

Diseño de una práctica docente para evaluar de forma multidisciplinar la calidad del agua

Design of a teaching practice in a multidisciplinary way to assess water quality

María del Carmen Romero García*, Beatriz Amante García**, Sonia Oliver del Olmo***, Ascensión Encinas*

*Dpto. de Ciencias. Escuela Superior Politécnica Universidad Europea de Madrid **Departamento de Proyectos de Ingeniería. Universidad Politécnica de Cataluña ***Departament de Filologia Anglesa y Germanística. Universidad Autónoma de Barcelona.

E-mail: m_carmen.romero@uem.es; ascension.encinas@uem.es, beatriz.amante@upc.es;

Resumen

Uno de los elementos clave del éxito del Plan de Convergencia Europea es la coordinación del profesorado implicado en una misma licenciatura. Cada materia es un proyecto de formación específica pero que no actúa aisladamente sino como una pieza del conjunto del Plan de Estudios. En este sentido, se ha diseñado una actividad formativa para llevar a cabo un estudio multidisciplinar de la contaminación del agua, que ha permitido a los alumnos abordar el estudio de un problema medioambiental concreto, coordinando los contenidos y competencias aprendidas en dos materias del Plan de Estudios. Los resultados obtenidos han puesto de manifiesto que, con la experiencia realizada, los estudiantes han podido trabajar parte del contenido de estas dos materias de una forma más enfocada a los problemas a los que se enfrentarán en el mundo profesional y comprobar cómo se relacionan dos indicadores biológicos de la calidad del agua. Así mismo, se han potenciado una serie de competencias necesarias para el alumno de cara a su incorporación en el mundo laboral, como la capacidad de discusión e integración de los resultados experimentales, trabajo en equipo y capacidad de comunicación oral.

Abstract

One key element of the European convergence success is the professor's coordination working in the same university degree. Every subject is a specific learning project however they don't act isolated, rather they do as a part in the studies plan. Following this venue, we have designed a similar learning activity: water poisoning interdisciplinary study. This enables students to deal with a very specific environmental issue by combining the contents and competences learned in two subjects of the studies plan. The obtained results have proven this experience to be useful. Students can work on two different subjects while concentrating on potential real world problems, such as how two biological quality water indicators are interrelated. Skills that students will need to be successful in their future careers have also been enhanced. Some of these include: argumentative skills, integration of experimental results, teamwork, and verbal science communication.

Introducción

El proceso de convergencia europea iniciado en Bolonia en 1999, donde ministros europeos de educación elaboraron una declaración conjunta que pretende implantar un sistema comparable de títulos y un sistema de créditos transferibles que favorezca la movilidad de los estudiantes a través de la UE, propone la implantación de procesos

de aprendizaje centrados en el alumno (Gonzalez y Wanegaar, 2003). Para ello, es necesaria la introducción de metodologías activas de aprendizaje que conecten el aprendizaje de los contenidos curriculares con los procedimientos y estrategias para aprender más y mejor y de forma más autónoma (Goñi Zabala, 2005). Es decir, utilizar metodologías que permitan superar la fragmentación de las áreas de conocimiento que conforman el Plan de Estudios. Debemos evitar aquellas asignaturas que “caminan solas” y que no poseen relación con otras disciplinas y, por consiguiente, resultan de poca relevancia y funcionalidad para el alumnado. Por lo contrario, debemos optar por afrontar el estudio de la realidad de un mundo global, empleando las distintas disciplinas como herramientas que nos permiten interpretar la realidad, donde la relación sistémica sea una verdadera característica, al menos en asignaturas de la misma área de conocimiento.

De hecho, uno de los elementos clave del éxito del Plan de Convergencia Europea es la coordinación del profesorado implicado en una misma licenciatura. Cada materia es un proyecto de formación específica pero que no actúa aisladamente sino como una pieza del conjunto del Plan de Estudios. Ello requiere la introducción de nuevas metodologías, nuevas formas de organizar los contenidos y la constitución de un grupo de profesores que trabajen conjuntamente para conseguir los objetivos de aprendizaje propuestos, así como la formación integral del alumno que nos proponemos. Es importante partir de unos contenidos significativos y motivadores para los alumnos, relacionados con sus intereses y las problemáticas que les rodean como medio para lograr que los estudiantes se impliquen en los procesos de enseñanza-aprendizaje. En este sentido, es fundamental la coordinación de programas y el diseño de actividades formativas conjuntas que permitan tratar los contenidos de forma multidisciplinar e integrar los distintos contenidos trabajados en las diversas asignaturas del plan de estudios (Fernández y Velasco, 2003).

La propuesta docente que se presenta en este trabajo se ha realizado en las asignaturas de Microbiología y Zoología de la licenciatura de Ciencias Ambientales de la Universidad Europea de Madrid. En dichas asignaturas se aborda el estudio de la calidad del agua utilizando indicadores biológicos. Para llevar a cabo un estudio multidisciplinar de la contaminación del agua se ha diseñado una actividad formativa conjunta que ha permitido a los alumnos abordar el estudio de un problema medioambiental concreto coordinando los contenidos y competencias aprendidas en dos materias del Plan de Estudios.

Objetivos

El principal objetivo de esta práctica es que los alumnos analicen la eficiencia de diferentes indicadores biológicos para medir la calidad del agua y la correlación entre los indicadores determinados. Así mismo, potenciar en los alumnos una serie de competencias, como la capacidad de trabajar en grupo, de discusión e integración de los resultados experimentales y fomentar la capacidad de comunicación oral.

Metodología

Los profesores implicados en el presente trabajo han detectado, desde hace tiempo, que en las asignatura de Microbiología y Zoología se estudian indicadores biológicos de la calidad del agua, concretamente en Microbiología se estudian indicadores microbiológicos de la calidad del agua como coliformes fecales y en Zoología indicadores macrobiológicos como macroinvertebrados bentónicos.

Para abordar el estudio de estos temas de una forma multidisciplinar, se han diseñado una serie de prácticas docente conjuntas que desarrollaron los alumnos matriculados en ambas asignaturas. Las prácticas fueron: recolección de la muestra de agua, organización del trabajo en equipo, determinación de los indicadores biológicos

“coliformes fecales” y “macrobentos” e interpretación de los resultados obtenidos.

Recolección de muestras

Las tomas de muestras se realizaron en el término municipal de Valdemorillo, al SW de la Comunidad de Madrid (España). Se eligió un tramo del río Perales (afluente del río Alberche) en su zona de cabecera, localizado en la urbanización Cerro Alarcón porque presenta dos situaciones con condiciones diferentes (Figura 1). En cada situación se estableció una estación de muestreo:

- Estación 1 o zona control: aguas arriba de la presa de Cerro Alarcón donde se prevé que la contaminación del agua sea prácticamente inexistente.
- Estación 2: aguas abajo de la estación de tratamiento de aguas residuales de la urbanización Cerro Alarcón.

Para la recolección de muestras se hicieron 2 grupos de 50 personas, unas asignadas al tramo 1 y las otras al tramo 2. Cada dos participantes recogieron una muestra que luego analizaría y compararía resultados con el resto de los 24 grupos que realizaban la misma muestra. Por tanto se realizaron 25 muestras de cada estación.



Figura 1. Estaciones de muestreo. a) zona control (estación 1), aguas arriba de la presa de Cerro Alarcón;

Para la recolección de macroinvertebrados se utilizó una red de rastreo de mano, de armadura metálica rectangular, de 30 cm de lado, unida a una malla de una luz de 0,9 mm y con un mango de 1,5 m. El muestreo se realizó moviendo el material depositado sobre el fondo (con la mano o el pie) para desprender los organismos bentónicos. El tiempo de muestreo fue de 3 minutos en cada estación, situándose el operador aguas arriba de la boca de la red, y apoyándose verticalmente sobre el sustrato del río (Figura 2).



Figura 2. a) Técnica de recolección de macroinvertebrados bentónicos; b) limpieza y fijación de la muestra de macroinvertebrados.

Para la determinación de bacterias coliformes fecales, se colectaron muestras de agua en frascos estériles de 250 ml que fueron mantenidos a 4°C como máximo durante 24 horas antes de su procesamiento.

Organización del trabajo en equipo

Se establecieron 50 grupos de 2 alumnos cada uno (un total de 100 alumnos), que recibieron un guión explicativo de la actividad a desarrollar donde se detallaba el procedimiento experimental (Tablas 1 y 2) realizado en campo y se dedicaron 30 minutos a la explicación del trabajo a realizar en el laboratorio para el análisis de las muestras recogidas. Como ya se ha dicho, la mitad de los alumnos trabajaron con la muestra control y la otra mitad con la muestra "Estación 2".

Determinación de coliformes fecales y de macrobentos

Los métodos de estimación de la calidad del agua emplean ciertos organismos como bioindicadores de contaminación, siendo los más usados algas, bacterias, protozoos, macroinvertebrados y peces (De Pauw et al., 1992).

Coliformes fecales: La presencia de bacterias patógenas en aguas de consumo conlleva riesgo de aparición de determinadas enfermedades infecciosas. La gran variedad de bacterias patógenas que pueden encontrarse en una muestra de agua, así como la complejidad de la mayor parte de las técnicas de enriquecimiento y aislamiento de las mismas, hacen inviable el control rutinario de todos aquellos microorganismos de importancia sanitaria. Los análisis bacteriológicos de agua potable determinan la presencia y el grado de contaminación fecal mediante la detección de organismos indicadores, es decir microorganismos cuya presencia en el agua está relacionada, cualitativa y cuantitativamente, con la de otros microorganismos patógenos más difíciles de aislar. Los coliformes son bioindicadores utilizados para evaluar la eficiencia de los procesos de tratamiento y establecer normas de seguridad del agua potable (Alba-Tercedor, 1996).

Los coliformes son un grupo de bacterias habitantes de la región intestinal de mamíferos y aves. Los géneros que pertenecen a este grupo son: *Escherichia*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Serratia*, *Citrobacter* y *Edwardsiella*. Todos los coliformes pueden existir como saprófitos independientes o como microorganismos intestinales, excepto el género *Escherichia* que sólo puede tener origen fecal, es por ello que es necesario distinguir entre coliformes totales (que son los coliformes de cualquier origen) y coliformes fecales (coliformes de origen exclusivamente intestinal).

Para la determinación de coliformes fecales los alumnos utilizaron el método de filtración en membrana, de acuerdo a lo establecido en las normas ISO (ISO 9308-1:2000) (Tabla 1).

Tabla 1: Protocolo de laboratorio para la cuantificación de bacterias coliformes

Materiales

- Muestra de agua
- Medio de cultivo M-FC: lactosa, azul de anilina, sales biliares y ácido rosólico.
- Solución A: 8,5 g de KH_2PO_4 en 100 ml de agua destilada tamponar a pH 7,2 con NaOH completar hasta 250 ml con agua destilada
- Solución B: 38 g de MgCl_2 en un litro de agua destilada.
- Placas de Petri



Cuantificación de coliformes fecales: técnica de filtración en membrana

- Diluir la muestra de agua en solución salina tamponada a pH neutro y estéril, que se preparó mezclando 1,25 ml de una solución A y 5 ml de una solución B, completando hasta 1 litro con agua destilada.
- Filtrar 100 ml de muestra diluida a través de una unidad Milliflex-100, que incluye un embudo de filtración de 100 ml, una membrana cuadrículada de 0,45 m de poro, y una bomba de vacío.
- Acoplar la membrana cuadrículada a una placa Petri con el medio de cultivo M-FC.
- Incubar 24 hs a 44°C
- Contar las colonias y expresar el resultado en UFC (unidades formadoras de colonias) en 100 ml de agua.



Fundamentación del método:

- El medio M-FC contiene lactosa como única fuente de carbono y energía y es selectivo para coliformes fecales.
- La selectividad la otorga: a) la presencia de sales biliares y ácido rosólico que inhiben el crecimiento de bacterias Gram positivas y b) la incubación a 44°C ya que a dicha temperatura sólo pueden crecer bacterias Gram negativas que vivan en animales de sangre caliente.
- La característica diferencial se debe a la presencia de azul de anilina (indicador de pH). *E. coli* fermenta la lactosa y genera



Macrobentos: Los métodos que utilizan macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la calidad de agua pueden ser cualitativos (cuando se consideran los taxones presentes en la muestra), y cuantitativos (cuando se evalúa el número de individuos presentes en cada taxón) (Alba-Tercedor, 1996).

En la presente experiencia docente se trabajó con métodos cuali y cuantitativos, aplicados a diferentes grados taxonómicos (órdenes, familias), con el objeto de comparar la dificultad de aplicación, su coste en tiempo y la eficacia resultante de unos y otros.

Los macroinvertebrados bentónicos fueron identificados a nivel de orden y familia (Tabla 2), y se determinó el número de individuos pertenecientes a cada familia. Para determinar la calidad de agua cada grupo de alumnos aplicó diferentes índices para poder comparar el grado de eficiencia de cada uno (Tabla 3).

Tabla 2: Protocolo para la identificación de macroinvertebrados bentónicos.

- Materiales
- Muestra de macroinvertebrados
- Bandejas para la limpieza de la muestra
- Pinzas
- Agujas enmangadas
- Placas de Petri
- Lupas binoculares

- Claves simplificadas de identificación de órdenes (REFERENCIA)
- Clave especializada para la identificación de familias (Tachet, 1981)
- Alcohol etílico al 70%

Identificación de especímenes

- Limpiar y separar los ejemplares a identificar con ayuda de bandeja y pinzas
- Identificar los ejemplares mediante lupa binocular y claves simplificadas. Los ejemplares deben permanecer en medio húmedo (agua o alcohol al 70%) para evitar su deshidratación.

Tabla 3: Índices para estimar la calidad del agua utilizando macroinvertebrados bentónicos.

INDICE	FUNDAMENTO	FÓRMULA	INTERPRETACIÓN
SCI (Índice de Comparación Secuencial) (Mackie, 2001)	Se desarrolló para ser aplicado por no expertos en invertebrados acuáticos. Consiste en la clasificación de los individuos según tamaños, formas y colores. Se toman los especímenes de dos en dos y se van asignando a grupos diferentes en función de la semejanza. Cada individuo se compara con el anterior: si es semejante se adjudica al mismo grupo de semejanza, si es diferente se asigna a un nuevo grupo. En una fase posterior los grupos semejantes son reagrupados en el mismo taxón.	$SCI = \frac{\text{número de grupos de semejanza} \times \text{número de individuos}}{\text{número total de individuos}}$	Cuanto más elevado sea el valor resultante, mayor diversidad y por tanto, mayor calidad del agua.
Porcentaje de Órdenes (Plafkin et al, 1989)	Una comunidad macrobentónica dominada por relativamente pocos taxones podría ser un indicador de estrés ambiental. Este índice se calcula estimando el porcentaje representado por cada orden en relación con la totalidad de los individuos.	Número de individuos del Taxón 1/ número de individuos totales; Número de individuos del Taxón n/ número de individuos totales	Cuanto mayor es el número de taxones y más equilibrado el porcentaje de representación entre ellos, mayor calidad del agua.
Riqueza de Familias (Plafkin et al, 1989)	La diversidad (número total de familias) generalmente aumenta con la calidad del agua, por lo que podría considerarse como un indicador de la calidad.	$R = \text{número de familias diferentes presentes en la muestra}$	Cuanto mayor sea el valor de R, mayor será la calidad del agua de la muestra analizada.
EPT (Plafkin et al, 1989)	Este índice representa el número de familias de Efemerópteros, Plecópteros y Tricópteros dentro de la muestra.	$EPT = \text{Número total de familias de cada uno de estos órdenes representada en la muestra.}$	Puesto que los taxones considerados son grupos sensibles a la contaminación, un valor elevado para este índice estaría relacionado con un elevado nivel de calidad del agua.
EPT/C (Plafkin et al, 1989)	Este índice es un indicador del equilibrio de la comunidad macrobentónica. Un equilibrio ecológico se refleja en proporciones similares de Efemerópteros (E), Plecópteros (P), Tricópteros (T) y Quironómidos (C). En poblaciones en las que aparece un número desproporcionado de quironómidos con respecto a los otros grupos este hecho está asociado, generalmente, con episodios de contaminación o estrés ambiental.	$EPT/C = \frac{\text{Número de Plecópteros (P)} + \text{número de Efemerópteros (E)} + \text{número de Tricópteros (T)}}{\text{número de Chironómidos}}$	Cuanto más bajo es el valor resultante de este índice, mayor es la contaminación del agua muestreada puesto que mayor es el desequilibrio entre los órdenes estudiados.
Método BMWP (Biological Monitoring Working Party) (Armitage et al, 1983)	Este método (desarrollado en 1981 por el National Water Council, en Gran Bretaña) asigna diferente puntuación a cada familia (1 mínimo; 10 máximo) según su valor como indicador de buena calidad de las aguas. Las mayores valoraciones corresponden a bioindicadores de alta calidad de las aguas o, lo que es lo mismo, de poca alteración. Alba Tercedor et al (1988, 1996) adaptaron el BMWP (BMWP') a la Península Ibérica, introduciendo en las tablas de valoración familias comunes en la Península Ibérica que no estaban incluidas en el método británico. A los valores obtenidos al aplicar este método se les asigna una determinada significación de calidad de las aguas. Para ello los valores finales obtenidos se clasifican en cinco clases de calidad.	Se trata de un método cualitativo, y no cuantitativo por lo que no es necesario determinar el número de individuos de cada familia. El valor del índice se obtiene por la suma de puntuación correspondiente a cada familia que habita el tramo objeto de estudio.	El valor final obtenido se corresponde con una clase de calidad de las aguas, desde "aguas muy limpias" hasta "aguas fuertemente contaminadas".
Índice Biótico de Familias (FBI, Family Biotic Index) (Plafkin et al, 1989)	El índice Biótico fue originariamente desarrollado por Hilsenhoff (1988) para proporcionar un valor de tolerancia único, que sería la media de los valores de tolerancia de todas las especies de artrópodos presentes en la muestra del bentos. El Índice biótico fue posteriormente modificado para ser aplicado al nivel de familia, con valores de tolerancia oscilando entre 0 (familias muy poco tolerantes a la contaminación orgánica) a 10 (familias muy tolerantes a la contaminación orgánica), creando el Índice Biótico de Familias (FBI). Este índice fue creado para detectar contaminación de origen orgánico y es utilizado por la EPA (Environmental Protection Agency) de Estados Unidos en uno de sus protocolos de evaluación rápida de la calidad ambiental de los ríos y se ha modificado para poder incluir grupos diferentes a los artrópodos.	$FBI = \frac{\sum x_i t_i}{n}$ Donde: xi: número de especímenes de la familia i ti: valor de tolerancia de la familia i n: número total de especímenes en la muestra.	El valor obtenido para este índice se traduce en una clase de calidad del agua de la muestra analizada.

Cada grupo de alumnos identificó los especímenes de macroinvertebrados y aplicó los índices de estimación de la calidad de agua según la tabla 4.

Tabla 4: Asignación de muestras e índices de calidad de agua a los distintos grupos de alumnos.

Estación de muestreo de análisis	Grupo	Métodos de estimación asignados
1	1	SCI, Porcentaje de Órdenes, Riqueza de Familias, Simpson
1	2	EPT, EPT/C
1	3	BMWP'
1	4	ASPT
1	5	FBI
2	6	SCI, Porcentaje de Órdenes, Riqueza de Familias, Simpson
2	7	EPT, EPT/C
2	8	BMWP'
2	9	ASPT
2	10	FBI

Evaluación y valoración de la actividad realizada

Para evaluar el trabajo realizado por los alumnos se tuvo en cuenta:

1. La actitud en el laboratorio y las respuestas a las preguntas realizadas por el profesor a cada alumno acerca del trabajo realizado: cada alumno recibió una nota individual que representó el 30% de la nota final del trabajo.
2. La estructura del informe, presentación y discusión de los resultados haciendo especial énfasis en la capacidad de relacionar los dos bioindicadores utilizados: la calificación final obtenida en este apartado representó el 40% de la nota final del trabajo.
3. La capacidad de comunicación oral se evaluó de 1-10 puntos utilizando una serie de parámetros a los que se adjudicó un determinado valor (Tabla 5). Las exposiciones orales fueron evaluadas por el profesor y los compañeros. El hecho de que los alumnos actúen como evaluadores fomenta en ellos el espíritu crítico y les permite ser conscientes de la importancia de cada parámetro seleccionado para llegar a ser un buen orador. La calificación obtenida representó el 30% de la nota final del trabajo.

Parámetro	Baremo		
10 puntos			
<i>Claridad de ideas</i> (2 puntos)	<input type="radio"/> Clara	<input type="radio"/> Intermedia	<input type="radio"/> Incomprensible
<i>Seguridad</i> (1 punto)	<input type="radio"/> Mucha	<input type="radio"/> Intermedia	<input type="radio"/> Poca
<i>Explicación y no lectura del papel</i> (1 punto)	<input type="radio"/> Adecuada	<input type="radio"/> Intermedia	<input type="radio"/> Lectura
<i>Unión coherente de las transparencias</i> (1 punto)	<input type="radio"/> Adecuada	<input type="radio"/> Intermedia	<input type="radio"/> No coherente
<i>Duración de la presentación</i> (2 puntos)	<input type="radio"/> 15-20'	<input type="radio"/> \pm 2'	<input type="radio"/> > 2'
<i>Posición</i> (1 punto)	<input type="radio"/> Es dinámico	<input type="radio"/> Intermedio	<input type="radio"/> Es muy estático
<i>Capacidad de argumentar</i> (1 punto)	<input type="radio"/> Mucha	<input type="radio"/> Intermedia	<input type="radio"/> Poca
<i>Coherencia de respuestas</i> (1 punto)	<input type="radio"/> Rápida	<input type="radio"/> Intermedia	<input type="radio"/> Lenta y no elaborada

La nota dada a los alumnos en cada uno de los aspectos considerados fue consensuada por las dos profesoras implicadas.

La valoración de la actividad se realizó mediante encuestas de satisfacción de los alumnos con la actividad realizada (Tabla 6).

Tabla 6: Encuesta de satisfacción de los alumnos con la metodología utilizada.

APRENDIZAJE					
1. He aprendido y comprendido los contenidos estudiados en este trabajo.	1	2	3	4	5
2. Mi interés en la materia ha aumentado como consecuencia de la realización de este trabajo	1	2	3	4	5
3. La utilización de esta metodología ha contribuido a desarrollar habilidad para :					
a expresarme oralmente.	1	2	3	4	5
b discutir información.	1	2	3	4	5
c trabajar en grupo.	1	2	3	4	5
d. relacionar conceptos	1	2	3	4	5
INTERACCIÓN CON EL GRUPO					
He mantenido una actitud responsable y positiva con los otros miembros del grupo de trabajo.	1	2	3	4	5
EVALUACIÓN					
1. El método de evaluación del trabajo realizado ha sido adecuado	1	2	3	4	5
2. La evaluación grupal ha sido justa.	1	2	3	4	5
3. La evaluación individual ha sido justa.	1	2	3	4	5
SATISFACCIÓN CON LA METODOLOGÍA UTILIZADA					
Mi satisfacción con esta actividad conjunta de dos asignaturas ha sido	1	2	3	4	5

Resultados

Los alumnos realizaron un recuento de colonias de coliformes fecales presentes en la placa de Petri y calcularon el número de UFC/100 ml de agua. Los resultados obtenidos por cada grupo se anotaron en la pizarra (Tabla 7). Los alumnos comprobaron que los datos de las muestras eran repetitivos y realizaron una media de todos los datos. Los valores promedio para ambas estaciones de muestreo fueron: 68 UFC/100 ml y 17.670 UFC/100ml respectivamente.

Los valores de coliformes fecales obtenidos en la estación de muestreo N° 1 se encuentran en el rango establecido en la clase 1 de las normas ISO (ISO 9308-1:2000), es decir que se trata de un agua de muy buena calidad. Por el contrario en la estación de muestreo N° 2 los valores de coliformes fecales corresponden a la clase 4: agua de mala calidad (Tabla 8).

Tabla 7: abundancia de coliformes fecales en las dos estaciones de muestreo

Coliformes fecales (UFC/100 ml)	
<i>Estación 1</i>	<i>Estación 2</i>
70	18.000
73	17.000
57	13.500
50	14.300
70	18.500
68	18.200
72	17.500
78	18.250
74	20.200
67	21250

Tabla 8: Clases de calidad y usos de agua según las normas ISO

Clase	UFC/100ml coliformes fecales	Calidad	Uso
Excepcional	< 10	Indica un agua de mejor calidad que la Clase 1 y extraordinaria pureza.	Esta calidad es adecuada también para la conservación de las comunidades acuáticas y demás usos definidos cuyos requerimientos de calidad sean inferiores a esta Clase.
Clase 1	1000	Agua de muy buena calidad.	Agua adecuada para protección y conservación de comunidades acuáticas y riego indiscriminado y para los usos comprendidos en las Clases 2 y 3.
Clase 2	2000	Agua de buena calidad.	Adecuada para acuicultura y pesca deportiva y recreativa y para los usos comprendidos en la Clase 3.
Clase 3	5000	Agua de calidad regular.	Apta para bebida de animales y riego restringido.
Clase 4	> 5000	Agua de mala calidad.	No adecuada para la conservación de las comunidades acuáticas o su aprovechamiento para los usos prioritarios sin el tratamiento adecuado.

Los valores de diversidad de macroinvertebrados se interpretaron utilizando las tablas correspondientes a los índices de calidad (Tablas 9, 10 y 11).

Tabla 9: Clases de calidad y significación de los valores del índice B.M.W.P (Alba-Tercedor, 1996)

Clase	Calidad	Valor	Significado
I	"Buena"	> 150 101-120	Aguas muy limpias Aguas no contaminadas o no alteradas de modo sensible
II	"Aceptable"	61-100	Son evidentes algunos efectos de contaminación
III	"Dudosa"	36-60	Aguas contaminadas
IV	"Crítica"	16-35	Aguas muy contaminadas
V	"Muy crítica"	< 15	Aguas fuertemente contaminadas

Tabla 10: Clases de calidad para el índice ASPT (Armitage et al, 1983)

Valor para el índice ASPT	Clase de calidad de agua
>6	Agua limpia
5-6	Calidad dudosa
4-5	Probable contaminación moderada
<4	Probable contaminación severa

Tabla 11: Clases de calidad del agua para el índice FBI (Mandaville, 1999; Hilsenhoff, 1988)

Valor obtenido en el índice FBI	Calidad del agua	Grado de contaminación orgánica
0-3,75	Excelente	Es poco probable la contaminación orgánica
3,76-4,25	Muy buena	Es probable una ligera contaminación orgánica

4,26-5,00	Buena	Es probable contaminación orgánica media
5,01-5,75	Aceptable	Es probable bastante contaminación orgánica
5,76-6,50	Regular	Es probable contaminación orgánica relevante
6,51-7,25	Pobre	Es probable contaminación orgánica muy relevante
7,26-10,00	Muy pobre	Es probable una severa contaminación orgánica

Una vez que todos los alumnos terminaron su trabajo, cada grupo presentó sus resultados a los compañeros y los dejó anotados en la pizarra (Tabla 12), de tal forma que fue posible la exposición conjunta y la discusión final de los resultados obtenidos.

Tabla 12: Calidad del agua según los índices para macroinvertebrados bentónicos para las dos estaciones de muestreo. P: Plecopteros; E: Efemerópteros; T: Tricopetros; C: Quironómidos

ÍNDICE DE ESTIMACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA	ESTACIONES DE MUESTREO	
	<i>Estación 1</i>	<i>Estación 2</i>
SCI (Índice de Comparación Secuencial)	0,81	0,09
Porcentaje de Órdenes	P=24,3%; E=45,9%; T=16,21%; O= 13,55%	D=91%; E=9%
Riqueza de Familias	13	5
EPT	5	2
EPT/C	9,7	0,01
Método BMWP (Biological Monitoring Working Party)	Clase III. Aguas contaminadas	Clase V. Aguas fuertemente contaminadas.
Método ASPT (Average Score per Taxon)	Probable contaminación moderada	Probable contaminación severa
Índice Biótico de Familias (FBI)	Calidad buena	Calidad pobre

Los resultados muestran grandes diferencias de calidad del agua entre las dos estaciones de muestreo, presentando mayor calidad de agua en la estación 1, aguas arriba de la presa, que en la estación después de la planta de tratamiento de aguas residuales. Estos resultados evidencian que la planta de tratamiento no está depurando adecuadamente los efluentes urbanos.

Al analizar los resultados obtenidos a través de los dos tipos de bioindicadores (coliformes fecales y macrobentos) se observó una correspondencia entre ambos métodos, es decir, que ambos indicadores confirman la mayor calidad del agua en la estación de muestreo aguas arriba de la presa, frente a la menor calidad aguas debajo de la depuradora. Estos resultados ilustran la eficacia de estos dos tipos de indicadores biológicos para estimar la calidad de agua en los cursos fluviales (García y González, 1986). El hecho de su utilización conjunta incrementa la información obtenida sobre el tipo y grado de contaminación, y la repercusión a nivel humano que pueda tener el aprovechamiento del agua estudiada. Por otro lado, se puso de manifiesto la importancia de la coordinación de materias distintas del plan de estudios y del profesorado que participaron en esta experiencia.

Evaluación y valoración de los alumnos

Las notas promedio obtenidas por los grupos de alumnos participantes de la actividad para cada uno de los aspectos evaluados fueron muy satisfactorias (Figura 15)

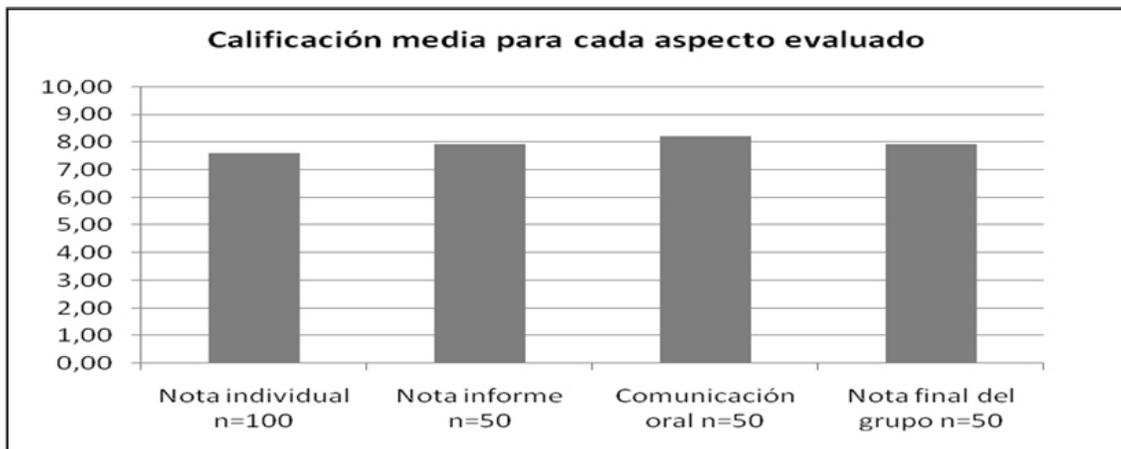


Figura 15. Calificación obtenida en cada aspecto evaluado. (n=número de muestra)

El hecho que todos los grupos obtuvieran una calificación ligeramente superior en la exposición oral que en los otros aspectos evaluados pone de manifiesto que todos los grupos realizaron muy bien esta parte del trabajo que fue evaluada también por el resto de los grupos. La comparación entre las calificaciones otorgadas por los alumnos y los profesores muestra que las calificaciones de los compañeros se sitúan un punto por debajo de las de los profesores (Figura 16).

Tanto en la evaluación de las preguntas individuales realizadas a los alumnos, como en el informe e incluso en la comunicación oral, los profesores implicados pudieron corroborar que esta actividad permitió relacionar conceptos de dos materias diferentes del Plan de Estudios.

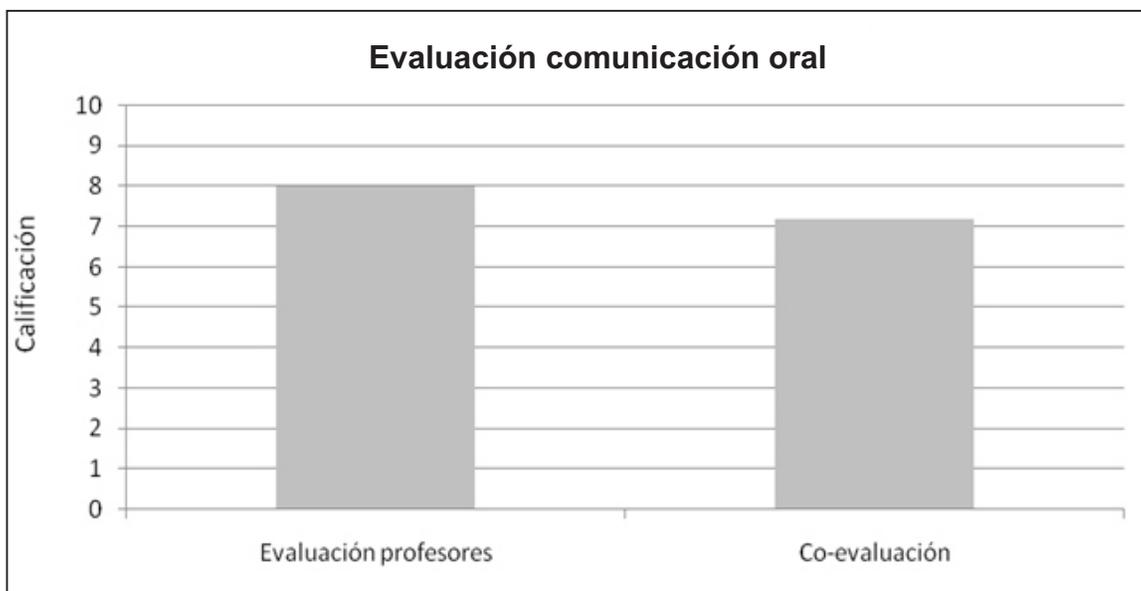


Figura 16: Calificaciones obtenidas por los alumnos en la evaluación de la exposición oral otorgadas por profesores y otros alumnos (co-evaluación).

Los resultados de las encuestas de satisfacción de los alumnos con la actividad realizada muestran que para cada uno de los ítems los valores promedios superan los 3 puntos, es decir que los alumnos estuvieron de acuerdo con la pregunta realizada. Los elevados valores en el apartado aprendizaje indican que los alumnos consideran que

han aprendido y comprendido los contenidos estudiados en esta actividad y que, además, ha aumentado su interés por la asignatura.

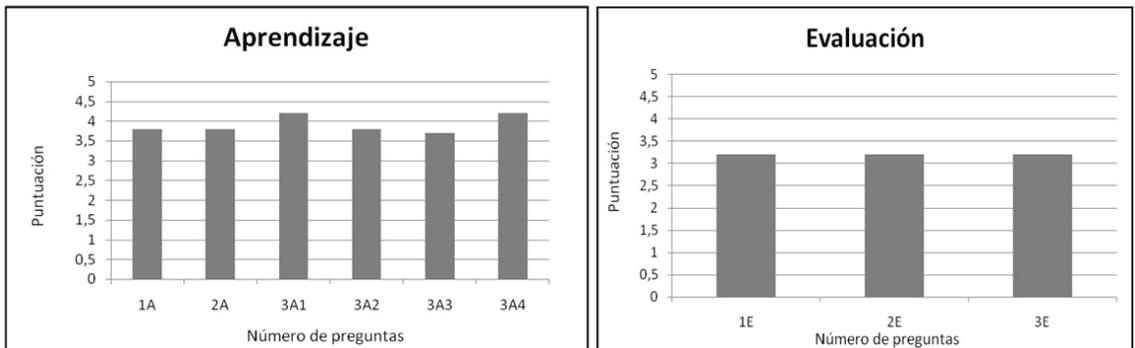


Figura 17: Valores promedio de las encuestas de satisfacción de los alumnos.

En general, los resultados obtenidos (Figura 17) demuestran una elevada satisfacción con la introducción de este tipo de actividades que no solo permiten abordar los temarios de las asignaturas, sino que también potencian competencias tan importantes como la relación de conceptos que se abordan en distintas materias del plan de estudios.

Conclusiones

Con la experiencia realizada los estudiantes han podido trabajar parte del contenido de dos materias de una forma más enfocada a los problemas a los que se enfrentará el alumno en el mundo profesional y comprobar cómo se relacionan dos indicadores biológicos de calidad de agua. Además, este tipo de experiencia permite trabajar contenidos y potenciar una serie de competencias necesarias para el alumno de cara a su incorporación en el mundo laboral, como la capacidad de discusión e integración de los resultados experimentales, el trabajo en equipo y la capacidad de comunicación oral. Así mismo, los resultados obtenidos en este trabajo permiten afirmar que este tipo de actividad aumenta la motivación de los alumnos por las asignaturas. Cada grupo de alumnos demostró gran interés en cada una de las sesiones de laboratorio realizadas y, en general, a lo largo de todo el tiempo dedicado a esta actividad.

El diseño de actividades conjuntas entre los profesores que imparten diferentes materias a un mismo grupo de alumnos requiere de una cultura profesional colaborativa, siendo necesario fomentar el trabajo de colaboración entre los docentes a través de la puesta en práctica de un proyecto común. Son los propios docentes los que deben promover esta cultura de colaboración, formando un grupo de personas que comparten un proceso de trabajo a través del cual se pretende dar respuesta a los problemas y necesidades que surgen en la práctica diaria de la docencia (Fernández, 2003). De esta forma facilitaremos a los alumnos el aprendizaje de cada materia y su relación con las demás, evitando en los alumnos universitarios la sensación de falta de coordinación entre los diferentes profesores y falta de funcionalidad de unos contenidos con respecto a otros.

Bibliografía

Alba-Tercedor, J. 1996. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. IV Simposio del Agua en Andalucía (SIAGA), Almería, 1996, vol. II: 203-213.

- Armitage, P.D.; Moss D.; Wright J.F.; Furse M.T. 1983. The performance of a new biological water quality score systema bases on macroinvertebrates over a wide range of unppolluted running water sites. *Water Res.* 17:333-47.
- De Pauw, N., Ghetti, P:F., Manzini, P. & Spaggiari, R. 1992. Biological assessment methods for running water. En: River Water Quality Ecological Assessment and Control (Eds. P. Newman, A. Piavaux & R. Sweeting): 217-248. Commission of the European Communities, EUR 14606 EN-FR, 1992-III, 751 p. Bruselas.
- Fernández J.M., Velasco N. 2003. La transversalidad curricular en el contexto universitario: una estrategia de actuación docente. *Revista Complutense de Educación*, 14:379-390.
- García de Lalón, D y González del Tánago, M. 1986. Métodos biológicos para el estudio de la calidad de las aguas. Aplicación a la Cuenca del Duero. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. ICONA. Monografías 45.
- González, J. y Wagenaar, R. (Eds.) 2003. "Tuning Educational Structures in Europe. Informe final Fase 1". Bilbao: Universidad de Deusto.
- Goñi Zabala, JM. 2005. *El Espacio Europea de Educación Superior, un reto para la Universidad*. Barcelona: Octaedro/ICE Universidad de Barcelona.
- Hilsenhoff, W.L. 1988. Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index. *J.N. Am. Benthol Soc.* 7(1):65-68.
- ISO 9308-1:2000. Calidad del agua. Detección y recuento de *Escherichia coli* y de bacterias coliformes. Parte 1: Método de filtración en membrana.
- Mackie, G.L. 2001. *Applied Aquatic Ecosystem Concepts*. Kendall/Hunt Publishing Company. ISBN0787274909. 704 pp.
- Mandaville, S.M. 1999. *Bioassessment of Freshwaters using benthic macroinvertebrates- A pPrimer*. First Ed. Project E-1, Soil & Water Conservation Society of Metro Halifax. VIII. Chapters I-XXVII. Appendices A-D. 244 pp.
- Plafkin, J.L.; Barbour, M.T.; Porter, K.D.; Gross, S.K. and Hugues, R.M. 1989. *Rapid Bioassessment Protocols for use in Streams and Rivers: Benthic Macroinvertebrates and Fish*. U.S. Environmental Protection Agency. EPA440/4-89/001.