuando un grupo de alumnos de niveles altos (2º de Bachiller generalmente pero se han dado casos de 1º o incluso de 4º ESO) muestra curiosidad, entusiasmo y un respeto adecuado hacia el profesor y sus compañeros, suele ser sugerido para empezar un proyecto de investigación dirigida en algún tema de física. Estos proyectos son completamente voluntarios y no afectan a la calificación de la asignatura de ninguna forma, además suelen ocurrir en horario extraescolar (recreos y tardes generalmente) para no alterar el transcurso normal de las clases con temario oficial. Cada año puede haber una o varias IDs, con todos los miembros de la clase o con sólo un subgrupo reducido, con extensiones de tiempo que pueden ir desde los días hasta el año académico completo. Los criterios tomados para aceptar a los alumnos son puramente actitudinales: que tengan interés, que estén dispuestos a comprometerse con el proyecto y que demuestren respeto hacia el laboratorio y el resto del equipo.

El rendimiento académico no es un criterio de elección del alumnado para los proyectos, Alberto Aguayo es un convencido defensor de una educación igualitaria para todos, desde los alumnos con altas capacidades hasta los que presentan dificultades y, por ello, sus proyectos están abiertos a todos los alumnos que a) quieran estar ahí y b) sean responsables. Esta es una idea importante, el objetivo principal de estas investigaciones

dirigidas (que acaba implicando aprendizaje cooperativo) es que los alumnos aprendan a trabajar en equipo, a apreciar el trabajo de sus compañeros y a mantener un ambiente agradable y de respeto que son cualidades indispensables en cualquier grupo científico actual. Deben entender que la figura del genio solitario ya no existe y que no puede haber ningún trabajo científico sin un equipo funcional. Por ello, los comportamientos antisociales y arrogantes están penalizados en el marco de estas investigaciones y si el alumno perdura en ellos acabará siendo expulsado del proyecto. Si bien es cierto que muchos de los proyectos han sido llevados a cabo por alumnos de alto rendimiento académico, hay que reseñar que en la mayoría han participado alumnos de todos los niveles y en algunos casos han llegado a liderar el proyecto por encima de compañeros con mayor capacidad.

2.3. Las Investigaciones Dirigidas de Alberto Aguayo

Definición de Investigación Dirigida de Alberto Aguayo en un seminario sobre dicho tema para alumnos del Master de Profesorado de Secundaria de la Universidad de Cantabria (2015):

Intentar dar una definición de lo que significa una investigación dirigida no es un trabajo trivial. Antes de llegar a algún consenso sobre esta cuestión necesitaremos definir previamente qué entendemos por investigación.

Una definición genérica pero bastante correcta sería la de asociar la investigación a cualquier actividad destinada a contestar preguntas mediante el diseño y la realización de experimentos. Obviamente esta definición tiene todos los problemas de cualquier afirmación general pero como punto de partida es suficiente para explicar las situaciones que se desarrollan a continuación.

En las investigaciones dirigidas el profesor va proporcionando al alumno los elementos necesarios para su avance. Esto puede ocurrir a propuesta directa del profesor o a requerimiento del propio alumno.

Por ejemplo, se podría decir que casi cualquier demostración de cátedra realizada en el aula se puede convertir en fuente de investigaciones posteriores.

Por otro lado, la base de cualquier trabajo dirigido se encuentra en ejercer de modo adecuado el liderazgo. No se trata de imponer un proyecto desde la exposición magistral sino de establecer una relación individual con cada estudiante. Es muy difícil que un alumno tenga el máximo rendimiento (al menos en estos niveles educativos) sin que exista una relación personal con el profesor. La individualización es clave cuando se trabaja con colectivos con

intereses dispares. El alumno debe conocer lo que se quiere de él y que las indicaciones del profesor no queden diluidas como propuestas a una colectividad. En todo momento cada alumno debe sentir lo especial de su participación en el proyecto. [Aguayo, 2015]

2.3.1. Tipologías

Tras diez años desarrollando multitud de proyectos ha llevado a Aguayo a realizar una clasificación propia de investigaciones dirigidas que se ajuste a sus necesidades. Esta clasificación trata de estructurar los proyectos llevados a cabo en base a alguna de sus características; sin embargo hay que tener en cuenta que no pretende ser exhaustiva sino funcional con la casuística de las investigaciones que se suele encontrar el profesor. Cabe remarcar que todos los ejemplos que se van a mostrar a continuación son reales y han sido llevados a cabo en el IES Valle del Saja:

- **Por tipo de objetivos:**

- **Objetivos cerrados:** Estos proyectos tienen los objetivos perfectamente definidos desde el principio y no son susceptibles de cambio. Ejemplo: "Determinación de la velocidad del sonido mediante resonancia en un tubo de Kundt".
- **Objetivos semi-abiertos:** Como los objetivos cerrados pero permitiendo cierta flexibilidad en la consecución de un objetivo para que se pueda amoldar al trabajo de un alumno y no al revés.
- **Objetivos abiertos:** Se parte de un experimento conceptualmente sencillo para ir añadiendo nuevas posibilidades o elementos que, a veces apareciendo de modo tangencial, acaban adquiriendo tanta importancia como el propio experimento. Ejemplo: Elaboración de un cañón de aire en el cuál el alumno se va interesando en la medida precisa de la velocidad del proyectil.

- **Por finalidad de objetivos:**

- **Procedimentales:** Pretenden que el alumno adquiriera unas destrezas necesarias para investigaciones que tenga que desarrollar en el futuro. Serían

aquellas que fomentan el uso de nuevas tecnologías, herramientas de laboratorio, etc.. o el correcto análisis y presentación de resultados.

- **Comprobatorias:** Buscan una respuesta concreta, cualitativa o cuantitativa a preguntas precisas y concretas. :a medida del perímetro terrestre por el método de Erastótenes sería un ejemplo.

■ **Por extensión en el tiempo:**

- **Proyectos cortos:** Su duración puede abarcar desde una sesión hasta días o semanas. El grado de implicación de los alumnos es bajo, los trabajos no suelen ser originales y los objetivos están bien definidos y son cerrados. Las prácticas de laboratorio son un ejemplo.
- **Proyectos trimestrales:** Suelen estar enmarcados en los trimestres académicos (o evaluaciones) y presentan trabajos de mayor envergadura. Los objetivos son semi-abiertos lo que permite que cada alumno se pueda implicar hasta donde desee lo que acabará influyendo en la calidad y originalidad de la investigación. Si un grupo presenta la actitud y la motivación adecuada, se pueden abrir los objetivos y convertir el proyecto en uno de año entero. Estos proyectos suelen implicar la construcción de alguna herramienta, por ejemplo una máquina de dibujar ondas.
- **Proyectos de año:** Suelen involucrar todo el año académico y pueden tener un carácter transversal con otras asignaturas. Los objetivos son siempre abiertos y se van amoldando a las características de los alumnos, por ello deben presentar una gran implicación y compromiso. El resultado de estos proyectos suele ser original y suele ser presentado y exhibido al público y/o a certámenes de investigación. El Año Internacional de la Física es un ejemplo.
- **Proyectos permanentes:** Proyectos de gran complejidad que involucran a varias generaciones que van contribuyendo continuamente al avance. Sus características son idénticas a las de los de año con la salvedad de que los alumnos no acaban viendo un proyecto cerrado. La reproducción de los experimentos históricos de Otto Von Guericke y sus hemisferios de Magdeburgo son un ejemplo.

■ **Por motivación:**

- **Experimentos históricos:** Tratar de reproducir con fidelidad un experimento llevado a cabo siglos atrás puede llegar a ser una gran oportunidad para los alumnos para ponerse en la piel de los científicos de antaño, entender los conceptos de la época y realizar investigaciones históricas y científicas. El famoso tonel de Pascal o los hemisferios de Magdeburgo son dos ejemplos.
- **Fenómenos cotidianos:** La física puede explicar un gran abanico de fenómenos cotidianos con modelos muy sencillos y que funcionan muy bien. Sin embargo, estos modelos no suelen aguantar un estudio detallado y esos fenómenos cotidianos acaban revelando un submundo de fenómenos complejos que pueden dar mucho juego en una investigación de instituto. Explicar detalladamente el funcionamiento de un cañón de aire es un ejemplo.
- **Construcciones:** Construir nuevas herramientas y mecanismos para ilustrar algunos fenómenos físicos puede ser otra posibilidad. Esta opción suele incluir elementos transversales y resulta estimulante para los alumnos ya que requiere manualidades y el diseño y construcción de prototipos. Como ejemplo tenemos el construir una cama de clavos para mostrar el concepto de presión.

Se puede apreciar cómo esta clasificación multidimensional no se corresponde isomórficamente con los 4 niveles de investigación que se mostraron en el marco teórico. Sin embargo, se puede establecer una relación entre ambos sistemas. Las IDs de niveles 1 y 2 están representadas por los proyectos cortos (normalmente encarnadas en forma de prácticas de laboratorio de una o dos sesiones) y por algunos proyectos trimestrales con objetivos cerrados. Los niveles 3 y 4 aparecen otros proyectos trimestrales y en los de año y permanentes (estos último podrían ser considerados de nivel tres ya que el tema de investigación viene impuesto de años pasados, sin embargo siempre suelen aparecer cuestiones tangenciales traídas por los alumnos que acaban convirtiéndose en parte central de su trabajo). Como ayuda para discernir los proyectos de larga duración entre los de nivel 3 y 4 se puede tener en cuenta que una característica obligatoria que

deben de tener las investigaciones de nivel 4 es que los objetivos sean completamente abiertos.

2.3.2. Proyectos representativos

2.3.2.1. 2005-2006: Año Internacional de la Física

Descripción del proyecto

Esta experiencia se podría considerar como un proyecto de año completo con objetivos abiertos aunque estuvo compuesta por multitud de investigaciones cortas. Este proyecto fue, en cierto modo, un experimento en sí puesto que era la primera vez que el profesor Aguayo trataba las investigaciones dirigidas. Por todo ello, tiene unas características que la hacen un tanto especial en cuanto a volumen y objetivos. Respecto a la clasificación teórica se podría considerar una investigación dirigida de nivel 4, es decir una investigación verdadera, debido a que los objetivos del proyecto iban cambiando de forma orgánica a medida que se avanzaba.

El año 2005 fue declarado por la asamblea de las Naciones Unidas como Año Mundial de la Física, entre otras razones, por el centenario de la publicación de los ya famosos artículos de Einstein. El profesor, tal y como pretenden estas conmemoraciones, intentó que tal evento se reflejase en la vida de su centro educativo y hasta de la localidad en la que se encuentra ubicado. Obviamente, una celebración que se desarrolla a través de un año natural abarca dos cursos académicos. Dada la buena relación del profesor con uno de los grupos, éste prefirió encajarlo en el curso académico 2005/06 y que se apoyase, fundamentalmente, sobre los 10 alumnos del grupo de Física de 2º de Bachillerato.

La idea principal que se le transmitió a los alumnos es que ese año deberían de sacar la Física de las aulas para enseñar, explicar y seducir con ella a toda la comunidad educativa. Para ello se trabajaría a dos niveles. Por un lado todos los alumnos de Física de 2º de Bachillerato tendrían sesiones a “puerta cerrada” donde descubrir distintas experiencias, partes de la física (o incluso de la química) no contenidas en su currículo



FIGURA 2.1: Muestra de dos marcapáginas creados durante el AIF con los alumnos explicando su experimento.

y todos los experimentos que se fuesen planteando de manera espontánea en reuniones un tanto informales. Y por otra parte, como eje principal de todo el año, que entre todos se escogiesen un conjunto de esas demostraciones para ser presentadas en público con la periodicidad que sus logros les permitiesen. De este modo se consiguió que durante todo el curso hubiese constantes talleres o exhibiciones de Física dirigidas a un público cada vez más numeroso.

Además se trató de que la Física tuviese una presencia material en el Centro. Los alumnos diseñaron camisetas con frases conmemorativas e incluso se confeccionaron marcapáginas con los alumnos presentando, en foto y explicación en el reverso, muchos de los experimentos que se habían realizado a lo largo del curso.

Desarrollo

En palabras del propio Aguayo, es muy difícil determinar en qué momento se consigue hacer arrancar un proyecto de estas características, pero en este caso un factor determinante fue el hecho de que el grupo asumiese la responsabilidad que la conmemoración del AIF les trasladaba.

Tras unas reuniones informales, se les propuso a los alumnos la idea de abordar un año protagonizado por la física en el que deberían, no solo investigar en fenómenos o teorías que aún no conocían, sino mostrar todo ello al resto de la comunidad educativa. La respuesta fue muy positiva por parte de todo el grupo y se generó un clima de trabajo y entusiasmo que permitió abordar retos cada vez más laboriosos.

El plan de trabajo consistió, en primer lugar, en la elaboración de esos bloques temáticos y, en segundo lugar, en el diseño y optimización de los experimentos que se presentarían en público. Es en este punto es donde se forjó la verdadera investigación compartida entre alumnos y profesor.

Tal como Aguayo relata, en 2005 no era una práctica nada extendida el realizar demostraciones que se saliesen de la práctica de laboratorio ordinaria enmarcada dentro del currículo de la asignatura. Por ello, se generó un método de trabajo dirigido pero también compartido en el que juntos fueron recorriendo y descubriendo experimentos de los que ir aprendiendo y disfrutando de la física. En ese proceso, es inevitable que el alumno acabe aprendiendo una física que va mucho más allá de los objetivos iniciales ya que las cuestiones implicadas en conseguir el óptimo funcionamiento de un cañón de aire o de una fuente de Herón sugieren una serie de reflexiones profundas de las que el propio profesor también se ve beneficiado. Sería por tanto este mecanismo de realimentación para ambas partes lo que acabaría propiciando la puesta en marcha de este voluminoso proyecto.

Se realizaron demostraciones en público casi semanales en torno a bloques temáticos en las que durante media hora (en los recreos) se presentaban en el salón de actos (o en la calle) las demostraciones estudiadas. Estos bloques fueron:

- La conquista del vacío
- Fenómenos atmosféricos
- Leyes de Newton
- Geiseres, fuentes y cañones
- Óptica
- La física de las colisiones
- Electricidad
- Magnetismo y levitación
- La conservación del momento lineal
- El poder de la atmósfera

El correcto funcionamiento y entendimiento de los experimentos hacía que tanto los alumnos como el profesor tuviesen que abordar muchas situaciones tanto teóricas como prácticas antes de poder presentarlos en público. No era extraño que por cada experimento seleccionado hubiese muchos más que se retiraban por causas diversas (poco concluyentes, materiales costosos, etc.).

En público se presentaron más de 40 experimentos, pero en el ámbito del grupo de 2º de Bachiller este número se multiplicó hasta superar con creces el centenar de experiencias. De hecho el profesor Aguayo programó 4 bloques temáticos para enseñar en el laboratorio durante una hora a todos los grupos de física del centro. En esa tarea fue asistido por algunos alumnos de Bachillerato y solo en esa actividad se superó el centenar de experiencias.

En cuanto a la presentación en público, normalmente se rotaba la presencia de unos 3 o 4 alumnos por sesión. En ese trabajo previo ellos también investigaban sobre el origen del experimento o la vida del científico implicado si era necesario. Eso mejoró de manera muy notable la cultura científica de los alumnos que en muchos casos superaba con creces la correspondiente a su nivel educativo. La asistencia de público era libre y fue

de menos a más. A medida que los compañeros y profesores detectaron lo espectacular de muchos de los experimentos la asistencia fue masiva llegando a completar el salón de actos en muchas de las sesiones. En otros casos, dado el tipo de experimento, la presentación se realizó en el patio del Centro consiguiendo la asistencia de la mayoría del alumnado, profesores e incluso algunos padres.

Los logros más destacados de este proyecto fueron:

1. Aprendizaje por parte de los alumnos de técnicas experimentales que les serían de gran ayuda a la hora de afrontar las prácticas de laboratorio en sus respectivos estudios posteriores.
2. Profundizar en muchos de los principios físicos que se estudian en el Bachillerato y, lo que es más importante, acercarse a otros que han quedado fuera de los temarios pero que les servirían en el futuro.
3. Aumento de la cultura científica del alumno y de la historia de la física muy por encima del nivel habitual de su curso.
4. Desarrollo de la competencia lingüística del alumno al realizar presentaciones en público.
5. Establecimiento de un vínculo de continuidad hacia las futuras promociones. Las demostraciones públicas resultaron tan exitosas que el público asistente de cursos inferiores quedó predispuesto a tomar el relevo años más tarde.
6. Promover el trabajo en equipo.

TABLA 2.2: Competencias clave (tal como están definidas en la LOMCE) asociadas a cada uno de los objetivos del proyecto AIF. La competencias pueden ser consultadas en el apartado de abreviaturas.

Objetivo	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
1		X		X			
2		X	X	X			
3		X					X
4	X				X	X	X
5					X		
6					X	X	

La clave, según el profesor Aguayo, del éxito de este proyecto fue que el hecho de que tanto el alumno como el profesor estuvieran inmersos en el mismo proceso de investigación proporcionó una unión especial entre ellos. El compartir el placer del descubrimiento proporciona un valor innegable a la relación entre alumnos y profesores. Dado que en muchas de las propuestas también el profesor abordaba por primera vez ese desafío se multiplicó la capacidad de trabajo y el entusiasmo del grupo.

Por supuesto que las conversaciones individuales con los alumnos añadidas al propio proyecto hicieron de este AIF un curso especial en muchos aspectos. Quizá un denominador común a todos los alumnos fue el haber adquirido un gran gusto por la Ciencia y orgullo por el conocimiento.

Perfil de los alumnos

El grupo lo formaban 10 alumnos con un nivel académico que iba del medio-bajo al alto. En principio su perfil no era muy diferente a los alumnos de Física de otros años pero se podrían destacar algunos aspectos que pudieron tener incidencia en el desarrollo de esta experiencia.

Un problema que, según Aguayo, suele surgir actualmente cuando se plantea a los alumnos de 2º de Bachillerato la utilización de su tiempo libre es la preocupación que les supone alterar su rutina de trabajo pensando que eso puede repercutir negativamente en el resto de sus notas. Esto es debido al encarecimiento de la nota de entrada en algunas titulaciones. En 2006 esta situación no había llegado al estado tan crítico que se encuentra en la actualidad lo cual permitió un clima de trabajo relajado y en el que los alumnos se mantuvieron, en general, despreocupados por sus notas.

Además todos ellos tenían un gran espíritu de trabajo y colaboración, sabiendo perfectamente a qué nivel podía ser importante su contribución. De ese modo, algunos preferían participar en labores manipulativas o de construcción. Otros buscaban soluciones teóricas para optimizar los experimentos mientras que otros preferían decantarse por la presentación en público de las demostraciones.

En todos los casos el concepto de equipo fue asumido a la perfección por todos ellos debido a que su espíritu colaborador y solidario era bastante acusado. Todo ello hizo que el proyecto aguantase sin resentirse el peso de un curso completo.

En cuanto a sus estudios posteriores la mayoría emprendieron estudios universitarios mientras 3 o 4 iniciaron ciclos formativos. Entre los universitarios 4 de ellos optaron por ingenierías, otra por titulación biosanitaria y otro por la licenciatura en Física.

2.3.2.2. 2008-2009: La Física del Correcaminos

Descripción del proyecto

Esta investigación se podría clasificar, en principio, como una investigación de objetivos cerrados aunque, como se relata al final, tuvo una segunda parte que terminó llevando el trabajo en una dirección que no se había contemplado en un principio. Con todo, constituye un proyecto de curso completo dada su extensión. En la clasificación vista en el marco teórico tendría un nivel tres, ya que aunque los alumnos se encargaron de cada aspecto de la investigación, esta fue propuesta por el profesor.

La serie de animación *Wile E Coyote and the Roadrunner* tiene un único y persistente leitmotiv que es la persecución de un coyote a un correcaminos de los desiertos americanos. En ese intento de caza el coyote traza planes, a cual más ingenioso o disparatado, para conseguir su fin. En muchas de estas trampas, las leyes de la física o la tecnología de la época juegan un papel determinante. A veces, estas leyes son aplicadas de modo muy correcto mientras que en otros casos se violan algunos principios de manera provocadora consiguiendo así no solo un efecto cómico si no una mayor atención hacia el experimento por parte del espectador.

El trabajo consiste en un análisis exhaustivo de todas las situaciones en las que aparecen leyes o principios físicos como elemento determinante de alguna de las trampas del coyote. Este análisis busca también determinar hasta que punto los “errores” que se presentan en muchas secuencias no son más que una mera provocación por parte de los guionistas en vez de un tratamiento superficial de los aspectos científico-tecnológicos.

Los objetivos son variados:

1. En primer lugar, estimular al alumno para “encontrar” física en contextos no habituales.
2. Realizar una clasificación temática de las leyes de la física que aparecen en la serie distinguiendo entre buenas o malas aplicaciones.
3. En los casos en los que sea posible, realizar estimaciones que permitan decidir la verosimilitud de algunas situaciones.
4. Elaborar un material didáctico y multimedia que pueda ser implementado en la docencia de esta asignatura.
5. Comprobar experimentalmente mediante diseños sencillos aquellas situaciones que puedan ser trasladadas al laboratorio.
6. Promover el trabajo en equipo.

TABLA 2.3: Competencias clave (tal como están definidas en la LOMCE) asociadas a cada uno de los objetivos del proyecto “La física del correcaminos”. La competencias pueden ser consultadas en el apartado de abreviaturas.

Objetivo	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
1		X		X		X	
2		X		X		X	
3		X		X			
4			X				
5		X		X			
6					X	X	

Después del análisis pormenorizado de todos los episodios se compiló todo el material en un doble formato. Por un lado, un cuadernillo en el que se presentan más de 50 diapositivas con capturas de pantalla para su análisis y por otra parte, 4 DVDs temáticos en los que se recoge tanto el material teórico como los cortes de vídeo o las experiencias de laboratorio.

Dado que el trabajo fue premiado en el Certamen nacional de jóvenes investigadores con una estancia de 15 días en un Centro del CSIC (IAA- Instituto de astrofísica de Andalucía) se les planteó a las alumnas hacer una adaptación de la serie a situaciones

modernas con tecnología y conocimientos actuales (dado que la serie creó su último episodio a finales de los años 60). El planteamiento era totalmente abierto y finalmente se optó por la realización de un guión para un hipotético episodio que pudiese ser emitido en nuestros días con un pequeño avance de lo que sería su storyboard. El objetivo de esta segunda parte del trabajo era, a propuesta del tutor del IAA, volver a utilizar la serie como elemento de divulgación de la ciencia.

Desarrollo - Parte 1

Esta investigación fue realizada por tres alumnas mientras cursaban 2º de Bachillerato. Dada la estrecha relación que ya tenía con estas tres alumnas de años anteriores, el profesor les propuso directamente realizar esta investigación que él se había planteado hacía ya algunos años: la física del correccaminos.

La fase de documentación inicial consistió en el visionado de la totalidad de los episodios de la serie. En el momento en el que las alumnas detectaban una situación digna de análisis apuntaban el tiempo en el reproductor de vídeo y semanalmente se reunían una tarde con el profesor para clasificar temáticamente las situaciones.

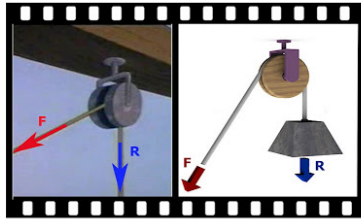
Una vez que se terminaron de clasificar todas, se pasó a su análisis científico. Para ello se observaba el corte de vídeo y mediante una captura de pantalla se superponía algún esquema aclaratorio como diagramas de fuerzas, representación de vectores, etc.; y cuando era posible se realizaban estimaciones como los tiempos de caída libre, velocidad de retroceso de un cañón, etc.

Otras situaciones de índole más cualitativa se comprobaron en el laboratorio. ¿Se puede impulsar uno con un ventilador colocado en nuestro propio carrito contra una vela? ¿Pueden dos objetos unidos por un resorte salir disparados en la dirección del más pesado?

Toda esta parte fue la más laboriosa y la más enriquecedora para las alumnas dado que el volumen de situaciones que se debatieron, calcularon o comprobaron experimentalmente fue muy grande. En este punto se dedicaban una o dos tardes semanales para el seguimiento del proyecto.

POLEAS

Una polea es una máquina simple que sirve para transmitir una fuerza. Se trata generalmente de una rueda maciza acanalada en el borde, que con el curso de una cuerda o cable que se hace pasar por dicho canal, cambia la dirección del movimiento facilitando el trabajo. En uno de sus extremos actúa la resistencia y en el otro la potencia.



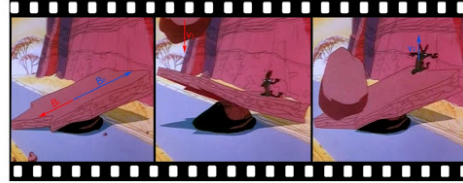
En el siguiente fotograma observamos cómo gracias a dos poleas, el coyote tirando de la cuerda paralelamente al suelo, consigue elevar el piano. Esto le facilita mucho el trabajo, pues pensemos que sin estos dos cambios de sentido que realizan las poleas el coyote tendría que tirar hacia arriba para levantar el piano, lo que sería más incómodo para él.



FIGURA 2.2: Ejemplo de lámina teórica del trabajo "La física del correccaminos" [Aguayo et al., 2012].

Palancas

En el correccaminos no encontramos lo que podríamos denominar palancas al uso, sino que la fuerza viene ejercida por una masa provista de velocidad, por lo que enfocaremos un problema desde otras perspectivas.



Suponiendo despreciable la masa de la barra y que las masas quedan acopladas a la barra después del impacto, se conservaría el momento angular del sistema:

$$\vec{L}_i = \vec{L}_f \Rightarrow r_1 m_1 v_1 = r_1 m_1 (w r_1) + r_2 m_2 (w r_2)$$

Estimando valores a partir de la imagen daremos: Al coyote una masa de 15kg y su brazo correspondiente de 2 metros, la roca que lo levanta tendrá una masa aproximada de 500 Kg y su brazo de 1 metro y la velocidad con la que llega la roca es de 10 m/s. ¿Con qué velocidad saldrá despedido el coyote?

De la ecuación anterior y utilizando $v = w \cdot r$ obtenemos:

$$v_2 = \frac{r_1 m_1 v_1}{r_1^2 m_1 + r_2^2 m_2} r_2 = \frac{1 \cdot 500 \cdot 10}{1^2 \cdot 500 + 2^2 \cdot 15} \cdot 2 = 17'85 m/s$$

FIGURA 2.3: Ejemplo de lámina-problema del trabajo "La física del correccaminos" [Aguayo et al., 2012].

Una vez que se tuvo todo este material se procedió a su almacenamiento para una mejor presentación. En primer lugar se elaboraron 54 diapositivas o láminas donde figuraba una captura de pantalla con la situación a analizar. Sobre ella, algún diagrama explicativo. Si era necesario se incluía en paralelo otra foto del dispositivo real (una polea, una palanca) para comparar con el del dibujo animado (ver figura 2.2).

En las láminas donde se plantea un concepto teórico se procedía a su explicación del modo más académico posible con el apoyo del profesor y de la bibliografía adecuada. De hecho, se pudo comparar a posteriori como algunas de las láminas creadas para el correccaminos tenían gran parecido con algunas ilustraciones de los manuales de Física universitaria.

En las que se pretendía realizar alguna estimación se presentaba la situación en formato problema con un planteamiento numérico y su desarrollo hasta llegar a un resultado. De

ese modo se daba respuesta sobre la verosimilitud o la magnitud del fenómeno allí presentado (ver figura 2.3). Todo ellos se imprimió en formato de cuadernillo dedicando una página a cada lámina.

Por otro lado, los 4 DVDs incluían el corte de vídeo, la lámina explicativa correspondiente, la comprobación en el laboratorio cuando la había y otras secuencias similares a la estudiada para que pudieran servir de trabajo de ampliación para el alumno.

Los resultados de un trabajo de este tipo son los evidentes: la creación de un material atractivo y en un contexto lúdico que consigue atender cuestiones básicas de física sin faltar al rigor. Pero más allá de este objetivo se trató de destacar esta conocidísima serie por encima de otras como un proyecto en el que los guionistas demostraron un gusto especial por la ciencia y la tecnología dado el ingenio de todos los montajes o de la buena actualización que tenía la serie en materia tecnológica (por ejemplo, ya aparecía un Sputnik en un episodio en el propio año de su puesta en órbita).

Desarrollo - Parte 2

En cuanto a la segunda parte en el IAA, aprovechando los estudios universitarios ya comenzados por las alumnas se incluyeron situaciones de Física, Ingeniería o Biotecnología. Mediante un enlace en el guión se accedía en cada caso a otro documento explicativo del fenómeno que tenía lugar. Así, se fueron introduciendo temas como el rayo LASER, los aceleradores de partículas, la superconductividad, terapias genéticas y una larga lista de situaciones que en su mayoría eran impensables en el momento en que se inició el desarrollo de la serie (1949). Por último el guión gráfico fue realizado por un ilustrador profesional que desarrolló a modo de storyboard una docena de situaciones de las que aparecían en el disparatado guión (ver figura 2.4). El sistema de trabajo consistió en la lectura del guión por parte del dibujante y mediante conversaciones telefónicas y correos se iba matizando lo que se pretendía de su labor. Los bocetos eran evaluados por el tutor y las alumnas y una vez dada la autorización el ilustrador procedía a la realización definitiva.

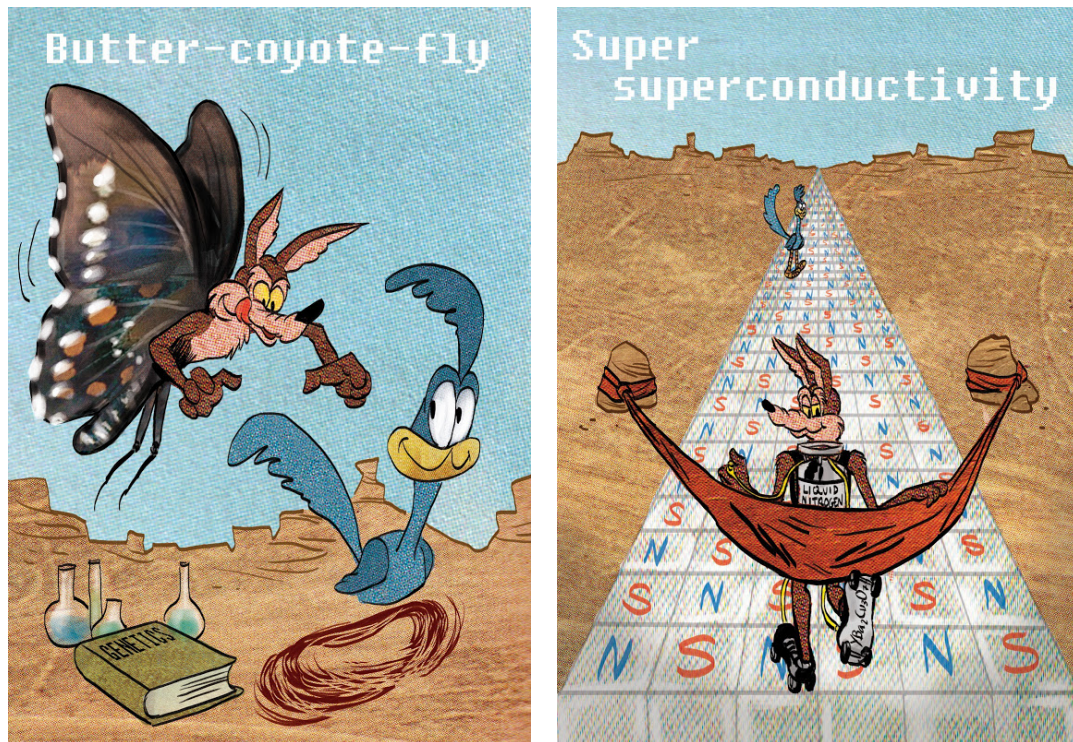


FIGURA 2.4: Dos ejemplos del guión gráfico desarrollado para la segunda parte del proyecto La física del Correcaminos [Aguayo et al., 2012].

Al margen del interés intrínseco del material, el gran logro para las alumnas fue poder realizarlo. El análisis de situaciones imposibles y la búsqueda de Ciencia en marcos no habituales fue de gran motivación para sus realizadoras. Por otra parte el poder discutir y debatir con el profesor sobre aspectos que ni siquiera figuraban en los temarios de Secundaria aportó una muy buena base para sus estudios universitarios posteriores.

Perfil de los alumnos

El perfil de estas tres alumnas era de nivel académico alto. También aquí dos de ellas acabaron obteniendo matrícula de honor en el Bachillerato. Más allá de sus resultados académicos su nivel de motivación e interés por la asignatura era muy alto y facilitó en todo momento el poder abordar un trabajo de tanto volumen.

En el plano personal, y dado que ya habían trabajado en cursos anteriores, la relación con el profesor resultó excelente. De igual modo, la amistad que entre ellas ya existía creaba el marco ideal para un proyecto de este tipo.

En cuanto a sus estudios posteriores dos de ellas iniciaron Ingenierías mientras la otra se decantó por la Biotecnología. La alumna que cursaba Ingeniería industrial decidió después de aprobar el primer curso cambiar de opción e iniciar el Grado en Física. Después de terminar con el premio extraordinario fin de carrera acaba de finalizar el máster.

De igual modo las otras dos alumnas han terminado sus respectivos estudios de máster y se encuentran decidiendo sus futuros pasos profesionales.

2.3.2.3. 2012-2013: Rotura de una copa por resonancia

Descripción del proyecto

En esta investigación, que se podría encuadrar en la clase de las comprobatorias, se pretendía no tanto probar la verosimilitud del experimento (obviamente hoy en día está más que documentado) si no las condiciones óptimas para que el efecto sea significativo y por tanto observable. Esto permitiría llevar a cabo este experimento en zonas de pocos recursos como el propio centro al no tener que disponer de equipación sonora profesional.

El experimento clásico consiste en determinar la frecuencia natural de vibración de una copa, o incluso en un vaso, y aplicar un sonido de frecuencia idéntica mediante cualquier generador de frecuencias. De ese modo se consigue que la copa entre en resonancia con la perturbación exterior hasta conseguir un aumento dramático en la amplitud de las oscilaciones hasta que el límite de elasticidad del vidrio se supera y la copa salta hecha añicos. En los primeros vídeos que se encuentran en la red o en la descripción de distintos artículos la determinación de la frecuencia propia de la copa se realiza a través del golpeo suave en uno de sus bordes y el posterior análisis por parte de un osciloscopio al que le llega la señal que proviene de un micrófono. Posteriormente un generador de frecuencias digital provoca el sonido dominante analizado por el osciloscopio que emitido a través de un altavoz convencional acaba provocando la citada rotura. En esta experiencia se trató de buscar alternativas que pudiesen hacer factible la demostración en el ámbito de una clase de educación secundaria. En buena medida esta idea surgió de la necesidad de sustituir algunos materiales dada la ausencia de muchos de los que se proponen en

el experimento original. A pesar de que la dotación del laboratorio era adecuada es fácil comprender que en un Centro de educación secundaria del ámbito rural no es en absoluto habitual disponer de estos elementos. En consecuencia, los objetivos que se buscaron fueron:

1. Principalmente, motivar al alumno por la materia de física mediante fenómenos espectaculares y anti-intuitivos.
2. Elaboración de material de laboratorio que pueda ser usado en el futuro.
3. Comprobar que, en efecto, sonido de una determinada frecuencia puede llegar a romper una copa.
4. Respaldar o desterrar mediante argumentos experimentales y teóricos leyendas urbanas como que las cantantes soprano pueden romper los cristales de una habitación con su voz.
5. Creación de un marco experimental en el que los alumnos puedan contrastar sus propias ideas.
6. Creación de vídeos explicativos con los alumnos como protagonistas para referencia futura.
7. Promover el trabajo en equipo.

TABLA 2.4: Competencias clave (tal como están definidas en la LOMCE) asociadas a cada uno de los objetivos del proyecto Rotura de una copa por resonancia”. La competencias pueden ser consultadas en el apartado de abreviaturas.

Objetivo	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
1		X		X			
2		X	X				
3		X	X				
4		X		X		X	
5		X		X		X	
6	X		X				X
7					X	X	

En la clasificación formal, este proyecto habría empezado como una investigación de nivel 3 pero que se convirtió en una de nivel 4 al ir añadiendo objetivos más ambiciosos propuestos por los alumnos.

Desarrollo

Esta concluyente experiencia de resonancia se enmarca en el currículo de 2º de Bachillerato en el bloque de vibraciones y ondas. En este caso los alumnos habían alcanzado un notable grado de interés por el tema a través de numerosas demostraciones que, de algún, modo iban presentando *in crescendo* los efectos espectaculares de la resonancia.

Aguayo había realizado en el marco de las clases de teoría (la asignatura era impartida en el laboratorio de Física) demostraciones de resonancia acústica con diapasones musicales en distintas afinaciones pudiendo observar desde la resonancia más simple hasta fenómenos que para el alumno son más llamativos como los batidos (pulsaciones). En las resonancias mecánicas se les presentó a los alumnos las distintas ondas estacionarias que se pueden obtener en muelles gigantes (el popular slinky) para comprender mejor el fenómeno que se produce en los tubos abiertos por un extremo. Un tubo de Kundt había servido para determinar la velocidad del sonido y las ondas estacionarias en una cuerda vibrante se visualizaron de modo muy atractivo mediante iluminación estroboscópica. El hecho de que alguna alumna interpretase instrumentos de viento sirvió para comprobar como las resonancias quedan alteradas al introducir Helio en estos instrumentos. También las figuras que se presentan en placas vibrantes (de Chladni) terminaron de conseguir el interés de la clase por este tipo de fenómenos.

El salto definitivo se obtiene al proponer al alumno que cite fenómenos resonancia que tengan efectos espectaculares y dirigir un poco sus respuestas hasta que se llega a la rotura de la copa. En ese momento es de especial importancia que el alumno o el grupo perciban la propuesta como un reto dado que el profesor confiesa sinceramente que no ha podido conseguir tal resultado. A pesar de ello se les presentan, después de haber explicado la situación, distintos vídeos donde de modo claro y didáctico se describe el experimento. La propuesta queda abierta a la clase que de modo general acepta el reto.

A partir de ahí, los recreos (de 30 mn) se convierten en el espacio de debate y experimentación habitual. Como se ha dicho anteriormente la asistencia a estos proyectos es completamente voluntaria y no tiene repercusión alguna en la nota. A pesar de ello, en general eran mayoritarias. Se les plantearon los problemas y limitaciones de experimentos anteriores y rápidamente comienza la fase de optimización de los recursos.

Un primer problema, respecto a los experimentos clásicos, era que este laboratorio no disponía de osciloscopio. Por tanto los alumnos y el profesor buscaron distinto software de edición de audio para el análisis de frecuencias. Finalmente se realizó mediante el programa *Amadeus* que sirvió para despejar una de las dudas originales y ver como cualquier software de este tipo puede sustituir sin problemas al osciloscopio. Después se les hizo ver a los alumnos la importancia de tener una copa de buen vidrio y construida en la medida de lo posible de una sola pieza, sin adornos añadidos ni elementos que pudieran añadir vibraciones secundarias. Así y de modo cómico para una clase de física cada día se trajeron copas de las casas de los alumnos y se compraron otras resultando muy interesante la visualización de los espectrogramas de cada tipo de vidrio. Se les propuso a los alumnos que identificasen y provocasen su frecuencia fundamental y eligieron el método de golpeo suave en su borde y el de frotamiento de su círculo perimetral. En ambos casos llegaron a los mismos resultados. Además se comprobó como en vidrios de calidad la frecuencia propia quedan reducida a un solo pico marcadísimo o como mucho a dos.

El interés, que ya es grande en ese momento, se enfrenta a otra de las dudas no resueltas en toda la documentación encontrada ¿Qué margen de error en Hz admite la experiencia? En el caso aquí descrito, desviaciones de 2Hz o superiores eran suficientes para invalidar el experimento. El tono era generado por un ordenador portátil con el citado software. El interés del alumno es máximo cuando comprueba, a modo de test, como una tirita de papel doblada sobre el borde de la copa empieza a “saltar” al aplicarle la frecuencia de resonancia.

Por último quedaba por resolver la duda de la intensidad de sonido necesario para provocar la rotura. A pesar de ser necesario un buen volumen (mejor proteger los oídos con tapones por el excesivo tiempo que se pasa en el laboratorio) no hace falta más que unos altavoces medios de equipo de música conectados al ordenador. Cuando se tenía la sensación de que la copa estaba oscilando el profesor pidió a un alumno que iluminase la copa con un estroboscopio de frecuencia ligeramente diferente a la de la copa para dejar ver el movimiento (en realidad un submúltiplo dado que la frecuencia de resonancia era superior al límite del osciloscopio) Una vez hecho esto se descubrió el

violento oscilar de la copa de un modo que ya no permitió a ningún miembro de la clase apartarse del experimento.

La última dificultad consiste en optimizar la potencia acústica de los altavoces. Algunos alumnos descubrieron en otros vídeos como el sonido era “colimado” mediante tubos o cajas agujereadas. Ellos construyeron unas máscaras de cartón que permitían enviar la máxima potencia contra la copa. Por otra parte se usaron dos altavoces y no se observó problemas de diferencias de fase entre ambos.

El inevitable resultado fue la rotura de esa copa y de otras más siempre tratando de verificar el procedimiento utilizado. Es destacable la conclusión de poder realizar la experiencia prescindiendo de los materiales clásicos por ser estos mucho más caros. De igual modo haber podido diseñar un buen método de aprovechamiento del sonido sin volúmenes elevados se puede considerar un buen resultado. Y por último haber establecido el margen de tolerancia de la frecuencia para que el experimento resulte exitoso era una cuestión que no se solía citar en las distintas referencias de las que disponían.

Sin duda, el mejor resultado fue haber conseguido el interés de todo un grupo que según relata su profesor quedaba patente en los gritos y abrazos entre ellos en el momento de haber conseguido la primera rotura.

Perfil de los alumnos

El grupo estaba constituido por 12 alumnos. Si bien todos estuvieron presentes en todas las sesiones principalmente 7 fueron los implicados en el diseño del experimento. El nivel académico de estos 7 alumnos se puede considerar medioalto y medio o medio-bajo el de los 5 restantes. De estos 7, las tareas se repartieron de modo voluntario sin necesidad de la intervención del profesor. Así unos se ocuparon más de las cuestiones de sonido, otros de la documentación y software y otros buscando nuevas alternativas al experimento. Por ejemplo se intentó realizar la experiencia con voz humana llegando a detectarse la vibración del papel sujeto a la copa pero en ningún modo su rotura. Obviamente ninguna

alumna era profesional del canto lírico con lo cual esa investigación quedó aplazada para una mejor ocasión.

Una cuestión de indudable valor era la buena relación entre los alumnos del grupo lo que generó un buen clima de trabajo. La relación con el profesor fue muy cómoda y de gran confianza lo que permitió sugerir y continuar otros experimentos que se realizaron durante el curso.

4 de los 12 alumnos optaron por ciclos formativos al año siguiente. De los restantes 5 estudiaron carreras técnicas (ingenierías o informática), uno economía y otras dos alumnas cursan actualmente el Grado en Física. Es destacable no solo que las dos alumnas recibieran matrícula de honor en Bachillerato si no que una de ellas inicialmente había elegido una ingeniería como carrera y cambió de opción a Física durante el citado curso.

2.4. Resultados de 10 años de Investigaciones Dirigidas

2.4.1. Vocaciones

En este curso en el IES Valle del Saja de los 15 estudiantes de 2º de Bachiller que han escogido Física como optativa y se van a presentar a la Prueba de Acceso a la Universidad (PAU), hay 3 que empezarán la carrera en ciencias físicas el siguiente año académico, eso hace el 20 %. Más importante es que este porcentaje inusualmente alto de vocaciones en física no es una anomalía de este curso en particular: de los 116 estudiantes a los que Alberto Aguayo ha dado clase en 2º de Bachiller durante los últimos 10 años, 12 han elegido ciencias físicas como carrera universitaria (Ver tabla 2.5). Esto hace que el IES Valle de Saja aporte cada año alrededor de un $p_{2^{bach} \rightarrow fis}^{(Saja)} = 10.3\%$ de sus estudiantes de ciencias a la Facultad de ciencias de la Universidad de Cantabria (UNICAN).

Por poner estos datos en perspectiva se va a calcular el porcentaje promedio de la región de alumnos de ciencias que acaban estudiando la carrera de ciencias físicas $p_{PAU \rightarrow fis}^{(Cant.)}$. Durante los últimos 9 años, la Facultad de Ciencias de la UNICAN ha registrado 302 nuevas inscripciones para la carrera de ciencias físicas (por motivos obvios no

TABLA 2.5: Muestra el número de alumnos que han cursado en los último 10 cursos la materia de física en 2º de Bachiller y cuantos de estos se acabaron matriculando en la carrera de ciencias físicas de la UNICAN. Fuente: Actas académicas del IES Valle del Saja.

Año	Bachiller Saja	Física Uni	%
2005/06	10	1	10.0
2006/07	9	0	0
2007/08	14	0	0
2008/09	15	1	6.7
2009/10	8	0	0
2010/11	14	1	7.1
2011/12	8	1	12.5
2012/13	13	3	23.1
2013/14	10	2	20.0
2014/15	15	3	20.0
Total	116	12	10.3

TABLA 2.6: Muestra el número de alumnos que se han examinado en los últimos 10 años de la materia de física en 2º de Bachiller y cuantas matriculaciones hubo en la carrera de ciencias físicas de la UNICAN ese año. Fuente: Actas académicas de la Universidad de Cantabria.

Año	PAU Física	Física Uni	%
2005	582	22	3.8
2006	608	20	3.3
2007	612	20	3.3
2008	575	19	3.3
2009	545	18	3.3
2010	415	26	6.3
2011	474	27	5.7
2012	477	47	9.9
2013	503	51	10.1
2014	470	52	11.1
Total	5261	52	5.7

se tendrán datos de las inscripciones de este año 2015 hasta Septiembre). Por otro lado, 5261 (Ver tabla 2.6) estudiantes se examinaron de la asignatura de física en la PAU en ese periodo de tiempo. Estos datos indican que el $p_{PAU \rightarrow fis}^{(Cant.)} = 5.7\%$ de estudiantes que se examinaron de física en la PAU acabaron inscritos en la carrera de ciencias físicas.

Las dos magnitudes que se han calculado no son directamente comparables puesto que no todos alumnos que cursan física en 2º de Bachiller acaban realizando el examen

TABLA 2.7: Muestra el número de alumnos que cursaron 2º de Bachiller en Cantabria y el número de los que se presentaron a la PAU ese año. Fuente: Actas académicas de la Universidad de Cantabria.

Año	Bachiller Cant.	PAU	%
2012	3799	1833	48.2
2013	3923	1972	50.3
2014	3935	2025	51.5
Total	11657	5830	50.0

de esta asignatura en la PAU. Para estimar el peso de este fenómeno se han recogido los datos de los últimos 3 años de alumnos que cursan bachiller con los alumnos que se presentan a la PAU en Cantabria (Ver tabla 2.7). El porcentaje de alumnos que se presentan a la PAU desde Bachiller es $k_{2bach \rightarrow PAU} = 50.0\%$. Teniendo este factor en cuenta, se tiene que $p_{2bach \rightarrow fis}^{(Cant.)} = k_{2bach \rightarrow PAU} \cdot p_{PAU \rightarrow fis}^{(Cant.)} = 2.9\%$.

Las dos magnitudes estimadas ahora son comparables lo que muestra que hay casi 4 veces más vocaciones de física entre los alumnos de Alberto Aguayo que en el promedio cántabro.

A pesar de las correcciones que se han hecho, aún hay algunos factores que deberían ser tomados en cuenta para realizar estos cálculos con mayor precisión. Por un lado, algunas nuevas matriculaciones en la facultad de física de la UNICAN vienen de otras provincias, del extranjero o de convalidación de estudios (por ejemplo, cuando se pasó de licenciaturas a grados por el plan Bolonia. Por otro lado, no todos los alumnos que cursan física en 2º de Bachiller deciden presentarse al examen de física. Sin embargo, estos dos factores contribuyen siempre a disminuir el promedio cántabro y por tanto el profesor Aguayo saldría aún mejor en la comparación.

2.4.2. Exalumnos

Durante el transcurso de este trabajo se entrevistó a tres exalumnos de Alberto Aguayo que decidieron estudiar Ciencias Físicas en la universidad después de Bachiller, cada uno de ellos participó en uno de los proyectos previamente descritos. Ricardo Gómez (ver anexo C.1) cursó 2º de Bachiller hace ya 9 años, es Licenciado en Física por la

Universidad Complutense de Madrid y tiene un Master en Física teórica en esa misma universidad. Yael Gutiérrez (ver anexo C.2) empezó sus estudios universitarios hace 6 años con matrícula de honor en Bachiller, tras pasar un año en Ingeniería Industrial se pasó al Grado de Física en la UNICAN, el cuál acabó con premio extraordinario fin de carrera y está actualmente acabando un máster en instrumentación en esa misma universidad. Celia Fernández (ver anexo C.3) acaba de terminar el segundo año del Grado de Física con excelentes calificaciones, también obtuvo la matrícula de honor en Bachillerato.

La entrevista se realizó por medio de un cuestionario con 9 preguntas abiertas (ver anexo B).

Las primeras 2 preguntas tratan de establecer cómo es y fue la relación del alumnos con el profesor. En estas dos preguntas, las respuestas de los 3 exalumnos es unánime: la relación pasada y actual con Alberto Aguayo es muy buena, mantienen el contacto y suelen reunirse con fines sociales. Dos de los entrevistados (Celia y Ricardo) reconocieron haber cambiado de idea respecto a sus estudios universitarios debido al interés despertado en el transcurso de sus proyectos.

Las 3 preguntas siguientes indagan sobre la experiencia del alumno sobre los proyectos en los que estuvieron implicados. Los tres entrevistados afirman ser capaces de explicar su proyecto en detalle sin realizar una consulta, de lo que podemos deducir que hubo un aprendizaje significativo. Todos ellos mejoraron su comprensión de la física y de los fenómenos cotidianos a través de ser capaces de manipular los experimentos, y Yael y Ricardo añaden que aprendieron a trabajar en equipo. Además, los tres exalumnos explican cómo todos sus compañeros de proyecto estaban sumamente implicados y participativos, y que el trabajo en equipo y el clima del proyecto era excelente.

Las últimas 4 cuestiones buscan la opinión del alumno sobre los beneficios de la metodología de ID. Los entrevistados están de acuerdo al afirmar que esta metodología es muy provechosa para los alumnos, sirviendo tanto para afianzar y entender fenómenos como para motivarlos. Además, creen que sería una metodología adecuada para ser aplicada en la universidad. Sin embargo, también están de acuerdo al afirmar que es necesaria

el apoyo de clases teóricas para introducir el fenómeno y conocer las leyes físicas que lo rigen. Finalmente, la pregunta más polémica ha sido si esta metodología funcionaría mejor o peor en pueblo que en ciudad; las respuestas han ido de mejor (Yael) por el mayor sentido de comunidad de los pueblos, a peor (Ricardo) por la mayor abundancia de recursos en una ciudad pasando por neutral (Celia).

En resumen, se puede decir que los tres entrevistados fueron influenciados positivamente en mayor o menor medida por esta metodología como evidencia su elección de carrera o el hecho de que verían bien su implantación en diversos contextos educativos. También es interesante ver como una constante en las entrevistas ha sido la exaltación del trabajo en equipo que es uno de los objetivos del profesor Aguayo.

2.4.3. Premios y reconocimientos

Más allá del valor educativo que tienen las IDs para los alumnos, Aguayo siempre trata de entrelazarlas con labores divulgativas de la ciencia para el instituto o para todo el pueblo, y siempre manteniendo a los alumnos como protagonistas. Esto unido a la calidad de las ID y al entusiasmo que adquieren los estudiantes hace que ha menudo estos proyectos acaben teniendo repercusión local, regional o incluso nacional. Aguayo ya ha recibido premios de la RSEF y la RSEQ por sus contribuciones a la divulgación y a la educación, aparte de sus funciones diarias como profesor suele impartir seminarios en investigación dirigida para los alumnos del Master de Profesorado de Secundaria de la UNICAN, organiza sesiones de divulgación para colegios de primaria y para todo el pueblo en asociaciones culturales, y suele participar en eventos científicos y divulgativos como la Bienal de Física de Santander de 2011. Por otro lado, algunas de las IDs han sido mandadas a concursos regionales y nacionales, consiguiendo excelentes valoraciones como fue el caso del proyecto "La Física del Correcaminos" que consiguió ser premiado en el concurso nacional Jóvenes Investigadores. [[Ministerio de educación, 2009](#)]

Capítulo 3

Conclusiones

3.1. Conclusiones

A lo largo de este trabajo se ha presentado el caso de un profesor y departamento que utiliza metodologías innovadoras con sus alumnos. La mayor parte de este estudio se ha dedicado a analizar dichas metodologías, a estudiar la filosofía del profesor Aguayo y a exponer de forma detallada alguno de los proyectos más significativos. Finalmente, se ha dedicado un apartado a analizar los resultados de 10 años de proyectos. Los datos han sido abrumadores, en el escenario más desfavorable Alberto Aguayo envía casi 4 veces más alumnos a la carrera de física que el promedio cántabro, y no sólo eso su trabajo (y el de sus alumnos) ha sido repetidamente reconocido en la escena nacional. Y aún así el logro más importante se puede extraer de las entrevistas con los exalumnos y de la filosofía del propio Alberto Aguayo y es la certeza de haber contribuido positivamente a la educación de decenas de personas, dejándoles una huella perdurable de la física y estableciendo un vínculo que en muchos casos ha acabado en posterior amistad. Es importante remarcar este aspecto pues, como el propio profesor afirma, en un contexto de educación secundaria el objetivo más importante es formar ciudadanos que sepan interactuar con la sociedad de una forma sana y constructiva, y eso es tan válido para los alumnos con vocaciones científicas y con premios como para los demás. Tras estas consideraciones se llega a la primera conclusión de este estudio: la metodología del profesor Alberto Aguayo funciona.

Este éxito puede ser resumido en las siguientes claves:

- **Trabajo en equipo:** Es uno de los pilares de la ciencia y uno de los principales valores que se trata de transmitir. El volumen de muchos de los trabajos que se plantean en el laboratorio hacen que sea inviable su realización individual, por lo tanto el trabajo en equipo es una pieza indispensable en estos trabajos y un aspecto que se trabaja desde el primer día. En las entrevistas de los exalumnos ya se pudo apreciar que la relación entre los miembros de los equipos iba de buena a muy buena.
- **Motivación:** Finalmente, la última pieza de esta combinación es la motivación. Tratar de hacer que el alumno se interese por el proyecto y lo haga suyo. De esta forma será él el que lo impulse y se responsabilice, permitiendo al profesor convertirse en un miembro más del equipo. Esto permite a los alumnos tomar control de su proceso de aprendizaje. Además una buena motivación inicial combinada con una investigación dirigida puede suscitar un gran interés por la física y la ciencia como demuestra el gran índice de vocaciones de este centro.

En resumen, se podría decir que la clave del éxito ha sido generar un buen clima de trabajo.

La física es un excelente motivador que apela a la curiosidad innata del ser humano y, como ciencia, exige un alto grado de trabajo en equipo presentando así una serie de herramientas y procedimientos que resultan ideales para este tipo de investigaciones.

3.2. Limitaciones

Como se ha indicado previamente el trabajo de campo de este estudio tuvo lugar durante dos meses en el propio IES Valle del Saja. Sin embargo, después de 10 años de Investigaciones Dirigidas Alberto Aguayo tiene un volumen ingente de material de todo tipo. Desde creaciones materiales hasta vídeos semiprofesionales de experiencias y, por

supuesto, el propio profesor que es toda una biblioteca en lo que a experiencias educativas se refiere. Por ello, 2 meses de recolección de material y un Trabajo Fin de Master por extensión y objetivos sólo pueden reflejar una pequeña parte de estas experiencias.

Por otro lado, una muestra de entrevistas de 3 personas es estadísticamente pobre sin embargo dadas las limitaciones temporales se tuvieron que establecer una serie de prioridades. Por tanto, se consideró que contactar con un número de alumnos adecuado para una muestra estadística consumiría requeriría demasiados recursos humanos y temporales. En consecuencia se decidió que se entrevistaría sólo al alumno más representativo de cada una de las investigaciones analizadas.

Finalmente, respecto a la estadística de vocaciones en física lo ideal hubiera sido haber contactado a todos los centros de Cantabria (o a una muestra significativa) y haber pedido estadísticas de los alumnos durante los últimos 10 años. Debido a los limitados recursos materiales y temporales con los que se ha llevado a cabo este estudio de caso, este sondeo en profundidad no ha sido posible y, a cambio, se ha tenido que hacer una estimación.

3.3. Prospección

Tras haber esta metodología y corroborado su efectividad, el siguiente paso para continuar este trabajo supondría la implantación de la metodología en otros contextos educativos:

- **ESO:** Uno de los puntos fuertes de esta metodología es que busca desarrollar la autonomía y la metacognición de los alumnos. Por ello implementar proyectos de este tipo adaptados para los diversos niveles podría ser muy provechoso.
- **Bachiller:** Es el entorno en el que el profesor Aguayo trabaja. El siguiente paso en esta metodología sería introducirlo en las clases oficiales y reflejarlo en el currículo. Esto permitiría una implantación multidisciplinar en un futuro.
- **Universidad:** Tal como se discutió con los exalumnos, este tipo de metodología encajaría excelentemente en algunas carreras, especialmente en las de ciencias.

Referencias

- Aguayo, A. (2015, Mayo). *Enseñanza de las ciencias mediante proyectos de enseñanza dirigida. un método de enseñanza para el alumnado de secundaria*. Seminario en el Master de Profesorado para Educación Secundaria de la UNICAN.
- Aguayo, A., Gutiérrez, Y., Laguillo, A., y Vila, M. (2012). *La física del correcaminos*. Descargado de <http://www.fqsaja.com/>
- Araya, V., Alfaro, M., y Andónegui, M. (2007). Constructivismo: Orígenes y perspectivas. *Revista de Educación*, 13(24), 76–92.
- Ayuntamiento de Cabezón de la Sal. (2011). *Cabezón hoy*. Recuperado el 18-Jun-2015 de <http://www.cabezondelasal.net/informacion-municipal-2/cabezón-hoy/>.
- Banchi, H., y Bell, R. (2008). The many levels of inquiry. *Science and Children*, 46(2), 26–29.
- Bell, R., Smetana, L., y Binns, I. (2005). Simplifying inquiry instruction. *The Science Teacher*, 72(7), 30–34.
- Chadwick, C. B. (2001). La psicología de aprendizaje constructivista. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos (México)*, XXXI(4), 111-126. Descargado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=27031405>
- HairerSoft. (2015). *Amadeus lite*. Recuperado el 13-Jun-2015 de <http://www.hairersoft.com/lite.html>.
- IES Valle del Saja. (2015). *Proyecto educativo*. Recuperado el 13-Jun-2015 de <http://iesvalledelsaja.com/proyecto-educativo/>.

- MacLeod, S. A. (2009). *Jean piaget - cognitive theory*. Recuperado el 22-Jun-2015 de <http://www.simplypsychology.org/piaget.html>.
- MacLeod, S. A. (2010). *Zone of proximal development - scaffolding*. Recuperado el 22-Jun-2015 de <http://www.simplypsychology.org/Zone-of-Proximal-Development.html>.
- MacLeod, S. A. (2012). *Bruner - learning theory in education*. Recuperado el 22-Jun-2015 de <http://www.simplypsychology.org/bruner.html>.
- Mahmud, M. C., y Gutiérrez, O. A. (2010). La psicología de aprendizaje constructivista. *Formación Universitaria*, 3(1), 11-20.
- Matthews, M. R. (1998). *Constructivism in science education: A philosophical examination*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Ministerio de educación. (2009). Disposición 18170. resolución de 2 de noviembre de 2009, de la dirección general de política universitaria, por la que se conceden los premios fallados en el xxii certamen «jóvenes investigadores» 2009. *BOE*(275).
- Quecedo, R., y Castaño, C. (2002). Introducción a la metodología de investigación cualitativa. *Revista de Psicodidáctica*(14), 0.
- RSEF. (2013). *Premios de física 2013*. Recuperado el 13-Jun-2015 de <https://rsef.es/images/Fisica/Premiados2013.pdf>.
- RSEQ. (2013). Concesión de la medalla de oro de la rseq y de los premios de la rseq 2013. *Anales de Química*, 109(2), 144–160.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Apéndice A

Guión para entrevistas con Alberto Aguayo

- El instituto: organización y políticas internas.
- Filosofía didáctica:
 - A) Visión sobre las necesidades de los alumnos en la ESO y Bachiller.
 - B) Forma de afrontar las clases y objetivos.
 - C) Metodologías a la hora de preparar una clase ordinaria.
 - D) Recursos motivacionales.
- El sistema educativo actual.
- Las investigaciones dirigidas:
 - A) Proyectos.
 - B) Relación con los alumnos.
- Educación continua de los docentes.

Apéndice B

Cuestionario para exalumnos

1. ¿Qué razones te llevaron a estudiar física en la universidad? ¿El proyecto que desarrollastes con Alberto Aguayo tuvo alguna influencia?
2. ¿Cómo es tu relación actual con Alberto?
3. ¿Qué aprendiste, de física u otras cosas, haciendo el proyecto?
4. ¿Serías capaz de explicar el proyecto que hiciste con cierto grado de detalle sin necesidad de hacer consultas?
5. ¿Cómo se comportaron el resto de tus compañeros antes esta metodología? ¿Cómo fue el trabajo en equipo durante el proyecto?
6. Si tuvieses que dar clase en un instituto, ¿tratarías de implementar algo parecido? ¿Te parece que esta metodología contribuye positivamente al aprendizaje del alumno, es decir, que añade a las clases normales?
7. ¿Crees que podrían sustituirse las clases normales por proyectos de este tipo?
8. ¿Crees que iniciativas de este tipo funcionarían mejor (o peor) en ciudades que en pueblos?
9. ¿Crees que este tipo de proyectos podrían funcionar en la universidad?

Apéndice C

Respuestas al cuestionario para exalumnos

C.1. Ricardo Gómez (Año Internacional de la Física)

1. Siempre me gustaron las matemáticas. Dicho esto yo tenía intención de hacer una ingeniería hasta que en 2º de Bachiller participé en un proyecto de Alberto y descubrí lo mucho que me gustaba entender cómo funciona la Naturaleza.
2. Excelente, somos amigos.
3. Aprendí a apreciar la belleza de la física, a discutir, a enfrentarme a problemas completamente nuevos y a trabajar en equipo. Respecto a física, mejoré mi conocimiento en muchísimos campos (presión, mecánica, electricidad,..) con mención especial a la Historia de la Ciencia.
4. Mi proyecto consistió en infinidad de miniproyectos, de los cuales no me acuerdo de los detalles de todos. Sin embargo, podría explicar sin problemas la física detrás cada uno de ellos.
5. Nuestro proyecto implicó a todos los alumnos de la clase sin excepción y la respuesta de todos mis compañeros fue excelente. El espíritu de equipo era máximo

- y todo el grupo funcionó como un reloj, cada uno en el rol que más le gustaba o que mejor se le daba.
6. Desde luego. Esta metodología permite un mayor entendimiento no sólo de los fenómenos físicos sino también de los procedimientos científicos. Fomenta el pensamiento crítico, el trabajo en equipo y el debate.
 7. No del todo. En una asignatura como física es imprescindible tener alguna clase teórica donde te introduzcan el fenómeno y las herramientas matemáticas para tratarlo.
 8. Creo que funcionarían mejor en ciudad, ya que habría más recursos disponibles. Durante la realización de nuestro proyecto tuvimos que pedir muchos favores y contactar con universidades. Por supuesto, algo así funcionará mejor con pocos alumnos.
 9. Si. En la carrera de física hay varias asignaturas dedicadas a los laboratorios sin embargo muchas de ellas apenas contribuyen a clarificar conceptos del estudiante. Creo que sustituir estas asignaturas por otras en las que los estudiantes colaboren con el profesor para conseguir un objetivo sería muy beneficioso.

C.2. Yael Gutiérrez (La física del Correcaminos)

1. El hecho de que las asignaturas que más me gustaban eran física y matemáticas. Las carreras técnicas se quedan demasiado en la superficie, no profundizan en el por qué pasan las cosas.

Los proyectos realizados con Alberto te dan una visión más realista de lo que estudia física, lo que hace que te intereses más por la carrera.
2. Muy buena. Quedamos regularmente para charlar.
3. En cuanto a la física, mucha mecánica y óptica clásica. Además de buenas técnicas y hábitos de manejo en el laboratorio. También a trabajar en equipo.
4. Sí.

5. En el grupo con el que trabaje la gente estaba muy implicada. Nunca hubo líos de que alguien no hiciera lo que debía. La colaboración y la ayuda que nos prestábamos era máxima. La relación entre nosotras era inmejorable.
6. Por supuesto. Esta metodología te permite aprender más y entender mejor los fenómenos que una clase convencional. Las clases convencionales están bien para que te lo expliquen una primera vez y te familiarices con el fenómeno. Sin embargo, una sesión de laboratorio en la que lo visualizas y cacharreas con ello te permite asimilar mejor la física que hay detrás.
7. Completamente no. Pero este tipo de actividades tendría que suponer un alto porcentaje de la asignatura. El problema es que en clases muy numerosos este tipo de aprendizaje sería más difícil de sobrellevar si solo hay un profesor presente en el aula.
8. En mi opinión peor. El carácter de la gente de ciudad es diferente. En los pueblos el trato es más cercano ya que todo el mundo se conoce. Esto hace que trabajar en grupo sea más cómodo.
9. Yo creo que sí. En vez de hacer sesiones de prácticas en las que cada sesión es un experimento individual y muchas veces inconexos, se podrían plantear un proyecto de este tipo realizado en esas horas. En las sesiones de teoría podrían desarrollarse los fundamentos teóricos para su realización.

C.3. Celia Fernández (Rotura de una copa por resonancia)

1. Mi primera opción de carrera era otra. En las clases con Alberto fue cuando empecé a conocer lo que es la física y me gustó muchísimo, cogiendo mucho interés. A la hora de la verdad decidí estudiar física porque quería seguir aprendiendo cómo funciona el mundo. El proyecto que desarrollamos con Alberto (y en general sus clases) me ayudó a ver que la física no es solo algo que se estudia en los libros, sino mucho más. Pudimos comprobar como el efecto de resonancia permitía

- romper una copa eligiendo una frecuencia de sonido adecuada y a la vez entender porqué ocurría eso.
2. Muy buena. Mantenemos el contacto y le cuento de como me van las cosas en la universidad, lo que voy aprendiendo en la carrera, que cosas me gustan más, cuales menos, etc.
 3. Aprendimos como funciona el efecto de resonancia que sufre una copa al verse expuesta a una onda de una determinada frecuencia. Esta frecuencia, la frecuencia de resonancia de la copa, podía hacer que la copa se "doblara" de una manera que creo que ninguno de nosotros pudiese imaginar antes de ver aquello hasta que al final conseguimos romperla. Nos ayudo a entender el concepto de onda y de frecuencia de una onda.
 4. Si. Podemos entender la copa como un cuerpo que oscila (doblándose). Dicha copa tiene una frecuencia de resonancia determinada por su geometría. Si una onda incide sobre la copa con esta frecuencia excita la copa y ésta se pone a oscilar cada vez con más amplitud. La amplitud va aumentando y aumentando hasta que al final la copa alcanza su tope de flexibilidad y se rompe. Nosostros hicimos incidir una onda de frecuencia de resonancia en una copa y pudimos observarlo. Este efecto solo ocurre a unas determinadas frecuencias muy concretas, si se repitiese el proyecto con una frecuencia al azar no habría excitación y no se observaría el efecto.
 5. El trabajo en equipo fue muy bueno. Se vio gran interés entre todo el grupo y todos nos esforzamos en que la cosa saliese bien. Al final cuando conseguimos romper la copa nos ilusionamos mucho. A medida que realizabamos el proyecto se iban aportando ideas por parte de todos, como fueron elegir la copa o ideas para el montaje experimental que utilizamos.
 6. Sin ninguna duda. La física es algo que se entiende mucho mejor si se puede ver y no solo leer en un libro. Resulta mucho más impresionante romper una copa a partir del concepto de resonancia que simplemente leer y estudiarte ese concepto. A mi me ayudó a interesarme por la física y querría que mis alumnos sintiesen

lo mismo al enseñarles yo. Muchos conceptos nuevos que aprendíamos (de óptica, movimiento ondulatorio, etc.) los pudimos ver de forma práctica.

7. Creo que más que actuar como sustitutos ambos modos de dar clase son complementarios. La forma práctica de ver la física es importante para facilitar su comprensión y ayudar a ver lo que en realidad es. Es muy importante saber que lo que se estudia nos está definiendo como se comportan las cosas de nuestro alrededor y no es algo que estudiamos porque sí, sin ir más allá. No obstante también es muy importante conocer la física del proyecto, la teoría que hay detrás y saber que leyes físicas estamos comprobando experimentalmente con el proyecto, algo que en nuestro caso estudiamos previamente en las clases.
8. No creo que haya diferencia entre la localización del instituto. Más bien depende del profesor que lo lleve a cabo y de los alumnos.
9. Si, nosotros la teoría que aprendemos la aplicamos en los laboratorios. Además a mí este tipo de proyecto me parece una vía excelente de divulgación científica.