

Ciudad Sostenible: un proyecto para integrar las materias científico-tecnológicas en Secundaria

Francisco J. Benjumeda^{1,a}, Isabel M^a Romero^{2,b}

¹IES El Parador. Roquetas de Mar (Almería). España.

²Departamento de Educación. Universidad de Almería. España.

^aipacobenjumeda@gmail.com, ^bimromero@ual.es

[Recibido en diciembre de 2016, aceptado en abril de 2017]

El aprendizaje basado en competencias, el uso de metodologías activas y contextualizadas, y la integración de las materias científico-tecnológicas son importantes demandas de los currículos actuales para las que el Aprendizaje Basado en Proyectos es especialmente adecuado. Este artículo muestra un ejemplo de proyecto interdisciplinar para 2º de ESO que vincula las materias de Ciencias, Matemáticas y Tecnología en el diseño de una ciudad sostenible. Se describe la secuencia didáctica de tareas abiertas que convergen a la elaboración del producto final y su potencial para integrar conocimientos, habilidades y procesos propios de estas materias. Finalmente, se avanzan algunos resultados de su implementación sobre la motivación y el aprendizaje del alumnado.

Palabras clave: Aprendizaje Basado en Proyectos; STEM; ECBI; Sostenibilidad energética; Secundaria.

Sustainable Town: a project for integrating science, mathematics and technology at secondary school

Competency-based learning, the use of active and contextualised working methodologies, and the integration of the subjects belonging to the scientific-technological area are highly demanded by current curricula. Project-Based Learning is especially suitable for these purposes. This article provides an example of an interdisciplinary project for the 2nd level of Compulsory Secondary Education in Spain, which involves the subjects of Science, Maths and Technology in the design of a sustainable town. The didactical sequence of open tasks which converge to the final product is presented, and its potential for integrating knowledge, skills and processes inherent to these disciplines is shown. Finally, some results about students' motivation and learning after its implementation are advanced.

Keywords: Project-Based Learning; STEM; IBSE; Energy sustainability; Secondary school.

Para citar este artículo: Benjumeda F. J., Romero I. M. (2017) Ciudad Sostenible: un proyecto para integrar las materias científico-tecnológicas en Secundaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 14 (3), 621-637. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10498/19511>

Introducción

Varios informes europeos y de importantes organismos internacionales como la OCDE, reflejan la necesidad de un profundo cambio en los métodos de enseñanza de las ciencias que imperan en las aulas de secundaria en España (Abril, Romero, Quesada, García 2014). El aprendizaje por competencias (conocimientos, capacidades, destrezas y actitudes en diversos contextos) y la formación integral del individuo que pretende nuestro actual sistema educativo, requiere fomentar la motivación y generar aprendizajes significativos, transferibles, funcionales y duraderos. Para ello, se recomienda utilizar «metodologías activas y contextualizadas [...] que faciliten la participación e implicación del alumnado y la adquisición y uso de conocimientos en situaciones reales» (MECD 2015). Las estrategias interactivas, el trabajo cooperativo, el aprendizaje por indagación o el uso de proyectos interdisciplinares son algunas propuestas.

Esto convierte hoy día al método de Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) en un referente de gran potencial educativo. A través de temáticas, contextos y dinámicas realistas, auténticas y desafiantes (Thomas 2000), el ABP utiliza como estrategia central el diseño de un producto o la búsqueda de respuestas a preguntas complejas para involucrar al alumnado en un proceso

de aprendizaje y puesta en práctica de los conocimientos y habilidades programados (Mettas y Constantinou 2007). La versatilidad del método permite combinar, en un mismo proyecto, diversas ofertas metodológicas y distintos bloques de contenidos de una o varias asignaturas. Este carácter interdisciplinar lo hace especialmente apropiado para la enseñanza-aprendizaje integrada de materias que demanda actualmente la educación STEM (acrónimo en inglés de Ciencias, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas), cuyo desarrollo ha adquirido una gran importancia en la Unión Europea y en potencias como Estados Unidos, Australia o Corea (Freeman, Marginson y Tytler 2015).

Combinar ABP y STEM supone la creación de proyectos realistas que desarrollen, de manera simultánea e integrada, los currículos de las materias científico-tecnológicas. Así, el diseño de un producto final ambicioso genera un proceso de tareas abiertas complejas que implican la investigación, la resolución de problemas auténticos, el diseño de estrategias y/o experimentos, la recogida de datos, la reflexión, la comunicación, el debate de ideas, y el uso de las TIC (Blumenfeld, Soloway, Marx, Krajcik, Guzdial y Palincsar 1991, Moursund 1999). Esto fortalece las posibilidades y beneficios atribuidos al ABP y a la educación STEM:

- Aumentar la motivación y confianza de los estudiantes, mejorando sus actitudes hacia el aprendizaje y reduciendo el absentismo (Thomas 2000, Ocaña 2015).
- Ayudar a los estudiantes a organizarse y ser responsables, ofreciéndoles un rol más activo en su proceso de aprendizaje y un significativo grado de autonomía (Jones, Rasmussen y Moffitt 1997, MECD 2015).
- Fomentar el aprendizaje colaborativo y el trabajo en equipo, promoviendo la reflexión, el debate, la comunicación de ideas, la elaboración de hipótesis, la tarea investigadora y el espíritu crítico (Jones, Rasmussen y Moffitt 1997, MECD 2015).
- Promover la transferibilidad de los aprendizajes, favoreciendo la retención a largo plazo y la mejora de aprendizajes posteriores relacionados (Ocaña 2015).

La creación de estos proyectos interdisciplinares requiere una planificación docente reflexiva y coordinada para diseñar productos de calidad a través de una secuencia estructurada, integradora y coherente de tareas que, a su vez, satisfagan las exigencias curriculares de las asignaturas implicadas. Su puesta en práctica supone cambios significativos en los métodos tradicionales de enseñanza y una mejora en la colaboración profesional que sigue sin ser habitual en nuestras aulas, y que requiere dotar al profesorado de las competencias, las estrategias y los recursos didácticos necesarios (Abril *et al.* 2014). Por tanto, pese a ser demandada cada día por más docentes, la difusión de este tipo de experiencias es aún escasa.

En el centro público IES El Parador (Almería) se implementan, desde 2013, los currículos de seis asignaturas de 1º y 2º de ESO mediante un modelo interdisciplinar de ABP. El curso se divide en tres proyectos, de duración trimestral, en los que el alumnado se organiza en equipos heterogéneos de cuatro miembros para elaborar un producto final que expone públicamente o ante expertos. Este artículo tiene como finalidad:

- (1) Mostrar un modelo de proyecto interdisciplinar, basado en el ABP, en el que se trabajan las materias del ámbito científico-tecnológico de forma integrada.
- (2) Describir la secuencia, diseño y fundamentación de las principales tareas que articulan el proyecto, incluyendo el producto final.
- (3) Ofrecer unos primeros resultados sobre las posibilidades que ofrece la metodología del ABP y la integración entre Ciencias, Matemáticas y Tecnología, para la implicación y motivación del alumnado y su aprendizaje de estas disciplinas.

Diseño y desarrollo de la experiencia

Durante el segundo trimestre del curso en 2º ESO (12-13 años), el proyecto *Ciudad Sostenible* pone de relieve la actual situación de sobreexplotación de recursos e infunde en el alumnado la necesidad urgente de una transición hacia la sostenibilidad energética y medioambiental que repercute, además, en una mejora social y ciudadana (Vilches y Gil 2015, Barandiarán, Guerra, López-Gay, Martínez y Pérez de Landazábal 2011). Partiendo de la opinión de los vecinos, el producto final (Anexo 1) recoge las propuestas urbanísticas de cada equipo para transformar y mejorar la vida en su barrio. Además, aunando resultados científicos de la experimentación y su creatividad, se incluye el diseño detallado de un modelo propio de edificio bioclimático elegido entre una vivienda, un hospital, un gimnasio, un centro comercial, un centro cultural y un instituto. Los resultados son expuestos ante un comité de expertos en la materia.

Desde el ámbito científico-tecnológico, el producto se elabora a partir de cuatro tareas abiertas complejas, divididas en dos bloques (figura 1), que guían el desarrollo del proyecto. Lejos de una simple yuxtaposición, pretenden integrar conocimientos, habilidades, procesos y modelos propios de cada materia con experiencias de aprendizaje rigurosas y significativas. Son acompañadas de actividades procedimentales propias de cada disciplina y sus explicaciones.

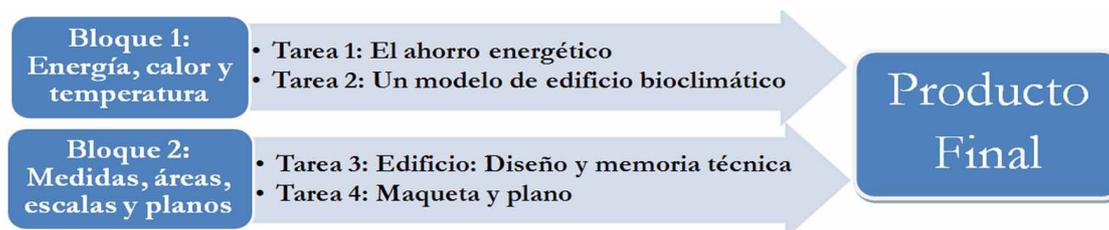


Figura 1. Desarrollo del proyecto, con sus dos bloques de tareas, y el producto final.

A continuación se detallan las tareas abiertas incluyendo los objetivos, los contenidos científicos, matemáticos y tecnológicos que se trabajan, y su aportación al producto final.

Bloque 1: Energía, calor y temperatura

El concepto de energía y su importancia en nuestra sociedad constituyen el eje temático de este bloque. A través de la construcción e interpretación de funciones, gráficas y diagramas, se promueve la reflexión y el análisis de la situación actual para extraer conclusiones y redactar argumentos que justifiquen la necesidad del ahorro energético y el uso de energías renovables, determinando además diversas medidas de eficiencia energética de su edificio definitivo.

Tarea 1. El ahorro energético

Mediante vídeos, artículos, y numerosos gráficos y diagramas¹ (figura 2), se hace reflexionar a los equipos sobre el calentamiento global, el cambio climático y la problemática energética actual derivada de la dependencia de los combustibles fósiles como fuente de energía primaria, y exponer sus argumentos, propuestas y soluciones mediante un debate en el grupo-clase.

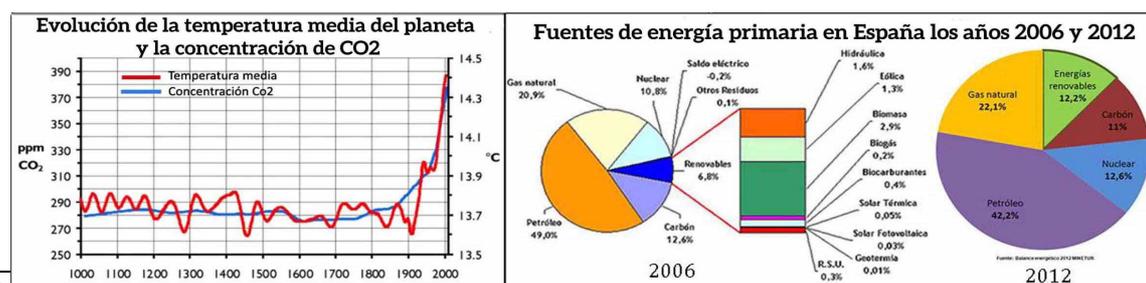


Figura 2. Ejemplos de gráficos y diagramas de esta tarea de investigación.

A partir del debate, las áreas de Lengua e Inglés colaboran para que cada equipo elabore un texto expositivo que incluya resultados, conclusiones y medidas de ahorro energético usando argumentos científicos y algunas gráficas. La figura 3 muestra los objetivos, contenidos y aportación al producto de esta tarea, que además pone de relieve el elevado gasto de energía que suponen en un edificio la calefacción y la iluminación, dando pie a la siguiente tarea.

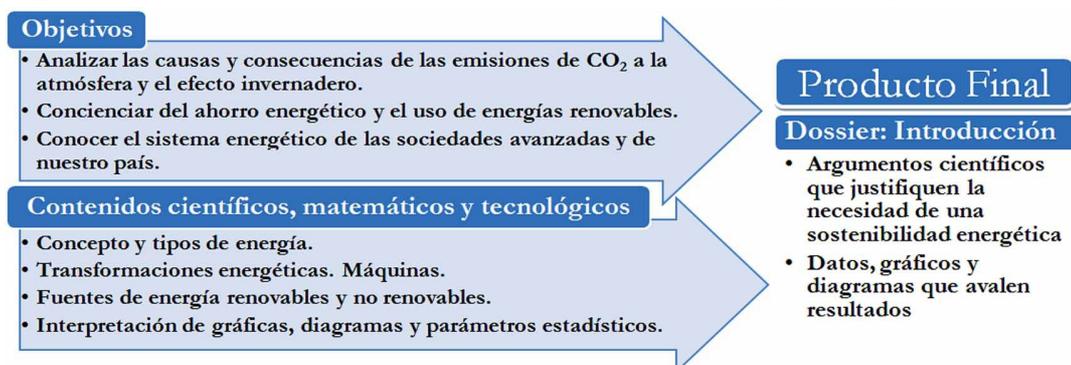


Figura 3. Objetivos, contenidos y aportación al producto final de la tarea 1.

Tarea 2. Un modelo de edificio bioclimático

Esta tarea se divide en tres experiencias que utilizan un modelo de enseñanza de las Ciencias basado en la indagación (ECBI), cuyo esquema consiste en realizar hipótesis, probar mediante experimentación la validez de esa predicción, y usar los resultados para explicar lo ocurrido (Caamaño 2012, Martínez-Chico, Jiménez y López-Gay 2015). Las dos primeras son sencillas experiencias para analizar fenómenos a partir de gráficas tiempo-temperatura, e introducen la tercera actividad, que determinará las medidas de eficiencia energética de los edificios. La figura 4 muestra objetivos, contenidos y aportación al producto de esta tarea.

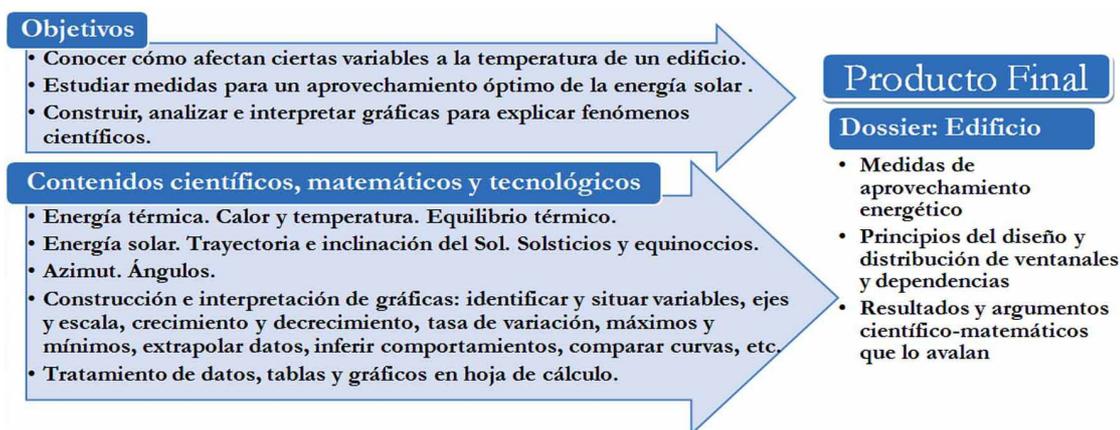


Figura 4. Objetivos, contenidos y aportación al producto final de la tarea 2.



Figura 5. Introducción de un modelo de ECBI.

En el primer experimento, *La Temperatura del agua y el aceite* (figura 5), se introducen los conceptos de calor, temperatura y equilibrio térmico mediante un esquema ECBI que concluye con un análisis en términos energéticos de las curvas de temperatura obtenidas (López-Gay, Jiménez y Martínez-Chico 2015).

La segunda experiencia utiliza un applet (figura 6) extraído del Proyecto COMPASS² (2011) en el que pueden manipularse algunas

²www.compass-project.eu/

variables que afectan a la temperatura interior de una vivienda: la temperatura exterior, el grosor de los muros, el aislamiento térmico, o el número de fuentes de calor en su interior.



Figura 6. Una imagen del applet utilizado en la actividad.

Partiendo de preguntas sencillas que guían la indagación, se llega a experiencias más complejas en las que los equipos deben analizar, de forma sistemática, la influencia de todas las variables. Relacionar la gráfica con el comportamiento de la temperatura facilita la comprensión de conceptos como el crecimiento, decrecimiento, tasa de variación y equilibrio térmico.

Estas experiencias introducen y preparan al alumnado para la última actividad de la tarea 2, en la que se obtendrán argumentos científicos que permitirán determinar las medidas de ahorro energético que los equipos incorporarán al diseño de su edificio. La actividad usa material didáctico del Proyecto PSE-ARFRISOL³ (Barandiarán *et al.* 2011) y su equipo experimental: una maqueta con pared intercambiable entre ventanas de varios tamaños y muros de diversos materiales, y un termómetro digital para medir la temperatura interior (figura 7).



Figura 7. Equipo experimental PSE-ARFRISOL utilizado.

La actividad se inicia con un debate en clase sobre posibles medidas pasivas y activas de aprovechamiento de la radiación solar para crear condiciones de confort en el interior de un edificio: ¿Cómo deben ser las ventanas y muros, en sus cuatro orientaciones, para favorecer la entrada de energía solar y amortiguar la salida de energía térmica? ¿Cuál debe de ser el tamaño apropiado de dichas ventanas? ¿Qué otro tipo de medidas y dispositivos pueden disminuir esta pérdida de energía y captar a su vez la luz apropiada? Con la información recogida y otros argumentos basados en conjeturas, experiencias propias, o tareas ya realizadas, cada equipo diseña un boceto del exterior de su edificio utilizando una simple caja, tijeras, pegamento y cartulinas. Las siguientes experiencias tratan de dar respuesta a estas cuestiones.



Figura 8. Con un trozo de aro y un estuche, los equipos exponen sus argumentos sobre la mejor orientación para los ventanales de su edificio según el movimiento del sol.

Al estudiar la inclinación y trayectoria del sol durante el año (figura 8), el alumnado analiza

³www.arfrisol.es/educacion/web/index.html

qué orientación de los ventanales de un edificio permite mayor aprovechamiento de su luz y calor, y las consecuencias para la construcción de edificios y el desarrollo urbanístico de una ciudad.

Posteriormente, se plantean dos experiencias en las que cada equipo utiliza, simultáneamente, tres maquetas experimentales: con ventana grande, con ventana pequeña y con muro. Los datos recogidos son tratados en una hoja de cálculo para generar las gráficas definitivas.

En la primera, realizada en el exterior (figura 9), las tres maquetas se orientan al sol y se mide la temperatura interior durante 45 minutos. En la segunda, desarrollada en clase (figura 10), se exponen las maquetas a la luz de un foco hasta alcanzar los 35°C. A continuación, se cierra el habitáculo y se observa el descenso de temperatura en cada una.

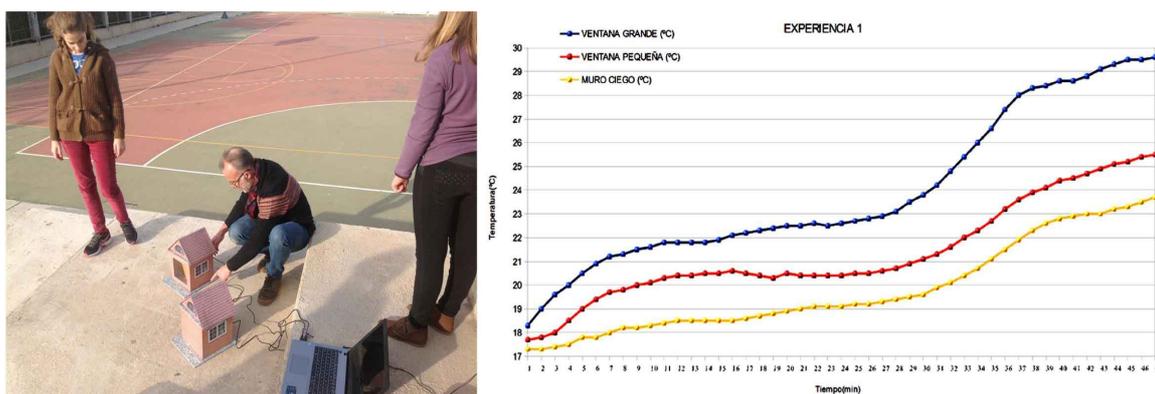


Figura 9. Maquetas de viviendas conectadas a termómetros con sensores y gráfica elaborada por un equipo

Las cuestiones previas sitúan al alumnado en el contexto de los experimentos, haciéndole razonar y justificar posibles resultados y su aplicación al problema. Las actividades posteriores propician un análisis más exhaustivo de las gráficas y sus implicaciones científicas.

La tarea finaliza con cuestiones de carácter interpretativo que ayudan a los equipos a analizar los resultados, extraer conclusiones y obtener argumentos sobre el problema planteado, determinantes para explicar y defender las características del edificio construido.

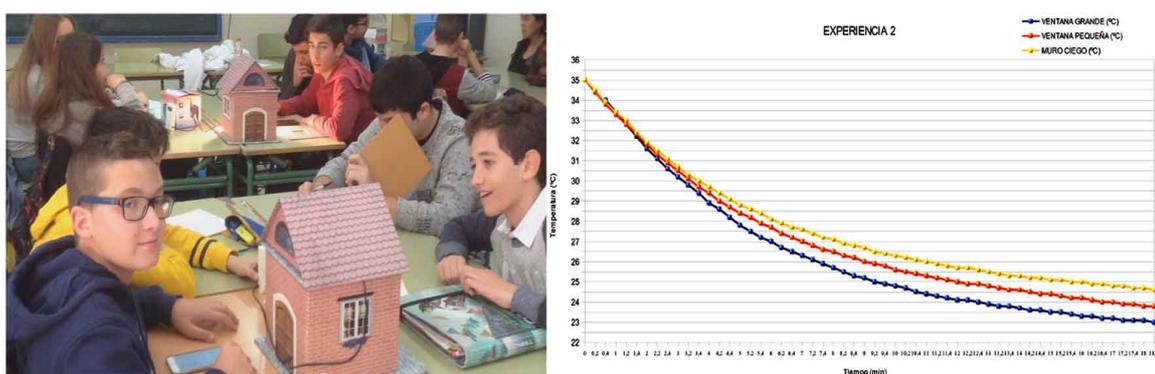


Figura 10. Trabajo de los equipos en la segunda experiencia y gráfica obtenida por uno de ellos .

La figura 11 muestra el potencial de esta tarea que vincula un esquema ECBI (Martínez-Chico *et al.* 2015) y uno de modelización matemática (Blum y Leiß 2007, Kaiser y Stender 2013), integrando, de forma sistemática, conocimientos y procesos de ambas materias.

ESQUEMA ECBI	INDICADORES DEL PROCESO	ESQUEMA MODELIZACIÓN MATEMÁTICA	
Formular y justificar hipótesis, explicaciones o modelos	Discutir aspectos a tener en cuenta en la construcción exterior del edificio para aprovechar al máximo la Energía Solar, justificando la distribución en base a argumentos relacionados con la luz y temperatura (calor) en el interior	Paso de situación real a modelo o esquema	Formulación matemática de las situaciones
	Elaborar un modelo sencillo con la distribución de ventanas grandes, pequeñas y muros en el exterior donde se reflejen los argumentos anteriores		
	Aislar e identificar las variables que intervendrán en el problema		
Búsqueda de pruebas	Diseñar experimentos que permitan verificar o refutar sus argumentos	Modelo o formulación matemática	
	Buscar información y otros modelos para profundizar en su construcción		
	Formular unas primeras hipótesis sobre el experimento y sus implicaciones para el modelo definitivo		
	Exponer las posibles variables y los aspectos matemáticos que permitirían analizar la situación y obtener conclusiones		
Analizar e interpretar la información y datos recogidos	Reflexionar sobre posibles resultados mediante la interpretación de supuestos en forma de gráficas	Empleo de conceptos, datos, procedimientos y razonamientos matemáticos	
	Realizar la experimentación y obtener datos		
	Analizar matemáticamente los datos obtenidos en el experimento		
Comunicar e intercambiar ideas sobre los resultados obtenidos	Interpretar los resultados y extraer conclusiones sobre la temperatura alcanzada en el interior del habitáculo y su posterior conservación	Validar soluciones	Interpretación aplicación y valoración de los resultados matemáticos
	Evaluar las explicaciones y distribución inicial planteada por cada equipo a la luz de los resultados obtenidos en el experimento		
	Comunicar y argumentar las modificaciones posibles en los modelos iniciales		
	Evaluar las conclusiones a la luz de las explicaciones científicas		
Utilizar, revisar y evaluar el modelo o explicaciones	Contrastar los resultados obtenidos y su modelo definitivo con otras construcciones eficientemente energéticas	Exponer las conclusiones del estudio	
	Buscan nuevas alternativas para aprovechar al máximo la Energía Solar (placas solares, orientación del edificio, etc.)		
	Considerar otros factores para la distribución y construcción de dependencias en el interior del edificio o la incorporación de toldos, voladizos, etc.		
	Incorporar al producto final los resultados, justificando la distribución de ventanas y muros utilizando diferentes argumentos ya contrastados		
	Exponer los resultados del estudio en un informe utilizando razonamientos científicos argumentados y explicando las herramientas matemáticas utilizadas		

Figura 11. Proceso de la tarea y vinculación entre el esquema ECBI y un esquema de modelización matemática. Los indicadores centrales sombreados en verde son exclusivamente de carácter científico y no matemático.

Bloque 2: Medidas, áreas, escalas y planos

Una vez estudiadas las posibles medidas energéticas, y para conseguir que los equipos realicen un diseño realista del edificio bioclimático, este bloque hace hincapié en otros aspectos técnicos. Se trabajan en profundidad numerosos conocimientos geométricos, incluyendo el concepto de medida y el uso de escalas. Estas tareas, alejadas de problemas teóricos, favorecen el aprendizaje de magnitudes al vincularlas a contextos reales de aplicación (Domènech 2014), promoviendo el uso de instrumentos de medida, materiales manipulativos y herramientas tecnológicas.

Tarea 3. El diseño del edificio y la memoria de calidades

Utilizando objetos de diferentes tamaños y estancias de su edificio (un libro, una cama y una cocina son ejemplo para una vivienda), cada equipo busca referentes y estrategias para estimar sus longitudes, superficies y volúmenes. Posteriormente, con diversos instrumentos de medida y utilizando fórmulas sencillas, se calculan los valores reales y los errores cometidos.

Esta actividad propicia el uso de medidas realistas en la construcción que cada equipo realiza del interior de su edificio usando un programa gratuito de diseño gráfico⁴. La confección en el plano de las distintas dependencias es ampliada con la colocación y distribución de puertas y ventanales e incluso del mobiliario, reflejadas en el producto con instantáneas en 3D (figura 12).



Figura 12. Imagen 3D de una vivienda.

Tras un estudio detallado de medidas y áreas del edificio, y utilizando catálogos de solería y rodapiés, la tarea concluye con una memoria de calidades (figura 13), elaborada mediante una hoja de cálculo, con la cantidad y precios de los materiales utilizados en cada dependencia.

MEMORIA DE CALIDADES CENTRO DEPORTIVO												
Cantidad	Dependencia/Estancia	Medidas		Perímetro (m)	Tipo Rodapié	Precio (€/m)	Precio total (€)	Área (m²)	Tipo Suelo	Precio (€/m²)	Precio total (€)	
		Largo (m)	Ancho (m)									
1	Baño	6,21	3,57	18,55	ABC-5	13,95	258,77	21,86	A2	8,35	182,53	
1	Sala de baile	6,87	3,52	19,85	ABC-3	8,25	163,76	26,27	AB-5	12,10	317,87	
1	Oficina	5,00	4,90	19,80	ABC-3	8,25	163,35	24,50	AB-3	7,85	192,33	
1	Sala de Yoga	6,81	5,00	23,62	ABC-3	8,25	194,87	34,05	AC-5	12,90	439,25	
2	Piscina	27,74	24,44	104,36	NO	NO	0,00	677,96	A2	8,35	11321,93	
2	Vestuarios A	8,76	5,12	17,76	ABC Multi.	11,20	397,82	179,40	A3	9,15	3283,02	
1	Sala de bicicletas estáticas	6,83	5,00	23,66	ABC Multi.	11,20	264,99	34,15	AB-5	12,10	413,22	
1	Vestuarios B	6,80	2,66	18,92	ABC Multi.	11,20	211,90	18,08	A2	8,35	150,97	
1	Vestuarios B	6,80	2,66	18,92	ABC Multi.	11,20	211,90	18,08	A2	8,35	150,97	
							Subtotal	1867,37			Subtotal	16452,07
							IVA (21%)	392,15			IVA (21%)	3454,93
							TOTAL	2259,52			TOTAL	19907,01
										Precio Definitivo (€)		22166,5

Figura 13. Memoria de calidades de un centro deportivo con medidas reales, modelos y precios.

Tarea 4. La maqueta y el plano

El diseño interior realizado en la tarea anterior y la escala gráfica incluida en el programa de diseño facilitan la comprensión de la escala numérica y el traslado de medidas reales en la confección del plano físico y la maqueta del edificio, con la que concluye su construcción. La figura 14 muestra objetivos, contenidos y aportación al producto de las tareas de este bloque.

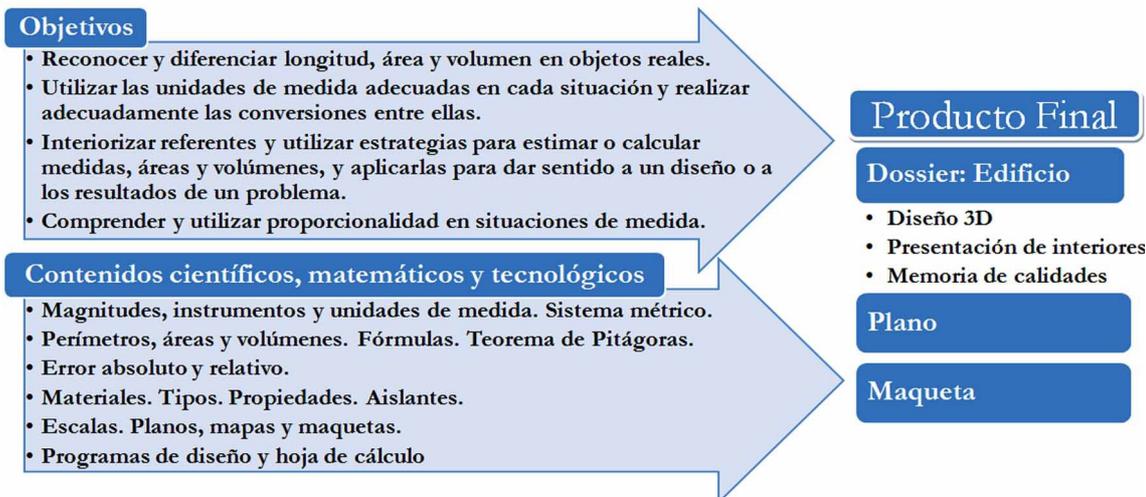


Figura 14. Objetivos, contenidos y aportación al producto final de las tareas 3 y 4.

⁴www.homestyler.com

El producto final

Durante aproximadamente 10 minutos, los equipos alternan el inglés y el castellano para presentar un plano de su barrio en el que plasman con detalle sus propuestas de sostenibilidad y las características, arquitectura y diseño de su edificio mediante un completo dossier, una presentación digital, un plano a escala y una maqueta (figura 15).



Figura 15. Algunas muestras de productos finales expuestos por los equipos.

En esta ocasión, el comité de expertos que asistió a la exposición y planteó sus cuestiones estaba compuesto por un arquitecto, un concejal de urbanismo, un ingeniero y jefe de proyectos de la Plataforma Solar de Almería y profesores universitarios de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Esto propició que los mejores trabajos fueran expuestos ante estudiantes de Didáctica de las Ciencias en la Universidad de Almería (figura 16) para ilustrar los resultados de un enfoque ECBI. Este reconocimiento supuso un aspecto muy motivador para los equipos, que fueron acompañados por todos sus compañeros de clase.



Figura 16. Alumnado en la Universidad de Almería y siendo presentados a estudiantes universitarios.

Resultados

Para valorar la propuesta, al final del proyecto se pasaron cuestionarios de opinión a los 81 estudiantes implicados sobre diferentes aspectos de la metodología (Anexo 2), y se llevaron a cabo dos entrevistas semiestructuradas: con seis equipos y con una muestra de seis estudiantes de diferente perfil en rendimiento, implicación y participación.

Según los cuestionarios, casi el 70% del alumnado prefiere el aprendizaje por proyectos a las clases convencionales, y reconoce que esta metodología les hace implicarse más en las tareas y les enseña a ser más autónomos y a tener iniciativa propia (75%). La mayoría afirma en las entrevistas que, invirtiendo tiempo suficiente en las tareas, el esfuerzo que supone realizar un producto final exigente les permite aprender mejor y conocer aplicaciones prácticas, como indican más del 85% en los cuestionarios. Además, pese al nerviosismo que les provoca,

consideran un gran reto la exposición ante expertos y su utilidad para aprender a expresarse y hablar en público, demostrando, en sus propias palabras, «que sabemos de lo que hablamos, que lo hemos hecho nosotros, y que lo hemos entendido».

Otro aspecto fundamental del ABP, el trabajo colaborativo, también es valorado positivamente en los cuestionarios, donde más del 65% del alumnado lo prefiere a trabajar solos. En las entrevistas destacan la utilidad del trabajo en equipo para su futuro laboral y sus posibilidades para fomentar las interacciones sociales, el compromiso y la solidaridad entre compañeros. Las siguientes afirmaciones lo ilustran: «trabajar por grupos sí me gusta [...] nos hemos conocido también mejor gracias a los proyectos y hemos ayudado a gente que le cuesta más trabajar»; «porque si a lo mejor una cosa yo no la sé, el grupo me puede apoyar o, al revés, yo ayudar al grupo». Aunque más del 75% considera que el equipo puede funcionar muy bien con implicación de todos, persisten problemas por la falta de compromiso y trabajo de algunos compañeros, pero también afirman haber aprendido a organizarse mejor para solventarlos.

Por último, la mayoría del alumnado reconoce la utilidad de los aprendizajes llevados a cabo y cómo las tareas prácticas, manipulativas y contextualizadas, junto con el uso de nuevas tecnologías, repercuten en una mejor comprensión de lo estudiado. Según una alumna, «antiguamente hacíamos los ejercicios, y a lo mejor ni los entendíamos [...] para terminar rápido. Con los proyectos lo que aprendemos, lo aprendemos mejor». De las entrevistas también se deduce que, tras la necesaria adaptación, la integración entre Ciencias, Matemáticas y Tecnología ha sido beneficiosa para muchos, y que «entender las cosas de una materia te ayuda a comprender mejor las de la otra» o que «a lo mejor uno sabe más de, por ejemplo, ciencias, y otro de mates, y entre todos nos ayudamos». Agradecen «que varios profesores expliquen cosas parecidas con diferentes puntos de vista» y consideran más divertidas las Matemáticas en contextos científico-tecnológicos.

Conclusión

La propuesta descrita en este artículo muestra las posibilidades del ABP combinado con la enseñanza STEM para elaborar proyectos que integran las materias científico-tecnológicas y promover un aprendizaje por competencias. Sin embargo, superar las dificultades que tiene el alumnado para aplicar el método científico y afrontar tareas abiertas de este tipo requieren una inversión de tiempo de trabajo en el aula del que no suele disponerse. Además, la puesta en práctica de proyectos interdisciplinarios de esta envergadura requiere un importante esfuerzo y coordinación del profesorado, el necesario respaldo organizativo dentro del plan de centro, y una implicación real de los docentes participantes y de la administración educativa.

La experiencia realizada refleja que la metodología utilizada revierte positivamente en la motivación e implicación del alumnado, así como en su percepción de la calidad de su aprendizaje. Además, los buenos resultados desde el ámbito científico-tecnológico consolidan al proyecto *Ciudad Sostenible* como uno de los más completos y coherentes en su diseño y puesta en práctica, y nos hacen ser optimistas para futuras ediciones, en las que se prevé aumentar el compromiso social y medioambiental de la propuesta con la exposición de los productos finales de los equipos en el pleno del ayuntamiento.

Agradecimientos

A D. Enrique López-Gay y D. Rafael López-Gay por su inestimable colaboración e implicación en la realización de este proyecto.

A la Directiva y docentes del IES El Parador que han hecho posible esta decidida apuesta por la innovación y la mejora de nuestro modelo educativo.

Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación del proyecto de excelencia SENSOCIENCIA (P11-SEJ-7385) de la Junta de Andalucía.

Referencias

- Abril A., Romero M., Quesada A., García F. (2014) Creencias del profesorado en ejercicio y en formación sobre el aprendizaje por investigación. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 11 (1), 22-33. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10498/15710>
- Barandian J., Guerra I., López-Gay R., Martínez J. L., Pérez de Landazábal M. C. (2011) *Edificaciones para un futuro sostenible. Unidades didácticas 1º-3º Ciencias de la Naturaleza, Física y Química*. Madrid. CIEMAT-RSEF, Contraforma. Recuperado de: <http://www.arfrisol.es/educacion/web/index.html>
- Blum W., Leiß D. (2007) How do students and teachers deal with modelling problems?, pp. 222-231. En Haines C., Galbraith P., Blum W., Khan S. (Eds.), *Mathematical modelling (ICTMA 12): education, engineering and economics*. Chichester. Ellis Horwood
- Blumenfeld P. C., Soloway E., Marx R. W., Krajcik J. S., Guzdial M., Palincsar A. (1991) Motivating Project-Based Learning: Sustaining the Doing, Supporting the Learning. *Educational Psychologist* 26(3&4), 369-398.
- Caamaño A. (2012) ¿Cómo introducir la indagación en el aula? Los trabajos prácticos investigativos. *Alambique: didáctica de las ciencias experimentales* 70, 83-91.
- Compass Project (2011) *Compass project* [Código 503635-LLP-1-2009-1-DE-COMENIUS-CMP]. Unión Europea. Recuperado de: <http://www.compass-project.eu/>
- Domènech J. (2014) ¿Cómo lo medimos? Siete conceptos de indagación para detectar y corregir concepciones erróneas sobre magnitudes y unidades. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 11 (3), 398-409. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10498/16591>
- Freeman B., Marginson S., Tytler R. (2015) *The Age of STEM: Educational policy and practice across the world in Science, Technology, Engineering and Mathematics*. New York. Routledge Research Education.
- Jones B. F., Rasmussen C. M., Moffitt M. C. (1997) *Real-life problem solving: A collaborative approach to interdisciplinary learning*. Washington D.C. American Psychological Association.
- Kaiser G., Stender P. (2013) Complex modelling problems in co-operative, self-directed learning environments, pp. 277–293. In Stillman G., Kaiser G., Blum W., Brown J. (Eds.), *Teaching mathematical modelling: Connecting to research and practice*. Dordrecht. Springer.
- López-Gay R., Jiménez M. R., Martínez-Chico M. (2015) Enseñanza de un modelo de energía mediante indagación y uso de sensores. *Alambique: didáctica de las ciencias experimentales* 80, 38-48.
- Martínez-Chico M., Jiménez M. R., López-Gay R. (2015) Efecto de un programa formativo para enseñar ciencias por indagación basada en modelos, en las concepciones didácticas de los futuros maestros. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 12 (1), 149-166. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10498/16929>

- Mettas A. C., Constantinou C. C. (2007) The technology fair: a project-based learning approach for enhancing problem solving skills and interest in design and technology education. *International Journal of Technology and Design Education* 18, 79-100.
- Orden ECD/65/2015, de 21 de enero, por la que se describen las relaciones entre las competencias, los contenidos y los criterios de evaluación de la educación primaria, la educación secundaria y el bachillerato. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. BOE 25, 6986-7003. España (2015).
- Moursund D. (1999) *Project-based learning using information technology*. Eugene. International Society for Technology in Education.
- Ocaña G., Romero I., Gil F., Codina A. (2015) Implantación de la nueva asignatura “Robótica” en enseñanza secundaria y bachillerato. *Investigación en la escuela* 87, 65-79.
- Thomas J. W. (2000) *A Review of Research on Project-Based learning*. Los Angeles. The Autodesk Foundation.
- Vilches A., Gil D. (2016) La transición a la Sostenibilidad como objetivo urgente para la superación de la crisis sistémica actual. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 13 (2), 395-407. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10498/18296>

Anexo I. Producto Final y rúbricas de evaluación del Proyecto “Ciudad Sostenible”

El producto final elaborado por cada equipo consistirá en lo siguiente:

DOSIER INFORMATIVO:

Introducción:

Causas y consecuencias del calentamiento global y necesidad de encontrar soluciones energéticas respetuosas con el medio ambiente.

Ciudad sostenible:

Se expondrá un modelo propio de ciudad sostenible que deberá incluir, al menos:

- Distribución y criterios urbanísticos de construcción de la ciudad.
- Plano urbanístico de la ciudad.
- Soluciones urbanísticas y sociales respetuosas con el medio ambiente y medidas eficientes de ahorro energético que se adoptan en la ciudad.
- Otras medidas interesantes que contribuyen a conservar y mejorar el medio ambiente.

Edificio bioclimático:

Cada equipo construirá un edificio bioclimático cuyas características serán representativas del modelo de ciudad sostenible que se pretende. Deberán elegir entre uno de los siguientes:

- Diferentes modelos de viviendas
- Hospital o centro de salud
- Polideportivo o centro deportivo
- Centro social y cultural (biblioteca, salón de actos, etc.)
- Colegio o Instituto
- Centro comercial o mercado

La presentación del edificio constará de los siguientes elementos:

1. Descripción de las medidas pasivas y activas de aprovechamiento energético incluidas en el edificio y la argumentación de sus ventajas utilizando resultados y conclusiones de las experiencias realizadas.
2. Diseño 3D del edificio realizado con Homestyler:
 - Corresponde con la maqueta en los exteriores, pero se muestra el interior con las dependencias.
 - Incluye aspectos trabajados durante el proyecto respecto a la distribución apropiada de dependencias según las necesidades energéticas del edificio.
 - Hecho a escala y se corresponde con la maqueta
3. Plano del edificio:
 - Obtenido del programa Homestyler con el que se elabora el diseño del interior del edificio
 - Incluye las medidas y áreas de las distintas dependencias
 - Hecho a escala y se corresponde con la maqueta
4. Memoria de calidades y presupuesto: Breve exposición de los materiales incluidos, las áreas de las dependencias y el material utilizado con precios.



MAQUETA:

- Incluye los aspectos trabajados en el proyecto respecto a la distribución de ventanas, muros, orientación, etc.
- Refleja las medidas activas de ahorro energético (placas solares, etc.) que son exteriores a la vivienda
- Hecha a escala y corresponde con el plano y el diseño 3D.



EXPOSICIÓN:

Todo este trabajo deberá ser defendido, acompañado de la correspondiente presentación que la respalde, ante un jurado de expertos en la materia.

Duración: 10 minutos incluyendo preguntas.

EVALUACIÓN DEL PRODUCTO FINAL				
		Mejorable (1-4)	Bien (5-7)	Avanzado (8-10)
MAQUETA				
Construcción maqueta	<ul style="list-style-type: none"> - Piezas mal cortadas, contornos irregulares y/o mal lijadas - Las piezas presentan huecos y superposiciones en su unión - La maqueta no refleja el plano ejecutado y/o la escala está mal empleada - No añaden soluciones alternativas de energías 	<ul style="list-style-type: none"> - Piezas están bien cortadas aunque presentan algunas irregularidades - Piezas bien unidas aunque con huecos y/o superposiciones - La maqueta responde fielmente al plano utilizando correctamente la escala - Añaden pero no ejecutan bien soluciones alternativas de energías 	<ul style="list-style-type: none"> - Piezas bien cortadas, con contornos regulares, y bien lijadas, no tienen rebabas - Las piezas se han unido correctamente. No hay huecos ni superposiciones - La maqueta responde fielmente al plano - Las medidas de la maqueta reflejan fielmente las reales a la escala empleada - Añaden y ejecutan correctamente soluciones alternativas de energías 	
DOSSIER CIUDAD SOSTENIBLE Y EDIFICIO				
Introducción: Calentamiento Global	El texto está muy incompleto y no hay claridad en la exposición	El texto incluye todos los aspectos y apartados necesarios aunque tiene errores en la exposición y defensa de los argumentos utilizados	El texto incluye todos los aspectos y apartados necesarios y se realiza una buena exposición y defensa de los argumentos utilizados	
Plano Ciudad sostenible	Plano mal estructurado carente de sentido y que no incluye gran cantidad de los elementos solicitados y los que presenta están poco o mal desarrollados	Plano estructurado que no incluye alguno de los elementos o lo hace de una manera esquemática.	Plano bien estructurado: <ul style="list-style-type: none"> - Barrios - Movilidad sostenible - Zonas verdes - Gestión de residuos - Uso del agua y energía - Equipamientos sociales - Conservación patrimonio histórico y cultural 	
Descripción Ciudad Sostenible	Parte de una tesis real pero no aporta propuestas claras de sostenibilidad. Normativa sobre tráfico, emisiones a la atmósfera, Gestión de residuos, uso del agua, conservación del casco histórico.	Parte de una tesis real pero aporta sólo algunas propuestas de sostenibilidad. Normativa sobre tráfico, emisiones a la atmósfera, gestión de residuos, uso del agua, conservación del casco histórico.	Parte de una tesis real y aporta todas las propuestas claras de sostenibilidad: <ul style="list-style-type: none"> - Normativa sobre tráfico - Emisiones a la atmósfera - Gestión de residuos - Uso del agua - Conservación del casco histórico. 	
Plano Diseño 3D Edificio	<ul style="list-style-type: none"> - El plano no se corresponde con la vivienda en su conjunto, la escala no es adecuada o tiene mala presentación - Las dependencias mal proporcionadas y/o distribuidas y no incluyen detalles 	<ul style="list-style-type: none"> - El plano se corresponde con la vivienda salvo detalles, pero la escala y presentación son adecuadas - Salvo errores, dependencias bien proporcionadas y distribuidas, además de incluir algunos detalles 	<ul style="list-style-type: none"> - El plano se corresponde con el edificio en su conjunto, con una escala y medidas adecuadas y con una presentación impecable - Las dependencias están proporcionadas, bien distribuidas e incluyen muebles y detalles 	
Medidas ahorro Memoria calidades Edificio	El dossier del edificio no incluye muchos de los aspectos descritos, no tiene coherencia ni equilibrio y tiene una presentación muy mejorable.	El dossier del edificio no incluye algunos de los aspectos descritos pero mantiene una coherencia en su conjunto y está bien presentado	El dossier del edificio incluye, de manera equilibrada y coherente, y con una buena presentación, los siguientes aspectos: <ul style="list-style-type: none"> - Captación óptima de la energía solar - Aislamiento térmico de la vivienda - Experiencias que lo avalan: datos, análisis, gráficos, explicaciones y conclusiones - Elementos que permiten reducir el gasto energético - Cálculo detallado por dependencias de longitudes, áreas, materiales, calidades, etc. - Memoria de calidades 	
PRESENTACIÓN Y EXPOSICIÓN				
Presentación digital	<ul style="list-style-type: none"> - No existe o le faltan casi todos los contenidos - No hay equilibrio entre imagen y textos ni transiciones 	<ul style="list-style-type: none"> - Faltan algunos contenidos - Falta equilibrio entre imagen y textos y fallan algunas transiciones 	<ul style="list-style-type: none"> - Contiene todos los apartados previstos en el proyecto - Hay equilibrio entre imagen y textos y se cuidan las transiciones 	
Expresión oral	Ver rúbrica de Expresión Oral ⁵	Ver rúbrica de Expresión Oral	Ver rúbrica de Expresión Oral	

⁵La rúbrica de expresión oral no se incluye al no considerarse relevante dentro del artículo

EVALUACIÓN DEL TRABAJO COLABORATIVO				
		Mejorable (1-4)	Bien (5-7)	Avanzado (8-10)
PARTICIPACIÓN, ORGANIZACIÓN Y PLANIFICACIÓN				
Implicación y participación	<ul style="list-style-type: none"> - Se ha mostrado habitualmente distraído o desinteresado por el trabajo de su equipo - Sus faltas de asistencia han impedido significativamente su avance y el de su equipo en el proyecto 	<ul style="list-style-type: none"> - Ha estado preparado para trabajar cada día, interesándose por el avance del proyecto - Sus faltas de asistencia no han perjudicado en ningún momento el trabajo del equipo 	<ul style="list-style-type: none"> - Ha trabajado duro y con entusiasmo en el desarrollo del proyecto - Ha invertido una significativa cantidad de tiempo para realizar el proyecto 	
Organización y planificación	<ul style="list-style-type: none"> - No ha cumplido con su parte del trabajo en casi ningún momento - Sus partes del trabajo no se han entregado o se han hecho fuera de tiempo 	<ul style="list-style-type: none"> - Ha cumplido en todo momento con su parte del trabajo - Ha respetado los plazos de entrega de sus trabajos 	<ul style="list-style-type: none"> - Además de cumplir en tiempo y forma con su trabajo, ha compensado cualquier trabajo pendiente de otros miembros del equipo para no perjudicarlo en el proyecto 	
INTERACCIÓN CON EL EQUIPO				
Relación con el equipo	<ul style="list-style-type: none"> - Ha realizado las tareas de manera individualista sin contar ni escuchar la opinión del resto de los miembros - Intenta imponer sus decisiones sin atender ni valorar las intervenciones de los demás miembros de su grupo o la exposición de otros 	<ul style="list-style-type: none"> - Ha interactuado bien con el resto de miembros del equipo - Ha realizado las tareas de manera más o menos conjunta y ha conversado, debatido y planteado ideas alternativas 	<ul style="list-style-type: none"> - Su relación e interacción con el resto de miembros del equipo es muy buena o excelente. - Ha realizado las tareas de colaborando con los demás, y ha conversado, debatido y planteado ideas alternativas 	
Educación y respeto	<ul style="list-style-type: none"> - No respeta el turno de palabra - Ha faltado al respeto, insultado o tratado con desprecio a algún miembro del equipo o compañero de clase 	<ul style="list-style-type: none"> - Respeta el turno de palabra - Ha respetado a los miembros de su equipo, solucionando las posibles rencillas ocurridas 	<ul style="list-style-type: none"> - Ha tratado a todos los miembros del equipo con educación, respetando las opiniones de los demás y expresándose libremente. 	
INICIATIVA, RESPONSABILIDAD Y LIDERAZGO				
Iniciativa y liderazgo	<ul style="list-style-type: none"> - Ha jugado un papel pasivo en el trabajo del equipo, generando pocas ideas nuevas. - Se ha limitado a hacer lo que sus compañeros de equipo le dijeron que hiciera - No solicita ayuda cuando lo necesita para avanzar en el proyecto 	<ul style="list-style-type: none"> - Ha jugado un papel activo en el trabajo del equipo, generando nuevas ideas - Ha tenido iniciativa para organizar y finalizar las tareas - Ha solicitado ayuda cuando la ha necesitado 	<ul style="list-style-type: none"> - Ha ofrecido su liderazgo al equipo, organizando y dividiendo atentamente el trabajo, verificando su avance y brindando enfoque y dirección al proyecto 	
Facilitación y apoyo	<ul style="list-style-type: none"> - No ha parecido capaz y/o dispuesto a ayudar a los demás - No realiza críticas constructivas al proyecto o a sus compañeros de equipo - Se ha desentendido de ayudar a los miembros de su equipo 	<ul style="list-style-type: none"> - Se mostró dispuesto a ayudar a otros miembros del equipo - Ha escuchado activamente las ideas de los demás - Ha ayudado a crear un clima de trabajo positivo en el equipo 	<ul style="list-style-type: none"> - Ha verificado activamente con otros el avance de cada miembro, realizando críticas constructivas con intención de ayudar a los compañeros de equipo 	

Anexo II. Algunos resultados de los cuestionarios

Rodea con un círculo tu grado de acuerdo o de desacuerdo con cada afirmación, siendo:

TD = Totalmente en desacuerdo

D = En Desacuerdo

ND/NA = Ni de acuerdo ni en desacuerdo

A = De acuerdo

TA = Totalmente de Acuerdo

