



Ciencia y Sociedad en Educación





PARRISE (Promoting Attainment of Responsible Research and Innovation in Science Education) project

El Proyecto PARRISE está coordinado por Freudenthal Institute, Utrecht University, The Netherlands; Marie-Christine Knippels & Frans van Dam.



Este trabajo ha recibido financiación a través del Séptimo Programa Marco de investigación, desarrollo tecnológico y actividades de demostración según el acuerdo no 612438.

www.parrise.eu

Aprendizaje por indagación de controversias socio-científicas: conectando la educación científica formal e informal con la sociedad

Diciembre, 2017

Autores

Levinson, R., Knippels, M.C., van Dam, F., Kyza, E., Christodoulou, A., Chang-Rundgren, S.N., Grace, M., Yarden, A., Abril, A.M., Amos, R., Ariza, M.R., Bächtold, M., van Baren-Nawrocka, J., Cohen, R., Dekker, S., Dias, C., Egyed, L., Fonseca, M., Georgiou, Y., Hadjichambis, A., van Harskamp, M., Hasslöf, H., Heidinger, C. Hervé, N., Karpati, A., Keedus, K., Kiraly, A., Lundström, M., Molinatti, G., Nédélec, L., Ottander, C., Ottander, K., Quesada, A., Radits, F., Radmann, D., Rauch, F., Rundgren, C., Simonneaux, L., Simonneaux, J., Sjöström, J., Verhoeff, R., Veugelers, W., Zafrani, E.

Editores

Marie-Christine Knippels, Frans van Dam & Michiel van Harskamp

Traducido por Quesada, A., Abril, A.M. & Romero-Ariza, M.

Diseño

Frank-Jan van Lunteren (DTP)
Floris Roding (artwork)



Socios en el proyecto



Universiteit Utrecht

Utrecht University, Freudenthal
Institute *(Project Coordinator)*
The Netherlands



Institute of Education

University College London,
Institute of Education
England

UNIVERSITY OF
Southampton

University of Southampton
England



מכון ויצמן למדע
WEIZMANN INSTITUTE OF SCIENCE

Weizmann Institute of Science
Israel



MALMÖ UNIVERSITY

Malmö University
Sweden



UMEÅ
UNIVERSITY

Umeå University
Sweden

U. PORTO

University of Porto
Portugal

Cyprus
University of
Technology

Cyprus University of Technology
Cyprus



universität
wien

University of Vienna
Austria



École Nationale Supérieure de
Formation de l'Enseignement Agricole
France



University of Montpellier
France



University for Humanistic Studies
Utrecht
The Netherlands



Radboud University
The Netherlands



UNIVERSIDAD DE JAÉN

University of Jaén
Spain



Energy Discovery Centre
Estonia



Klagenfurt University
Austria



Eötvös Loránd University
Hungary



Stockholm University
Sweden

Contenidos

Prólogo		3	
1	—	Introducción	5
2	—	Marco teórico: Aprendizaje por indagación de controversias socio-científicas (SSIBL)	11
		Fase 1: Formulación de preguntas relevante ('Preguntar')	
		Fase 2: Indagación ('Indagar')	
		Fase 3: Acción ('Actuar')	
3	—	SSIBL en el aula	29
Anexo 1	—	Formulación de preguntas relevantes sobre SSI: 'Preguntar'	43
Anexo 2	—	Indagación: 'Indagar'	55
Anexo 3	—	Educación Ciudadana (CE)	63

Prólogo

Este libro está concebido para el profesorado que desee ampliar su enfoque de enseñanza incluyendo controversias socio-científicas en sus prácticas, que enriquezcan y den sentido a algunos principios científicos fundamentales. El objetivo, por tanto, es aumentar la curiosidad de los/las jóvenes sobre aspectos sociales y científicos, y plantear preguntas relevantes que tengan un impacto en sus vidas. A este enfoque lo hemos denominado aprendizaje por indagación de controversias socio-científicas, o “SSIBL” en su forma abreviada del término en inglés *Socio-Scientific Inquiry-Based Learning*. Los capítulos 1 y 2 presentan una introducción de los aspectos teóricos de SSIBL. En el capítulo 3, se abordará este enfoque, proporcionando una versión simplificada del marco teórico, y mostrando, en forma de actividades, ejemplos concretos para su transferencia al aula.

En la página web del proyecto (www.parrise.eu) se ofrecen muchos más ejemplos y materiales para el profesorado y los/as formadores/as.

1— Introducción



Sin lugar a dudas, la ciencia influye en muchos aspectos de nuestro día a día. Las energías renovables, las medicinas personalizadas y los sistemas de comunicación tienen un impacto positivo en nuestras vidas, pero frecuentemente conllevan incertidumbres asociadas a su desarrollo o utilización, que podrían derivar en efectos indeseados o determinados riesgos para nuestra sociedad. —

Además, conllevan valores y controversias sociales, políticas y culturales; por ejemplo, las energías renovables se presentan como una alternativa positiva para reemplazar los combustibles fósiles; sin embargo, su introducción, y en concreto la producción de materiales como las células solares, tienen repercusiones económicas, laborales, ambientales y éticas que no pueden ser obviadas.

Puesto que el desarrollo y el impacto de estos avances nos afectan a todos, se plantean cuestiones en diferentes niveles (personal/social) y a diferentes escalas (local/global). Por ello, afrontar estas cuestiones desde la indagación en el aula es fundamental dentro del enfoque SSIBL. Esta aproximación intenta encontrar respuestas a las preguntas socio-científicas que nos inquietan, incorporándolas a una formación STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) o educación en ciencia y tecnología, y planteando retos y desafíos a las jóvenes generaciones que podrían estar interesadas en participar activamente en la toma de decisiones y en la actuación consecuente.

Muchos/as docentes están comprensiblemente preocupados/as porque la exploración de cuestiones éticas y sociales podría menoscabar el conocimiento y la comprensión científica básica que se necesita para superar y aprobar las pruebas finales, tipo examen, de ciencias. Aportar ciertas actividades que nos ayuden a superar esta concepción se ha convertido en una prioridad, y es la razón por la que el contenido científico es crucial dentro de una aproximación

SSIBL. Estamos convencidos de que implicarse en los aspectos personales y sociales que emergen de estos contextos redundará en una mejora profunda del conocimiento y se problematiza la realidad, lo que nos hace más críticos, prácticos y comprensivos. El **Cuadro 1** proporciona un resumen de las principales características SSIBL.

SSIBL para el profesorado:

Es una herramienta útil para mejorar la práctica docente;

Puede incluirse perfectamente en la práctica docente;

Surge al analizar el “estado de la cuestión” en educación científica;

Fomenta y ofrece oportunidades para trabajar el currículo;

Establece vínculos con el desarrollo de los avances científicos y tecnológicos;

Proporciona vías de colaboración más allá del currículo y la escuela;

Alienta a los/as jóvenes a promover cambios y ser partícipes de la sociedad.

Cuadro 1 — Principales características SSIBL

Comenzaremos desde un enfoque centrado en la indagación. Indagar significa hacer preguntas y comprender las ideas que subyacen a los problemas que nos preocupan. Estas preguntas pueden ser más o menos complejas, pero deben estar enfocadas adecuadamente; pueden surgir de la curiosidad sobre los fenómenos naturales o tener un componente más social. ¿Qué pasa con las nubes cuando desaparecen? ¿Por qué es dulce el azúcar? ¿Cómo podemos comer de manera más saludable y por qué esto es importante? ¿Cuál es el impacto de las nuevas tecnologías en nuestra vida cotidiana? ¿Son los cigarrillos electrónicos perjudiciales para la salud?

Este libro le proporcionará ejemplos, consejos e ideas para empezar a aplicar este enfoque en el aula. El libro se estructura en:

1. Presentación del marco teórico SSIBL (capítulo 2);
2. Algunas actividades para trabajar SSIBL (capítulo 3);
3. Estrategias y materiales para seguir ampliado su formación y conocimiento sobre SSIBL (anexos).

RRI

Es un término que se usa principalmente en ciencia e innovación. Los objetivos del RRI reflejan la importancia de la participación pública y de las partes interesadas, así como la capacidad de respuesta mutua, trabajando con y para las personas, para el desarrollo de la ciencia y la tecnología. En otras palabras, ¿cómo pueden la ciencia y la industria desarrollar conocimiento y tecnología que sea socialmente deseable, éticamente aceptable y sostenible?; por ejemplo, ¿Son socialmente deseables y aceptados los estuches de pruebas genéticas que se pueden comprar a través de Internet? ¿Cómo podemos limitar la explotación humana de colectivos muy desfavorecidos en la industria minera? ¿Es éticamente aceptable utilizar esta mano de obra?; y ¿cómo nos aseguramos que los nuevos procesos y productos sean sostenibles desde el punto de vista ambiental, político y social? Podríamos decir que el término RRI, que ha sido acuñado en los últimos años, es un elemento crucial de las recientes políticas sobre ciencia y tecnología de la Unión Europea. El proyecto PARRISE ha adoptado el concepto de RRI en educación y lo ha puesto en práctica.

UN APUNTE SOBRE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN RESPONSABLES

La Investigación e Innovación Responsables (*Responsible Research and Innovation* o RRI) constituyen el principio fundamental para un desarrollo socialmente deseable, éticamente aceptable y científica y tecnológicamente sostenible. Es el telón de fondo de SSIBL, y sus

elementos principales se explican en el **Cuadro 2**.

La **Figura 1** muestra cómo los diferentes componentes de SSIBL se relacionan entre sí. Las capas externas de RRI y *ciudadanía crítica* son los principios estructuradores relacionados con justicia social. El núcleo interno de SSI e IBSE materializa estos principios dentro de contextos científicos informales y formales.



Figura 1 — RRI en educación (apoyo y empoderamiento del profesorado de ciencias)

2— Marco teórico

Aprendizaje por indagación de
controversias socio-científicas (SSIBL)



SSIIBL utiliza un enfoque de indagación que conecta ciencia y sociedad en el aula, integrando contextos de aprendizaje informal. —

En la sociedad moderna a menudo surgen controversias entre la investigación y el desarrollo científico y tecnológico por un lado, y la responsabilidad pública por el otro. Los procesos de producción, que abarcan valores sociopolíticos, consideraciones económicas y desafíos tecno-científicos son complejos e inciertos, y las demandas sociales siempre están cambiando. SSIBL aborda el problema contemporáneo de *Ciencia y Sociedad* a través de la idea subyacente de la ciencia *para y con las personas*. Pero al hablar de personas debemos reconocer que existen muchas partes implicadas (*stakeholders*) y con diversas opiniones y perspectivas.

Las partes implicadas son todas aquellas que se ven afectadas por la ciencia y la tecnología. Esto incluye a los/as estudiantes que ahora se encuentran en las escuelas, y que tendrán una gran influencia sobre el progreso en los próximos años. SSIBL es un enfoque en el que los/las jóvenes, como ciudadanía activa, investigan las cuestiones socio-científicas que les interesan y proponen medidas cuando es necesario.

SSIBL se sustenta en tres enfoques pedagógicos comunes en las escuelas, pero a menudo trabajados de forma independiente: Educación Científica basada en la Indagación (*IBSE*, *Inquiry-Based Science Education*), Controversias Socio-Científicas (*SSI*, *Socio-Scientific Issues*) y Educación Ciudadana (*CE*, *Citizenship Education*).

Una enseñanza SSIBL se articula en tres fases: preguntas relevantes, indagación y acción. La secuencia de enseñanza comienza formulando preguntas relevantes sobre “controversias socio-científicas”. Para explorar estas preguntas se realiza indagación científica y social (*indagar*). Por último, se anima a los/as estudiantes para que pasen a la acción: generen opiniones y formulen soluciones (*actuar*).

Objetivos

1. Apoyar a los/as jóvenes para que actúen, a través de la investigación, como agentes sociales informados, promoviendo así la educación ciudadana crítica.

2. Animar a los/as jóvenes a participar en temas de investigación e innovación que estén relacionados con la ciencia y la tecnología.

3. Promover el interés de los/as jóvenes por la ciencia, las matemáticas y la tecnología.

Cuadro 3 — Objetivos del enfoque SSIBL

Estas tres etapas principales, y los enfoques pedagógicos subyacentes, están representados en el modelo SSIBL (ver *Figura 2*). En la siguiente sección, se discutirán con más detalle.

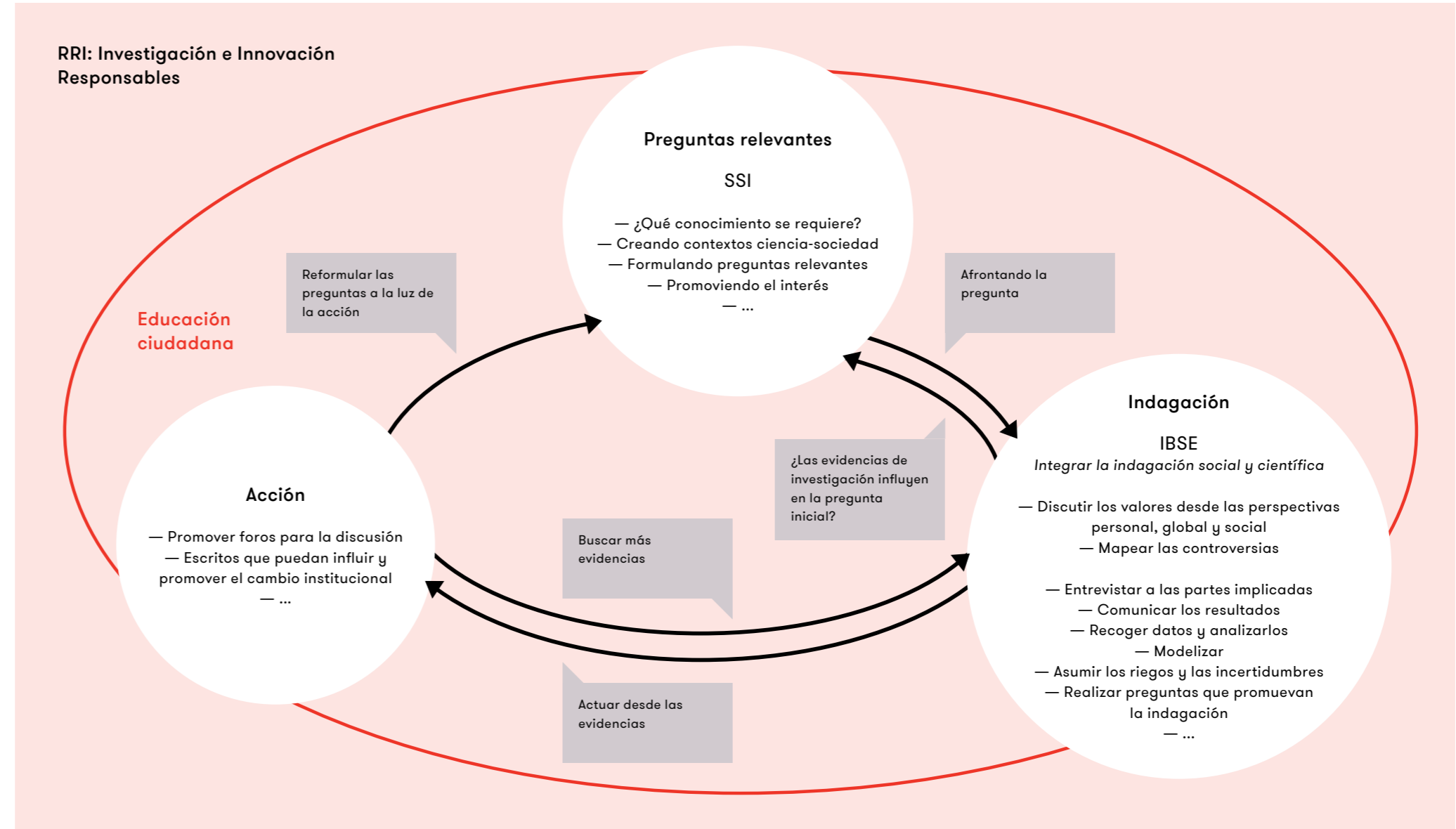


Figura 2 — Representación de una aproximación SSIBL (el enfoque está integrado en el contexto general RRI)

Fase 1: Plantear preguntas relevantes — [‘Preguntar’]



¿Es saludable ir a la escuela en bicicleta? ¿Qué problemas presentan las nanotecnologías? ¿Es ética la forma de obtener los componentes con los que se fabrican nuestros teléfonos móviles? ¿Cómo podemos hacer que nuestra escuela sea energéticamente más eficiente? Estos son ejemplos de preguntas relevantes.

Las preguntas relevantes se caracterizan por:

- Ser interesantes y ofrecer oportunidades para involucrar a los/as estudiantes (autenticidad personal); a través de esas preguntas se pueden expresar deseos, posibilidades de elección y oportunidades para ofrecer respuestas colectivas (autenticidad social);
- Tener en cuenta situaciones o problemas del mundo real, complejas y, en ocasiones, delicados;
- En ocasiones, ser polémicas por naturaleza, al no existir un consenso general sobre cómo afrontarlas o responder ante ellas;
- Ser inclusivas en aspectos de género y sensibles al género;
- Ser preguntas que pueden surgir de los/as estudiantes de manera espontánea, aunque en ocasiones necesiten de la guía y apoyo del profesorado;
- Presuponer un cambio al afrontar asuntos que requieren cuestionamiento y mejoras, por ejemplo, en el ámbito social o ético.

Este enfoque requiere frecuentemente ir más allá de los límites de la escuela, colaborando con científicos/as, legisladores u otros agentes implicados previo acuerdo en clase. SSIBL

promueve por tanto la interacción con contextos de educación informal y la colaboración con instituciones y organismos externos.

El planteamiento de estas preguntas se convierte en un aspecto clave para un uso adecuado de SSIBL. Es importante en esta etapa ser consciente de que la pregunta inicial puede no cumplir todas las condiciones de una buena pregunta. Sin embargo, existen estrategias con las que podemos enseñar a nuestros/as estudiantes a formular preguntas relevantes.

El anexo 1 “La Máquina de Contextos” muestra las estrategias para ayudar a los estudiantes a formular cuestiones relevantes.

CONTROVERSIAS SOCIO-CIENTÍFICAS

Las cuestiones relevantes frecuentemente giran en torno a controversias socio-científicas (SSI) que requieren conocimiento científico para dirimir o posicionarse en el aspecto más social. Por ejemplo, en relación con el consumo energético, la gente joven necesita entender la relación existente entre los combustibles fósiles y la energía para apreciar que la conservación de dicha materia prima supone un coste elevado tanto en términos económicos como sociales. Comprender cómo el oxígeno se difunde por las células es importante para entender las repercusiones personales y sociales relacionadas con el tabaquismo. En el caso de la fabricación de las denominadas ropas ecológicas (*eco-friendly clothes*) la comprensión de las propiedades químicas y físicas del óxido

de titano y el conocimiento acerca de cómo éste se produce y se distribuye globalmente, son fundamentales para valorar las repercusiones sociales de su extracción y producción (véase capítulo 3).

A veces, los aspectos socio-científicos pueden presentarse en forma de un dilema o controversia, pero este no siempre es el caso; por ejemplo, todas las partes implicadas podrían reconocer estar de acuerdo en relación con un contexto o situación no controvertida y trabajar en equipo para encontrar la mejor manera de resolverlo. Sin embargo, en otros casos puede haber discrepancias entre las partes implicadas. Se considera que las controversias ocurren cuando diferentes partes tienen argumentos opuestos y éstos se ven reforzados, en todos los casos, por buenas razones. Por ejemplo, la gente podría estar de acuerdo en que el cambio climático es un problema urgente que debe ser tratado, pero podrían no estar de acuerdo en cuál es la mejor forma de abordar el problema.

SSI: tipos de controversia

En determinados temas socio-científicos pueden darse diferentes tipos de controversia (1). Por ejemplo, todas las partes interesadas pueden estar de acuerdo en que se deben tomar medidas para limpiar el cauce de un río que pasa por su ciudad, pero pueden estar en desacuerdo sobre cuáles son las causas por las que se está produciendo dicha contaminación. Este desacuerdo puede surgir como consecuencia de evidencias más o menos complejas. Las partes

interesadas también podrían estar en desacuerdo en la forma más adecuada de actuar, ya que, por ejemplo, si se tomaran medidas, el coste asociado a la limpieza del cauce de agua podría afectar al sustento de las personas que trabajan en la industria que contribuye al problema. Estas diferencias de posicionamiento e interés se pueden ejemplificar con el siguiente caso: la diferencia entre las posiciones adoptadas por muchos agricultores en relación a la tuberculosis bovina en el Reino Unido en comparación con las de los ambientalistas. La Unión Nacional de Agricultores del Reino Unido, por ejemplo, explica que los tejones salvajes transportan la bacteria tuberculosa y la transmiten al ganado, y proponen que los tejones deberían controlarse mediante el sacrificio. Muchos conservacionistas sostienen que los agricultores necesitan una agricultura que se adapte a la situación, ya que los tejones son una parte tan importante del ecosistema que deben ser protegidos. En este caso la *incertidumbre* se pone de manifiesto. Parte de la comunidad científica argumenta que sacrificar tejones es un medio efectivo para controlar la tuberculosis bovina; otra parte asegura que el sacrificio de los tejones no solo es ineficaz sino que agrava el problema, ya que favorece la transmisión de la bacteria. En esta situación, como hemos podido observar, no hay una solución única al problema. El sesgo en los valores y preferencias de las distintas partes implicadas juegan un papel clave en la toma de decisiones.

Por lo tanto, cuando trabajamos con controversias socio-científicas debemos proporcionar un contexto que nos brinde la oportunidad de plantear preguntas de investigación.

En relación con las SSI, los ejemplos del capítulo 3 implican:

Aspectos de desacuerdo o controvertidos (puesto que hay diferentes maneras de reducir la pérdida de calor en la escuela, ¿cuál es la mejor manera? ¿Se deben usar nuevas formas de reducir la contaminación cuando los costos sociales de la producción son tan altos?).

Razonamiento. En términos generales la discusión de los aspectos socio-científicos implican un razonamiento tanto formal como informal. Cuando los/as estudiantes exponen sus opiniones relacionadas con aspectos de sus experiencias cotidianas, a menudo utilizan un *razonamiento informal*. La utilización del conocimiento científico a través de una lógica consistente para justificar una opinión es un ejemplo de *razonamiento formal*. Ambos tipos de razonamiento son válidos según el contexto y se debe alentar a los estudiantes a identificar y distinguir entre las dos formas de razonar. Sadler et al. (2011) ⁽²⁾ muestran que hay evidencias de que la participación en SSI puede promover el aprendizaje de contenidos de ciencias, aunque el aprendizaje es más significativo si los/as estudiantes realmente están interesados en el tema y, por lo tanto, para ellos/as adquiere cierta *autenticidad*.

Incertidumbre y riesgo. Muchos aspectos relacionados con las SSI implican incertidumbres y riesgos. Debemos alentar a nuestros/as estudiantes a distinguir diferentes tipos de incertidumbre. Tomar medidas con un termómetro, por ejemplo, para comprobar la temperatura en diferentes áreas de la escuela (capítulo 3), implica un determinado grado de incertidumbre dependiendo de la precisión del instrumento de medición. Predecir los impactos sociales, por ejemplo, relacionados con el hecho de que los/las jóvenes continúen fumando incluso conociendo los riesgos que ello conlleva para la salud, o la utilización de ropas que purifican el aire, son ejemplos de *incertidumbre social*. El riesgo está relacionado con la probabilidad de

1

Levinson, R. (2006). Towards a Theoretical Framework for Teaching Controversial Socio-scientific Issues. *International Journal of Science Education*, 28(10), 1201-1224.

2

Sadler, T.D., Klosterman, M.L., & Topcu, M.S. (2011). Learning science content and socio-scientific reasoning through classroom explorations of global climate change. En Sadler, T. (Ed.). *Socio-scientific issues in the classroom*. Dordrecht: Springer, 45-78.

3

Levinson, R. (2011). How Science Works: teaching controversial issues. In R. Toplis (ed.) *How Science Works*, London: Routledge, 56-70.

que ocurra un determinado evento, en general percibido como indeseado. Los estudiantes en etapas superiores deberían ser capaces de distinguir entre riesgo relativo y absoluto, y también comprender otros factores como la estimación del riesgo teniendo en cuenta la probabilidad **(3)**.

En ocasiones, los/as estudiantes presentan sus propias preguntas sobre problemáticas que desean abordar. El docente puede ayudar a promover el interés en un determinado tema en particular usando imágenes, videos, recortes de noticias de periódicos, redes sociales, etc., para conectar con el entorno, la vida y preocupación del/la estudiante. En el anexo 1 se proporciona información más detallada.

Fase 2: Indagación — (‘Indagar’)



Para avanzar desde las preguntas a las soluciones y posteriormente actuar en consecuencia, la investigación y el desarrollo para y con las personas deben ser aspectos participativos e inclusivos e implicar un aprendizaje basado en la indagación para ofrecer oportunidades que permitan comprender los vínculos entre la ciencia y la sociedad.

Esto se resume en tres dimensiones o perspectivas:

1. Personal {¿Qué significa para mí?};
2. Social {¿Qué significa para mi familia, amigos, comunidad?};
3. Global {En un sentido mucho más amplio ¿qué significa?}.

Esta aproximación, construida en el marco SSIBL, se explicará a continuación utilizando el enfoque de una educación científica basada en la indagación.

EDUCACIÓN CIENTÍFICA BASADA EN LA INDAGACIÓN (IBSE)

La educación científica basada en la indagación (o aprendizaje basado en la investigación guiada) se ubica en la fase de indagación. Los/as estudiantes necesitan habilidades y conocimientos que les ayuden a encontrar las evidencias necesarias para poder encontrar respuestas a la pregunta relevante. Estas habilidades son multifacéticas porque involucran la colaboración con otros/as, conocer los puntos de vista de las partes interesadas y realizar

experimentos. La experimentación (entendida como la realización de experimentos) implica proponer y probar, recopilar y evaluar datos, así como asumir y darle sentido a la incertidumbre en los datos recopilados y a su interpretación. En consecuencia, y como resultado de un análisis exhaustivo y de la reflexión sobre los datos, surge la formulación de nuevas preguntas. Después de reunir las pruebas necesarias, los estudiantes deben explicar cómo las evidencias les ayudan a fundamentar y justificar sus respuestas.

El docente puede optar por guiar en mayor o menor medida el aprendizaje, particularmente si el alumnado no tienen experiencia previa relacionada con el aprendizaje por indagación. Al principio, se puede formular una pregunta concreta para que los/las estudiantes exploren posibles respuestas. Si tomamos como referencia el ejemplo de la pérdida de energía en la escuela del capítulo 3, podríamos pedirle a los estudiantes que averigüen qué zonas de la escuela son las que presentan mayores pérdidas energéticas en invierno, de tal forma que deban planificar cómo mejorar el aislamiento. Algunos de los posibles enfoques se reflejan en la *Tabla 1* en donde se muestran algunas orientaciones que el docente podría preparar con antelación para compartirlas con sus estudiantes.

Uno de los rasgos distintivos y característicos del IBSE (dentro del marco SSIBL) es que las investigaciones son abiertas y no predeterminadas, y pueden incluir una gran variedad de enfoques que incluyen experimentos, encuestas y debates.

APROXIMACIÓN AL SSIBL A TRAVÉS DEL IBSE

Una vez realizada la exploración del escenario, el alumnado necesita una buena pregunta investigable. La formulación de la misma no es una tarea sencilla y necesitará, casi con toda seguridad, el apoyo del docente. La pregunta investigable debe tener las siguientes características:

- Ha de estar relacionada con el tema o contexto analizado;
- Debe ser abierta y de respuesta desconocida *a priori*;
- Debe formularse como una única pregunta (por ejemplo, ¿cuáles son las principales razones por las que la gente joven fuma?. Debemos tener en cuenta que los diferentes grupos de alumnos/as en una encuesta podrían realizar distintas preguntas de investigación, siempre que cada grupo solo siga una pregunta);
- La pregunta debe de ser clara y estar enfocada y relacionada con la temática tratada;
- La pregunta debe ser factible: se puede abordar y responder en un determinado tiempo;
- Se pueden recopilar datos y evidencias para responder a la pregunta.

Pregunta	¿Cómo podríamos reducir las pérdidas energéticas de la escuela en invierno?
Cómo se organiza	<p>¿Cómo nos aseguramos de que todos/as tienen algo que aportar?</p> <p>¿Qué piensan mis compañeros/as que debemos hacer?</p> <p>¿Cómo decidimos entre todos/as cuál es la mejor manera de solucionar esto?</p>
Aspectos a tener en cuenta	<p>¿Cuáles son las mejores zonas de la escuela para realizar esta investigación?</p> <p>¿Cuándo deberíamos tomar las medidas?</p> <p>¿Qué instrumental o equipo utilizaremos?</p> <p>¿Deberíamos realizar medidas en diferentes momentos del día?</p>
Toma de datos	<p>¿Cómo vamos a recoger los datos?</p> <p>¿Estamos seguros de que nuestros datos son fiables?</p>
Interpretación	<p>¿Qué nos están diciendo los datos?</p> <p>¿Dónde se están produciendo las mayores pérdidas energéticas?</p> <p>¿Qué podemos hacer?</p>

Tabla 1 — Ejemplo de una indagación guiada (*scaffolded*)

Fase 3: Acción — (‘Actuar’)



Las soluciones a las preguntas relevantes deben involucrar algún tipo de *acción*. Por *acción* nos referimos al resultado que dirige la pregunta original y que resulta en la realización de algún tipo de cambio, en la obtención de conocimiento relevante, o en la comprensión de las razones por las cuales el cambio puede no ser el deseado.

Las acciones pueden ser de diferentes tipos, tales como:

- Elaborar algún tipo de producto;
- Contactar con las instituciones;
- Generar materiales didácticos;
- Promover cambios institucionales, por ejemplo en política educativa;
- Promover un foro de discusión;
- Escenificar la situación para ilustrar el dilema;
- Realizar un escrito influyente;
- Elaborar carteles promoviendo temas de debate o discusión.

Encontrar una solución puede generar otras preguntas, por lo tanto, el proceso podría ser cíclico en lugar de lineal (ver *Figuras 2 y 3*). Las acciones pueden generar más preguntas para que el proceso se constituya de manera reflexiva y en espiral, en lugar de lineal.

EDUCACIÓN CIUDADANA

SSIBL apoya a los/las jóvenes a actuar como agentes sociales informados a través de la educación ciudadana (CE). SSIBL motiva a los/as estudiantes a tomar decisiones conjuntamente que se traduzcan en acciones consecuentes. En una sociedad democrática, todas las partes interesadas deberían poder contribuir y, por lo tanto, las actividades SSIBL deberían alentar la participación y el diálogo a lo largo de todo el proceso, desde la formulación de preguntas y la realización de la investigación, hasta la propuesta de las posibles soluciones y la confección de las acciones relacionadas con el problema analizado.

Rasgos de la CE en SSIBL

La idea central de la CE en SSIBL es participar de manera crítica en la adopción de determinadas medidas. Participar en un diálogo crítico y constructivo es:

- Argumentar con compromiso y posicionamiento personal usando las evidencia y el razonamiento;
- Escuchar con atención y consideración las diferentes opiniones y puntos de vista;
- Estar receptivo para cambiar nuestro punto de vista. Si otro participante presenta un argumento mejor, evaluarlo por sus aportaciones y evidencias;
- Respetar las opiniones de los demás. Todos los participantes tienen derecho a presentar sus opiniones y ser escuchados.

Declaraciones racistas, sexistas, homófobas, o cualquier declaración que deniegue la identidad y el carácter de un participante, no son respetuosas ni incluyentes, y no tienen cabida en un diálogo constructivo;

- Ser crítico con los argumentos si hay puntos con los que no se está de acuerdo, si se basan en pruebas insuficientes o en premisas inestables;
- Fomentar la pasión y el compromiso. Los participantes que tienen un elevado compromiso argumentando un particular y muy personal punto de vista podrían reprimir el diálogo. Pero en condiciones de apertura y transparencia, esto a menudo puede tener un efecto positivo, porque ayuda a otros participantes a reflexionar con mayor profundidad sobre sus propios puntos de vista.

En el anexo 3 se proporciona más información sobre educación ciudadana.

Resumen

El aprendizaje basado en la indagación de controversias socio-científicas (SSIBL) traslada la Investigación e Innovación Responsable al contexto educativo. Se aprende a través de preguntas relevantes sobre cuestiones controvertidas que emergen de las implicaciones de la ciencia y la tecnología en la sociedad. Estas preguntas son abiertas, implican la participación de diversas partes interesadas y están orientadas a soluciones que ayudan a promover o implementar un cambio.

Características del enfoque SSIBL en sus tres fases:

1.

Plantear *preguntas relevantes* sobre temas controvertidos (SSI) que surgen de la influencia y el impacto de la ciencia y la tecnología en la sociedad. (‘Preguntar’)

2.

Indagación: Integrar aspectos de indagación social y científica para explorar las preguntas relevantes abiertas. (‘Indagar’)

3.

Actuación: formular soluciones que ayuden a promover un cambio. (‘Actuar’)

3— SSIBL en el aula



Cuando utilizamos SSIBL como una aproximación didáctica, podemos tomar la versión del modelo teórico simplificada que se muestra en la *Figura 3*. Este modelo incluye tres etapas **preguntar**, **indagar** y **actuar**.

Estas fases están alineadas con los principales objetivos del RRI: socialmente deseable, éticamente aceptado y sostenible.

A continuación describimos actividades para tres cursos y grupos de diferentes edades. La *Tabla 2* en la página 39 resume los principios básicos del modelo SSIBL que aparecen en estas actividades.

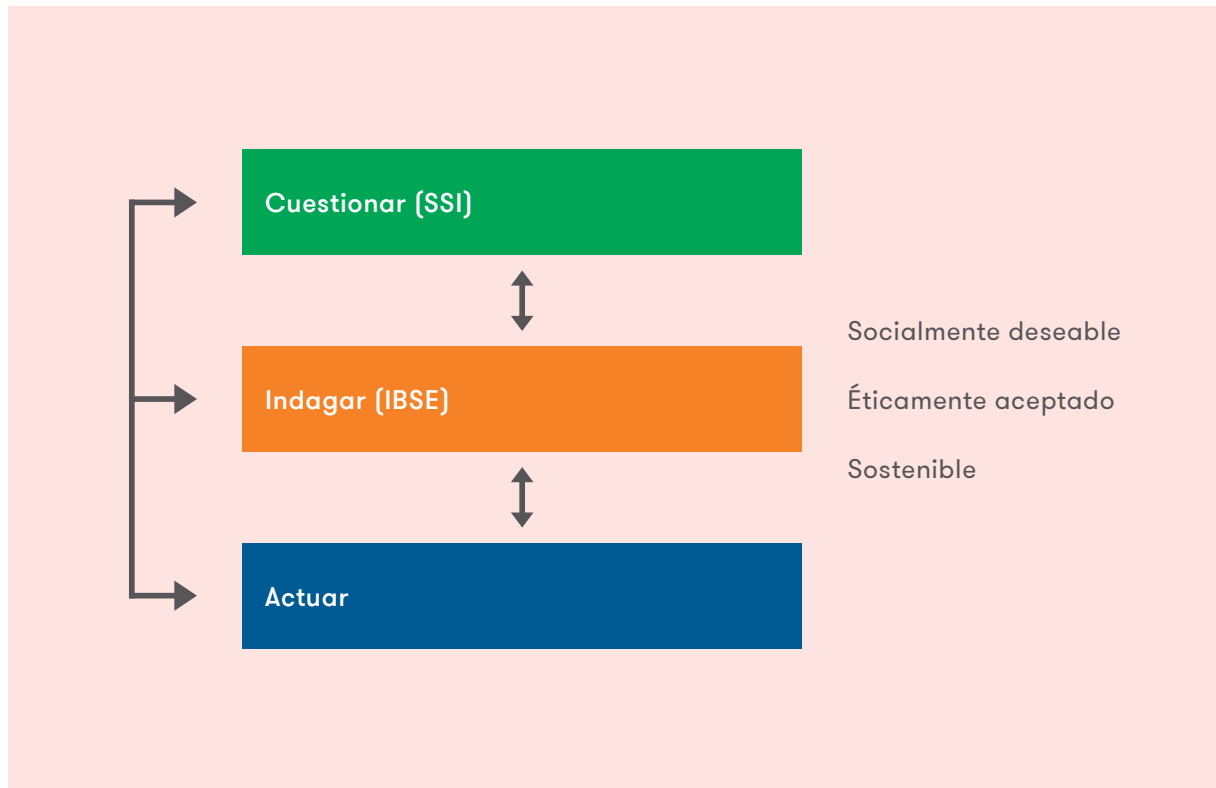


Figura 3 — Una visión simplificada del modelo SSIBL



1. REDUCIR LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN LA ESCUELA

Una clase de primaria está aprendiendo sobre la energía. En clase se han trabajado aspectos básicos como qué es la energía, tipos de energía y su relación con determinados cambios. Aprenden que la energía puede ser “reconocida” a través de sus tipos y de determinadas transformaciones que involucran luz, movimiento, calor, electricidad, sonido, etc. También saben que sus cuerpos utilizan energía para realizar acciones cotidianas como levantar pesas, caminar para ir a la escuela, mantener la temperatura corporal, etc. Intuitivamente comprenden la idea de que necesitan alimentos para producir esta energía, aunque el proceso de conversión y el papel de los alimentos aún no está muy claro. En este punto, en clase, se ha incidido en las analogías ya que la comida puede verse como un combustible que el cuerpo necesita al igual que “las máquinas” utilizan la gasolina, el carbón o el gas para funcionar. A través de observaciones y determinados

experimentos sencillos, podemos mostrar cómo los combustibles necesitan ciertas condiciones para “liberar” esa energía; cómo puede influir la presencia del aire (oxígeno realmente) y cómo puede ser una fuente de calor.

A través de las discusiones de sus experimentos y el establecimiento de relaciones del uso de la energía en su vida cotidiana a título personal y de forma global en el planeta, llegamos al punto en donde es necesario comprender que determinado tipo de combustibles pueden agotarse y por tanto debemos realizar un uso sostenible. En este punto deciden investigar cómo su escuela gestiona el uso de energía para que permanezca caliente durante el invierno y fresca en verano. Su investigación se desarrollará en cuatro etapas:

1. Desarrollan un plan para resolver la cuestión de la conservación del combustible (o gestión de la energía) en la escuela. La pregunta general es: ¿cómo podemos evitar las pérdidas de energía en la escuela? (**‘Preguntar’**)
2. Realizan una encuesta para detectar cuales son aquellos lugares más fríos y aireados en invierno o más calientes y poco confortables en verano. (**‘Indagar’**)
3. Buscan información e intentan realizar algún tipo de experimento para analizar cómo reducir las pérdidas energéticas, por ejemplo: ¿cómo podríamos reducir la pérdida de calor de una

taza de agua caliente utilizando diferentes tipos de aislantes? (*'Indagar'*)

4.

Partiendo de sus hallazgos, diseñan un tríptico en el que se muestra cómo conseguir una escuela más eficiente desde el punto de vista energético, mostrando por ejemplo otros aspectos como disminuir el uso de luces y ordenadores si no son necesarias, y proponen el “día del ahorro energético” en la escuela. (*'Actuar'*)

En esta actividad se trabajan aspectos como transferencia de energía o tipos y fuentes de energía, por ejemplo:

- Ejemplos de transferencia de energía;
- Se necesita “un combustible” como uno de los puntos de partida para la transferencia de energía;
- Partiendo de combustibles fósiles se necesita aire y una fuente de calor (para la combustión);
- El “calor” fluye desde las zonas de mayor temperatura a las de menor temperatura;
- Se puede gestionar la conservación de energía con ahorro de combustibles y reduciendo gastos.

Adaptado a SSIBL

¿En qué zonas de tu casa o escuela tienen lugar las mayores pérdidas de energía?
 ¿Cómo podríamos determinar estas pérdidas?
 ¿Dependen del momento del día? ¿Cuál es la mejor forma de representar e interpretar los

datos? ¿Qué tipo de instrumentos utilizaríamos para la recogida de datos? ¿Cómo vamos a presentar esos datos? ¿Qué fiabilidad tienen esos datos? ¿Cómo vamos a conectar los hallazgos en relación con el ahorro energético, el uso de los combustibles fósiles y la educación ambiental? El estudio podría extenderse no solo al aula o la escuela, sino a otro tipo de edificios similares en el entorno del estudiante. ¿Qué formas de ahorro energético vamos a proponer? ¿Qué necesitaríamos para ello? ¿Cómo podríamos convencer a la dirección de la escuela, por ejemplo, para que nos proporcione recursos? (Más información en la *Tabla 2*)



2. ¿POR QUÉ FUMA LA GENTE JOVEN?

El tabaquismo adolescente es un problema por ejemplo, en el Reino Unido, especialmente entre las chicas jóvenes. Los estudiantes pueden aprender sobre:

- El funcionamiento y estructura de los bronquios y los pulmones;
- La respiración (mecánica de la respiración, el movimiento de la caja torácica y los músculos intercostales);
- La importancia del oxígeno para el metabolismo celular y la necesidad del intercambio gaseoso;
- Procesos de difusión de gases, del oxígeno y del dióxido de carbono, en las membranas pulmonares y aspectos relacionadas con los gradientes de concentración de estos gases;
- Cómo se transportan los gases desde y hasta las células.

En relación con el intercambio de O_2/CO_2 , se ofrece a los estudiantes un modelo (**Figura 4**) que

demuestra los efectos del tabaquismo. Podrían, por ejemplo, discutir hasta qué punto este modelo representa lo que ocurre en los pulmones, las similitudes y diferencias entre el modelo de “pulmón de algodón” y los pulmones reales, la superficie efectiva del pulmón, su naturaleza esponjosa, cuánto se mancha la superficie de los pulmones, el papel de los bronquios durante la inhalación y la exhalación, etc.

Adaptado a SSIBL

Los/as estudiantes pueden investigar el impacto del tabaquismo en la población joven, los factores de riesgo (la probabilidad de contraer una enfermedad pulmonar grave junto con la gravedad de la misma) y si los cigarrillos electrónicos son una buena alternativa para dejar de fumar. Después de ver la demostración, analizan los efectos biológicos; los/las estudiantes pueden profundizar sobre cómo una visión más informada podría repercutir en los hábitos de las personas que fuman.

Los/as estudiantes podrían diseñar una encuesta anónima para averiguar cuántos de sus compañeros fuman, por qué aquellos que fuman lo hacen y conocer las opiniones sobre el tabaquismo “pasivo”. Podrían trabajar en grupos para diseñar y evaluar los cuestionarios que pueden enviar a sus compañeros/as utilizando por ejemplo la herramienta *Survey Monkey*. También podrían recopilar datos para indagar sobre las relaciones entre el tabaquismo y determinadas enfermedades, como el enfisema y el cáncer de pulmón.

Partiendo de la investigación, los estudiantes diseñan un póster que se puede exhibir en un lugar destacado y público de la escuela. La información recopilada podría ser utilizada para mostrar, por ejemplo, los riesgos que conlleva

y cómo trabajar en las escuelas los riesgos asociados al tabaquismo. Véase la *Tabla 2*.

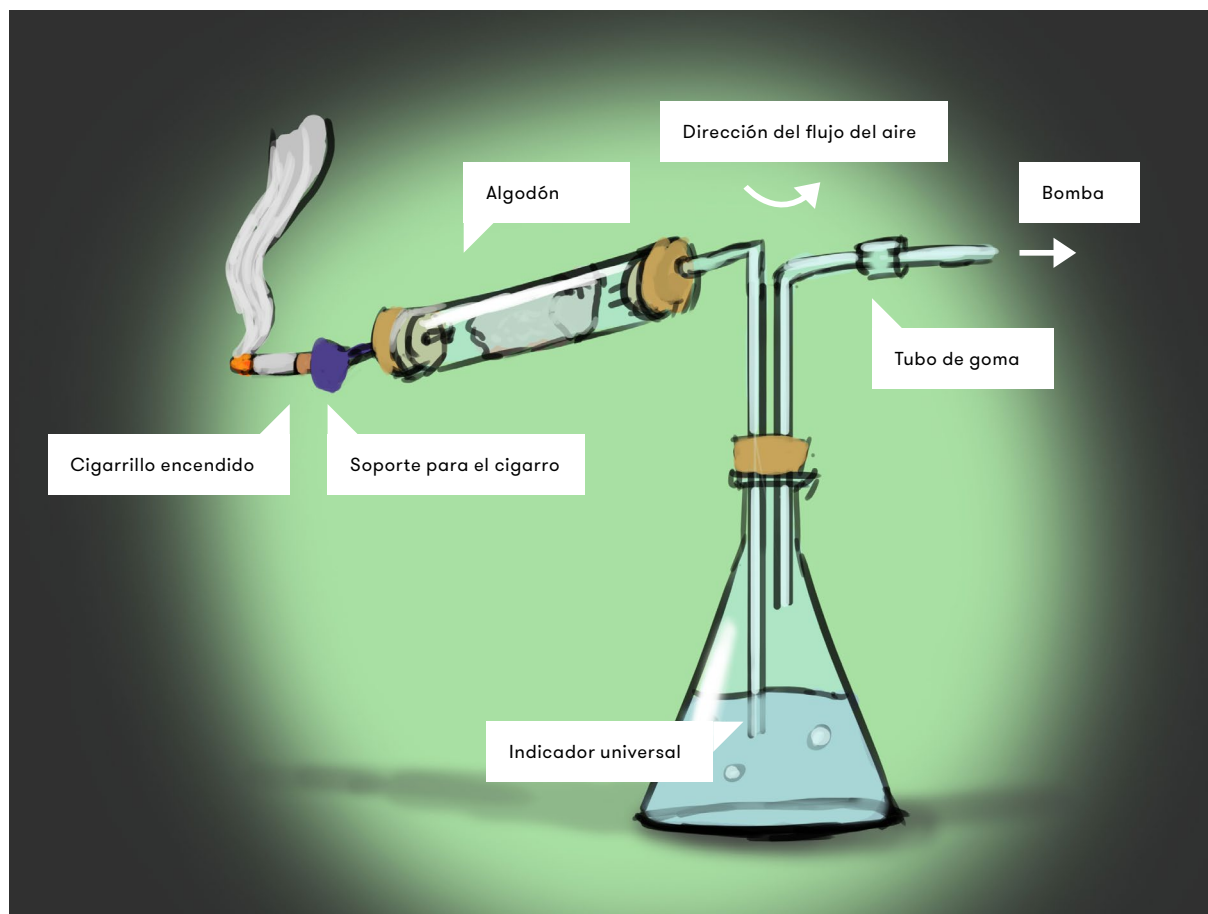


Figura 4 — Modelo sobre la acción de fumar



3. ROPA ECOLÓGICA

Este ejemplo está inspirado en un proyecto llevado a cabo en una clase de primero de Bachillerato. El punto de partida de esta actividad se inicia a través de un artículo de prensa ⁽⁴⁾ que un estudiante presentó en la *University College London* durante un curso de desarrollo profesional para profesores. El artículo explicaba cómo se podría reducir parte de la contaminación del aire a través de un tipo concreto de ropas que lo purifican.

⁴

Artículo de prensa en: <https://www.theguardian.com/sustainable-business/sustainable-fashion-blog/clothes-tackle-city-pollution-laundry-additive>. Más información relacionada con la este tipo de ropa en: <https://blogs.scientificamerican.com/guest-blog/catalytic-clothing-purifying-air-goes-trendy/>

La tecnología de la ropa catalítica se ha desarrollado desde diferentes áreas relacionadas con la química. Los pantalones vaqueros se someten a un proceso de limpieza con nanopartículas de dióxido de titanio, TiO_2 , que tiene propiedades fotocatalíticas. Estas partículas de dióxido de titanio reaccionan con agua líquida y con el vapor de agua en el aire en presencia de luz (fotocatálisis), produciendo moléculas de radicales libres que son extremadamente reactivas (los radicales ya se vieron anteriormente en clase en el tema sobre la descomposición de hidrocarburos). Estos radicales libres pueden reaccionar con partículas tóxicas de NO_x del aire, convirtiéndolas en compuestos relativamente inofensivos. Esto ofrece una ventaja ya que las partículas de óxido de titanio, de tamaño nanométrico, son capaces de adherirse a los pantalones vaqueros. El tamaño de estas partículas, que ofrecen una gran superficie efectiva, favorece enormemente el proceso catalítico de descomposición química de contaminantes NO_x . Además, el dióxido de titanio tiene muchas otras propiedades físicas y químicas y encontramos aplicaciones relacionadas con nuestra vida cotidiana (por ejemplo con los dentífricos, productos de confitería, protectores solares, cosméticos).

El dióxido de titanio y su papel en la ropa catalítica no solo proporciona un contexto fascinante para el estudio de la fotocatalisis, las reacciones de radicales libres y la nanoquímica, sino también sobre investigaciones de la efectividad de la ropa catalítica para purificar el aire y la relación costo-efectividad. Por ejemplo, ¿cuántas personas tendrían que usar ropa

catalítica para reducir significativamente los niveles de NO_x ? Esto podría investigarse mediante el uso de datos obtenidos de fuentes secundarias. Otra posible pregunta sería ¿podrían existir efectos secundarios?

La investigación da un giro cuando uno de los estudiantes descubre que el óxido de titanio, extraído del rutilo, proviene de minas ubicadas en Sierra Leona. Buscando más pruebas descubre algo que no se había mencionado anteriormente en la bibliografía consultada y que sin lugar a dudas parece ser controvertido: el proceso de extracción del rutilo ha dado lugar a la degradación del medioambiente local y gran parte de la población de Sierra Leona se ha visto obligada a desplazarse, todo ello sin obtener un beneficio aparente ⁽⁵⁾. Realizar inversiones de protección ambiental en Sierra Leona incrementaría enormemente los costes de extracción y producción por lo que, sin lugar a dudas, el precio del rutilo se incrementaría enormemente. Esta información provoca que el alumnado se formule nuevas preguntas: ¿Son asumibles los riesgos que provienen de la extracción del óxido de titanio en relación con los beneficios obtenidos? Si no es así, ¿cómo se justifica la tecnología catalítica de las ropas ecológicas? Los/las estudiantes utilizan el mapa de controversia (anexo 2) para identificar las

diferentes partes implicadas: compañía de extracción, mineros, el gobierno local de Sierra Leona, agricultores expropiados, investigadores, diseñadores, fabricantes de ropa, activistas medioambientales, el rutilo (mena del titanio), vestimenta, etc.

Esta pregunta se sometió a debate con todo el grupo. Los estudiantes concluyeron que los beneficios que aporta el dióxido de titanio son demasiado importantes como para obviarlos, pero decidieron alertar a los grupos ambientales locales para ejercer presión en relación con las condiciones de producción.

En la **Tabla 2**, se resumen estas actividades SSIBL.

5

<https://www.christianaid.org.uk/resources/about-us/sierra-leone-crossroads-seizing-chance-benefit-mining>

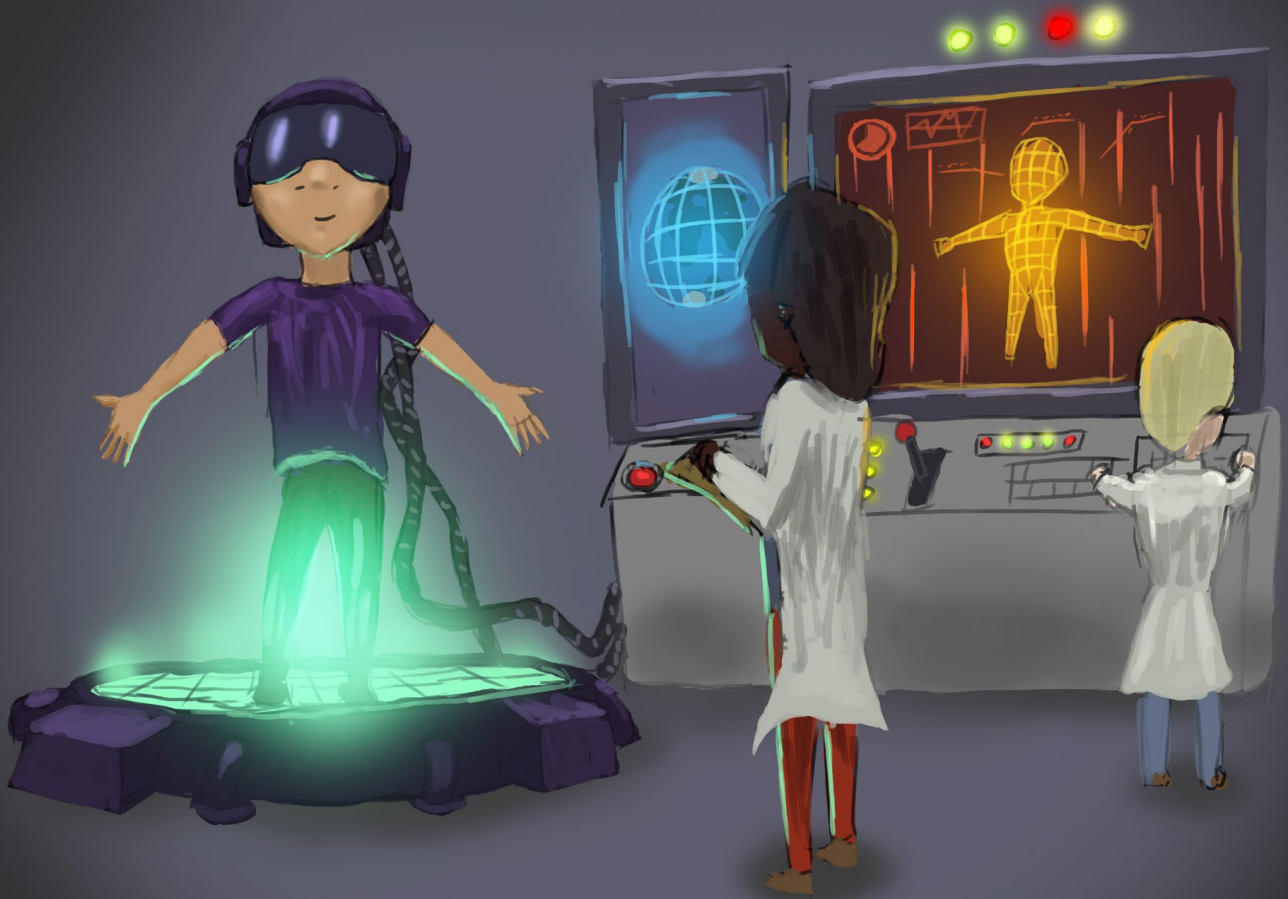
Contenido de Ciencias	Pregunta	Indagación	Actuar	Socialmente deseable	Éticamente aceptable	Sostenible
Reducir las pérdidas energéticas en la escuela						
Transferencia de energía, combustibles, ahorro energético, aislamiento, imágenes térmicas, recolección de datos, muestreo.	¿Dónde se produce la mayor pérdida de calor en la escuela? ¿Qué podemos hacer al respecto?	Formas de medir la pérdida de calor; toma precisa de datos; interpretación de los datos; eficacia del aislamiento; investigación sobre la conservación de la energía en los edificios.	Presentar la información a las autoridades escolares y al Consejo Escolar sobre la pérdida de calor y las formas de optimizar la situación. Diseñar mensajes de la forma más apropiada para convencer a las personas que pueden tomar las decisiones al respecto.	Identificar la forma de mejorar el confort y el bienestar de los/as estudiantes teniendo en cuenta un gasto/coste eficiente.	Las consecuencias de las acciones deben de ser mejorar las condiciones de aprendizaje, maximizando los beneficios para todas las partes.	Conservación energética (del combustible).
Por qué fuma la gente joven						
Anatomía pulmonar y adaptación, fisiología de la respiración, difusión gaseosa, sangre y transporte gaseoso, metabolismo celular, modelos sobre los efectos del tabaquismo.	¿Conocen nuestros compañeros/as el efecto del tabaquismo en la salud? ¿Qué piensan sobre el tabaquismo pasivo? ¿Qué mensajes, desde el punto de vista de la biología, podríamos plantear a los/las jóvenes sobre el tabaquismo?	Recoger datos a través de una encuesta validada; interpretar los resultados; explorar la relación entre el conocimiento de los efectos del tabaquismo y el comportamiento; alternativas al tabaco.	Hacer un póster informativo sobre el tabaquismo; negociar para decidir cuál es el mejor lugar en la escuela para exponer el póster; sensibilizar al profesorado y estudiantes sobre los efectos de fumar.	Formas efectivas de concienciar sobre los efectos del tabaquismo en la salud.	Debate sobre problemas de salud, sin revelar información confidencial.	Promoción de la salud.

Tabla 2 — Resumen de las actividades SSIBL

Contenido de Ciencias	Pregunta	Indagación	Actuar	Socialmente deseable	Éticamente aceptable	Sostenible
Ropas ecológicas						
Mecanismos de radicales libres, fotocatalisis, nanoquímica, contaminantes NO _x .	¿Cómo podríamos concienciar sobre la utilización de ropa ecológica? ¿Cuáles son las condiciones para que la ropa ecológica marque la diferencia? ¿Quién se ve afectado por la extracción de dióxido de titanio? ¿Cuáles son las mejores formas de abordar los problemas éticos?	Utilizar fuentes de datos secundarias para evaluar los efectos del uso de ropa catalítica y cómo se pueden extrapolar. Identificar los aspectos conflictivos, los intereses y valores subyacentes y los distintos posicionamientos en la producción de ropa catalítica.	Abrir la controversia sobre la minería a grupos ecologistas locales, atendiendo a las evidencias reunidas sobre la producción y los beneficios/inconvenientes del dióxido de titanio.	Utilización de productos que mejoran la calidad del aire.	Se tienen en cuenta los beneficios y las pérdidas para todas las partes implicadas que ponen de manifiesto las condiciones injustas de producción.	Condiciones sociales, económicas y beneficios ambientales.

Anexo 1—

Formulación de preguntas relevantes
sobre SSI: ‘Preguntar’



Podemos utilizar la siguiente herramienta, la “Máquina de Contextos” (desarrollada por el equipo de Nijmegen) para valorar si nuestro contexto se adecúa a una aproximación SSIBL (Figura S1).

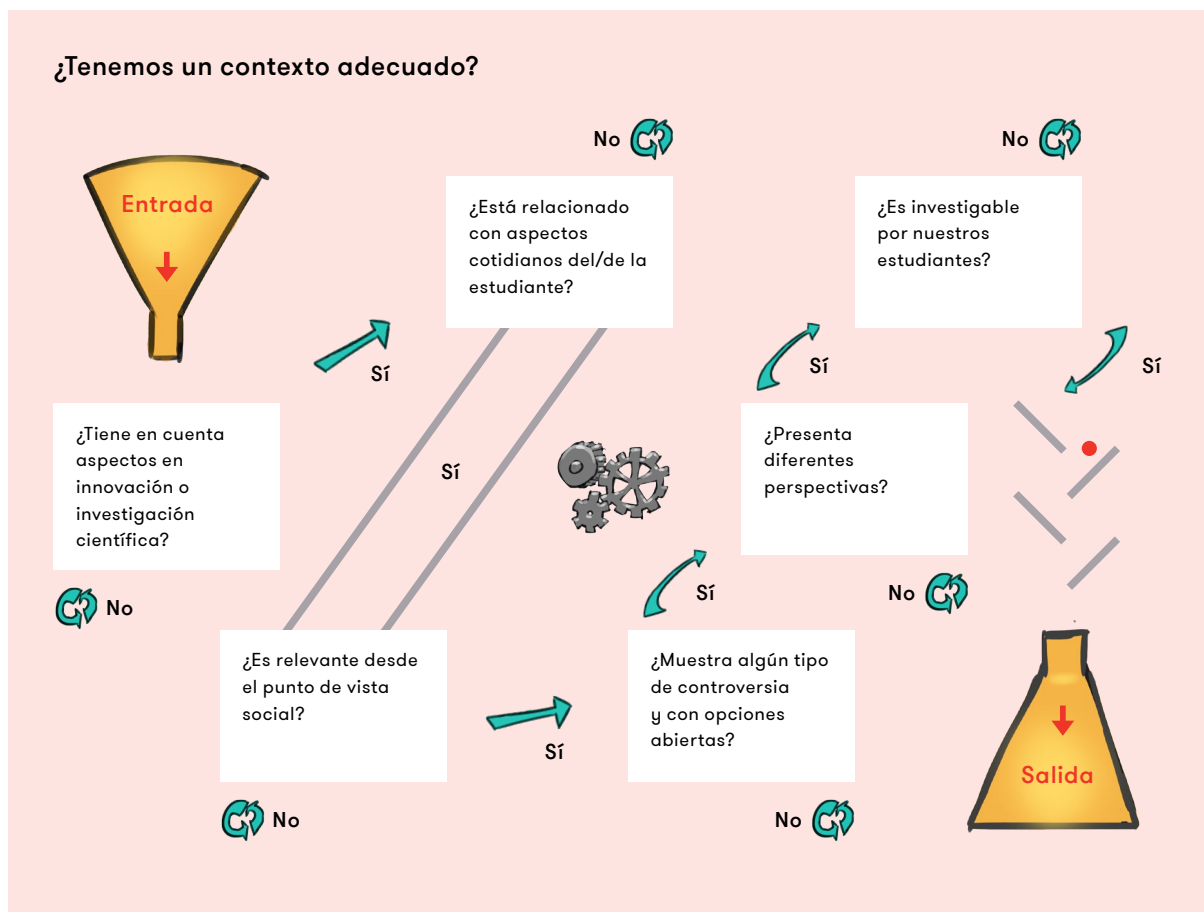


Figura S1 — La Máquina de Contextos SSIBL

Título del artículo	SSI
Biología	
Vacunas y salud	Vacunación en el “Ducht bible belt”; mujeres embarazadas que viajan y el virus Zika; Ébola y prohibición de viajar; pruebas en animales.
Efectos del tabaco en la salud	Restricciones gubernamentales contra el tabaquismo; valor de la vida humana (enfermedad vs. medicina); enfermedad y estilo de vida.
Escasez de alimentos en 2050	¿Qué medidas nos asegurarían disponer de alimentos en el futuro?
Investigación en células madre	Salvar vidas con células madre, aunque algunos sectores lo consideran poco ético; ¿deberíamos continuar utilizando las células madre?
Hongos contra las enfermedades en plantas	¿Debemos modificar genéticamente un organismo (hongo) cambiando su comportamiento para nuestro beneficio?
Terapias génicas contra el Alzheimer en ratones	Ensayos en animales. Uso de terapias génicas. Efectos sobre el Alzheimer.
Presión de la empresa Coca Cola sobre las leyes de protección de la salud	¿Deberían la autoridades gubernamentales dejar de estar “presionadas” por las multinacionales, en concreto cuando se trata de aspectos relacionados con la salud?

Tabla S1 — Artículos en la prensa sobre SSI (seleccionadas por maestros/as en formación inicial de la Universidad de Utrecht)

Biología, Matemáticas	
Los adolescentes beben y fuman mucho más cuando sus padres no están en casa	Sustancias nocivas y salud.
Química	
Reciclaje de neumáticos para canchas deportivas	Los neumáticos contienen determinados compuestos identificados como cancerígenos (hidrocarburos aromáticos policíclicos).
Orina en el agua de mar	Algunas personas creen que orinar en el mar puede ser nocivo. ¿Qué dice la ciencia?
Química, Biología	
Plásticos en las especies abisales	¿Deberíamos seguir utilizando plásticos que no son biodegradables?
Alta concentración de pesticidas encontrados en el muesli y otros cereales	¿Cómo influye la ingesta de alimentos contaminados con pesticidas en nuestra salud?
Química, Biología, Astronomía	
Partículas en la atmósfera de Marte	Halladas partículas en la atmosfera de Marte que causan Alzheimer. ¿Podríamos habitar otros planetas en el futuro?

Controversias socio-científicas en los medios de comunicación

La **Tabla S1** muestra diferentes noticias de SSI (recopiladas por profesorado en formación de la Universidad de Utrecht), las preguntas que se formulan y las posibles materias o asignaturas con las que se pueden relacionar.

APROXIMACIONES PARA DEFINIR ESCENARIOS SSI

Actividad de ejemplo: Enganchar y promover el interés

Uno de los retos al utilizar SSIBL es enganchar y motivar al estudiante. Cuando el alumnado no es capaz de identificar preguntas retadoras o dilemas, una posible estrategia es recurrir a los medios de comunicación con el objeto

de poder motivar y comenzar discusiones productivas. Este ejemplo, sobre nanotecnología y nanomateriales está inspirado en un curso de desarrollo profesional de docentes impartido en la universidad de Malmo. *Ultra Ever Dry* es un compuesto hidrofóbico y se utiliza como elemento disuasorio en determinados comportamientos poco cívicos. Así por ejemplo, los muros del distrito de St. Pauli (Hamburgo) han sido rociados con este compuesto. De esta forma, cuando las personas incívicas con alguna copa de más deciden orinar en los muros de vía pública, el compuesto hidrofóbico la repele proyectándola hacia el infractor, de tal manera que esto se convierte en un elemento disuasorio bastante convincente. El producto *Utra Ever Dry* ya se está utilizando en otras ciudades (6). ¿Podría usarse para mejorar algunos baños públicos?

Otros ejemplos de propuestas de dilemas se pueden consultar online en (7).

Los cigarrillos electrónicos son objeto de interés en los medios de comunicación y entre determinados sectores, con diferentes puntos de vista. Los cigarros electrónicos podrían motivar a los adolescentes y ofrecer oportunidades para valorar los pros y contras. Aunque estos dispositivos han sido prohibidos, en algunos lugares del Reino Unido y Europa, existe un sector que piensa en ellos como una forma para dejar de fumar (artículo del Profesor David Nutt (8) en *The Guardian*, octubre 2016).

6

Más información en: <https://www.theguardian.com/cities/2015/mar/04/st-pauli-pees-back-hamburg-red-light-district-revenge>

7

Véase por ejemplo: <http://www.fi.uu.nl/toepassing/28527/>

8

Véase: <http://www.theguardian.com/commentisfree/2016/oct/14/vaping-saves-lives-madness-ban-smokers-cigarettes-kill>

El titular es “El vapeo salva vidas. Sería una locura prohibirlo”. Este es uno de esos titulares que se presta al debate y al posicionamiento a favor o en contra de la prohibición. El Proyecto ENGAGE ofrece determinados recursos relacionados con este tema ⁽⁹⁾.

Juego de cartas

Existen una serie de juegos que se pueden descargar de internet y que son muy útiles para ayudar a los estudiantes a pensar sobre los dilemas socio-científicos y socio-técnicos. Por ejemplo podríamos mencionar aquellos que son particularmente adecuados para estudiantes de secundaria y se pueden encontrar en red, con una licencia *creative commons* ⁽¹⁰⁾. Algunos juegos de cartas, para estimular la discusión sobre temas actuales, incluidos los socio-científicos, se pueden descargar a través de *PlayDecide* ⁽¹¹⁾.

Viñetas conceptuales (Concept cartoons)

Las viñetas son otra forma de estimular la discusión sobre temas controvertidos. La **Figura S2** es un ejemplo de una viñeta conceptual. El alumnado y profesorado, sin embargo, pueden crear su propia viñeta a través de diferentes globos o bocadillos que muestren diferentes puntos de vista, en torno a una situación particular.

Estructurar preguntas para los dilemas

La universidad de Utrecht ha utilizado el modelo de carrusel en los cursos de desarrollo profesional del profesorado para diseñar los contextos y facilitar la generación de diferentes preguntas investigables. La cuadrícula (**Tabla S2**) se ha modificado para poder utilizarla con el alumnado. Los ejemplos del capítulo 3 se han utilizado aquí a modo de ilustración.

9

Véase: <http://www.engagingscience.eu/en/2015/10/13/electronic-cigarettes>

10

Véase: <http://www.edinethics.co.uk/enhancement/ethentech-democs/democsgame.htm>

11

Véase: <http://www.playdecide.eu/about.html>



Figura S2 — Ejemplos de viñetas conceptuales

Preguntas	Caso A	Caso B	Caso C
¿Cuál es el contexto, cual es la controversia?	Ahorro de combustible en la escuela.	Fumar en la adolescencia.	Abordar la contaminación del aire.
¿Qué partes o agentes están implicadas?, ¿cuáles son sus principales intereses?	Alumnado (estudiar en un ambiente saludable); equipo directivo del centro (gestionar los gastos de combustible); autoridades locales (regulaciones sobre eficiencia energética en edificios).	Alumnado (adicción al tabaco¿, qué se puede hacer al respecto?, ¿cuáles son las alternativas?); docentes (¿cómo abordar el tema con sensibilidad desde el plan de estudios?); equipo directivo del centro (¿cuál debería ser la política de la escuela?); padres/madres (¿qué información nos ayudará?); profesionales de la salud (información sobre las actitudes de los estudiantes); industria del tabaco (ganancias, empleo); gobierno (impuestos relacionados).	Alumnado (acciones en contra de la contaminación del aire, ciencia relevante); grupos ambientales (formular políticas en un contexto local, nacional y juvenil); comunidad local (medidas prácticas para reducir la contaminación local); profesorado (establecer relaciones con el currículo de química).

Tabla S2 — Esquema para preparar diferentes actividades SSIBL

Conocimiento científico relevante	Flujo de calor; conductividad, medidas de temperatura.	Respiración, mecanismos de la respiración, difusión de gases.	Catálisis, Química Orgánica, Nanomateriales.
¿Qué preguntas podrían surgir? ¿Qué preguntas investigables podemos plantear relacionadas con el problema?	¿En qué zonas de la escuela se producen “más fugas” de calor? ¿Cómo podemos mantener la escuela más cálida en invierno y más fresca en verano? ¿Cómo podríamos ahorrar en combustible?	¿Cuáles son los efectos biológicos del tabaquismo? ¿Qué aditivos usan las industrias del tabaco para hacer que los cigarrillos sean más atractivos? ¿Por qué fuman los jóvenes? ¿Cuáles son las mejores estrategias para ayudar a los jóvenes a dejar de fumar?	¿Cómo se reduce la contaminación con la ropa ecológica? ¿Cuál es la efectividad de la ropa ecológica?

FORMULANDO PREGUNTAS EN CONTEXTOS INFORMALES

Un ejemplo sobre cómo plantear preguntas de investigación relacionadas con la visita al museo y la generación de electricidad

Los/as niños/as más pequeños en la escuela de primaria visitaron una antigua central eléctrica para aprender sobre las diferentes formas de generar electricidad. Dentro del marco SSIBL se presenta esta actividad a los docentes y se utiliza como ejemplo para planificar actividades

relacionadas con la generación de energía eléctrica. A través de la colaboración y el aprendizaje experiencial, incluida una visita al *Energy Discovery Centre* (EDC) en Tallin (Estonia), los docentes planifican las sesiones y discuten las preguntas con los niños antes visitar al museo, como por ejemplo:

- ¿Pueden las personas decidir qué fuente de energía desean usar?
- ¿Cómo se toman decisiones sobre el suministro de energía?
- ¿Deberían los/as niños/as opinar para poder tomar estas decisiones?

Estas preguntas ayudan a pensar en el problema, focalizándose en la pregunta principal: ¿Cómo debería producirse la electricidad en Estonia?

Descubren diferentes formas de transferencia de energía, por ejemplo, experimentando con turbinas, y la relación que existe entre el movimiento y la generación de electricidad (*Fotografía S1*), y también aprenden sobre etapas históricas de producción de energía.

Se fomenta que el alumnado haga preguntas sobre cómo se genera la electricidad en su hogar. Discuten en grupos posibles formas de actuar para reducir los costos de energía en su hogar y cómo podrían usar fuentes alternativas.



Fotografía S1 — Niñas que investigan la conexión entre el movimiento y la generación de electricidad

Anexo 2—

Indagación: ‘Indagar’



Mapeando la controversia

Identificar la controversia (o lo que hemos denominado como mapear la controversia) es una forma de organizar las diversas perspectivas en un tema socio-científico para poder discutir las conexiones entre los aspectos científicos, tecnológicos, sociales, éticos, políticos y legales. También nos permite reflexionar sobre las influencias a nivel personal, social y global. Los componentes de un mapa de controversia pueden ser humanos o no humanos y se conocen como “sujeto” (del inglés “actant”). Este puede ser una organización o un individuo.

Se puede escribir el dilema en una hoja de papel A3. Se pueden utilizar “post-its”:

- Partes implicadas y sus intereses;
- Sus opiniones y argumentos;
- Valores que puedes identificar;
- Intenta establecer relaciones conectando con flechas.

La **Figura S3** muestra el trabajo realizado por los participantes israelíes en la organización de un mapa de controversia sobre inmunización. La inmunización está dirigida a la prevención de enfermedades infecciosas letales, y está ineludiblemente asociada a las compañías farmacéuticas que producen la vacuna. La vacuna en sí misma actúa como eje central de una relación que se establece entre científicos, pacientes, médicos y compañías farmacéuticas. Cuando el eje central o sujeto cambia, este cambio repercute en todas las partes implicadas.

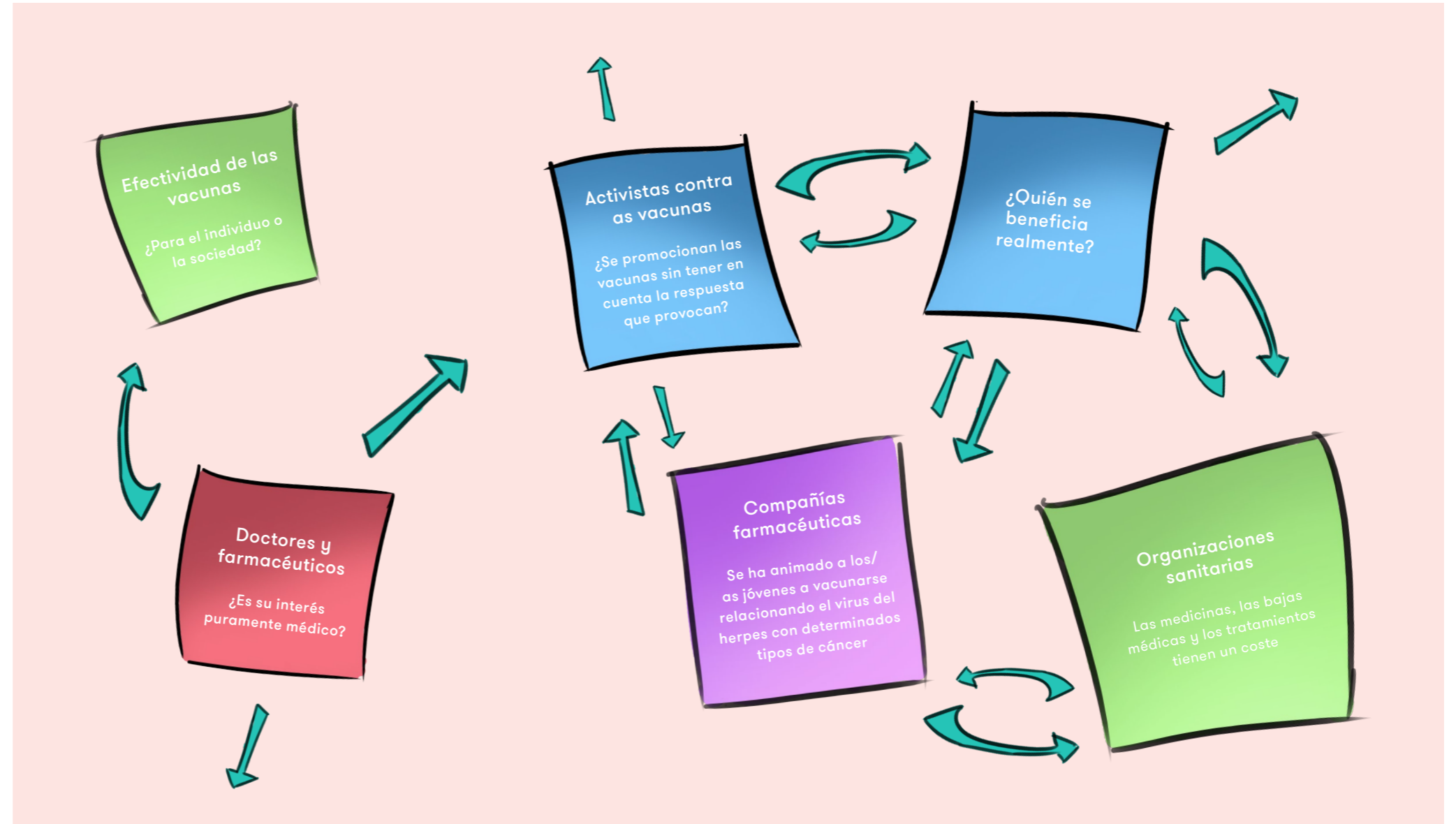


Figura S3 — Inmunización y su posible mapa de controversia

Un nuevo gobierno podría, por ejemplo, cambiar la estructura de financiación para la producción de medicamentos, lo que afectaría a quién se vacunara y cómo se priorizaran otros problemas de salud. Organizar un mapa colaborativamente ayuda a los participantes a debatir el tema, discutir el aspecto o el nivel particular de la controversia y centrarse en las preguntas para la investigación.

Análisis del ciclo de vida

Como resultado principal de la charla sobre riesgos de la nanotecnología en una sesión de formación de profesorado en la Universidad de Malmö, uno de los docentes decidió realizar un análisis del ciclo de vida de un nano-material *Ultra Ever Dry* cuyas propiedades hidrofóbicas tienen muchas aplicaciones tanto en ámbitos públicos como domésticos. El resultado de dicho análisis dio lugar al mapa que vincula las diferentes partes implicadas (**Figura S4**). Esto ayudó a los participantes a identificar las partes interesadas, los pros y los contras de la tecnología, particularmente en términos de aceptabilidad ética de los productos, su aceptación social y sostenibilidad.

Ejemplo de actividad: modelizar

Esta actividad realizada por los colegas de la Universidad de Oporto, está relacionada con los riesgos de salud causados por la adicción a la nicotina y al alcohol. Una peculiaridad de esta actividad fue la utilización de *Daphnia*

magna como modelo para detectar la actividad de la nicotina y del alcohol. *Daphnia* es un pequeño crustáceo con un exoesqueleto translúcido, lo que permite visualizar y observar con microscopio sus latidos en determinadas condiciones experimentales.

Los modelos son representaciones de sistemas y fenómenos y permiten a los/as científicos predecir efectos, pero es importante distinguir entre modelo y realidad. Los modelos son simplificaciones y aproximaciones, y pueden presentar diferentes aspectos del mismo fenómeno. Por ejemplo, el modelo del átomo de Bohr ayuda a los estudiantes a entender la transferencia de electrones, pero no ofrece ninguna indicación de la distribución tridimensional de los orbitales tal y como nos presenta el modelo orbital. Los esqueletos muestran posiciones de articulaciones en el cuerpo y pueden mostrar grados de libertad de movimiento, pero para poder tener una comprensión más completa e integral del movimiento debemos complementarla con otro tipo de representaciones, como imágenes médicas que muestren inserciones musculares o multimedia y videos que muestran, por ejemplo qué movimientos tienen lugar cuando se camina.

En edades tempranas podemos utilizar como introducción a la modelización un modelo en 3D de una flor o animal y pedirles que expliquen cómo el modelo difiere o se asemeja a la versión real. También podemos encontrar muchos ejemplos de simulaciones **(12)** que permiten a los estudiantes explicar fenómenos, hacer predicciones y resolver problemas, pero deben

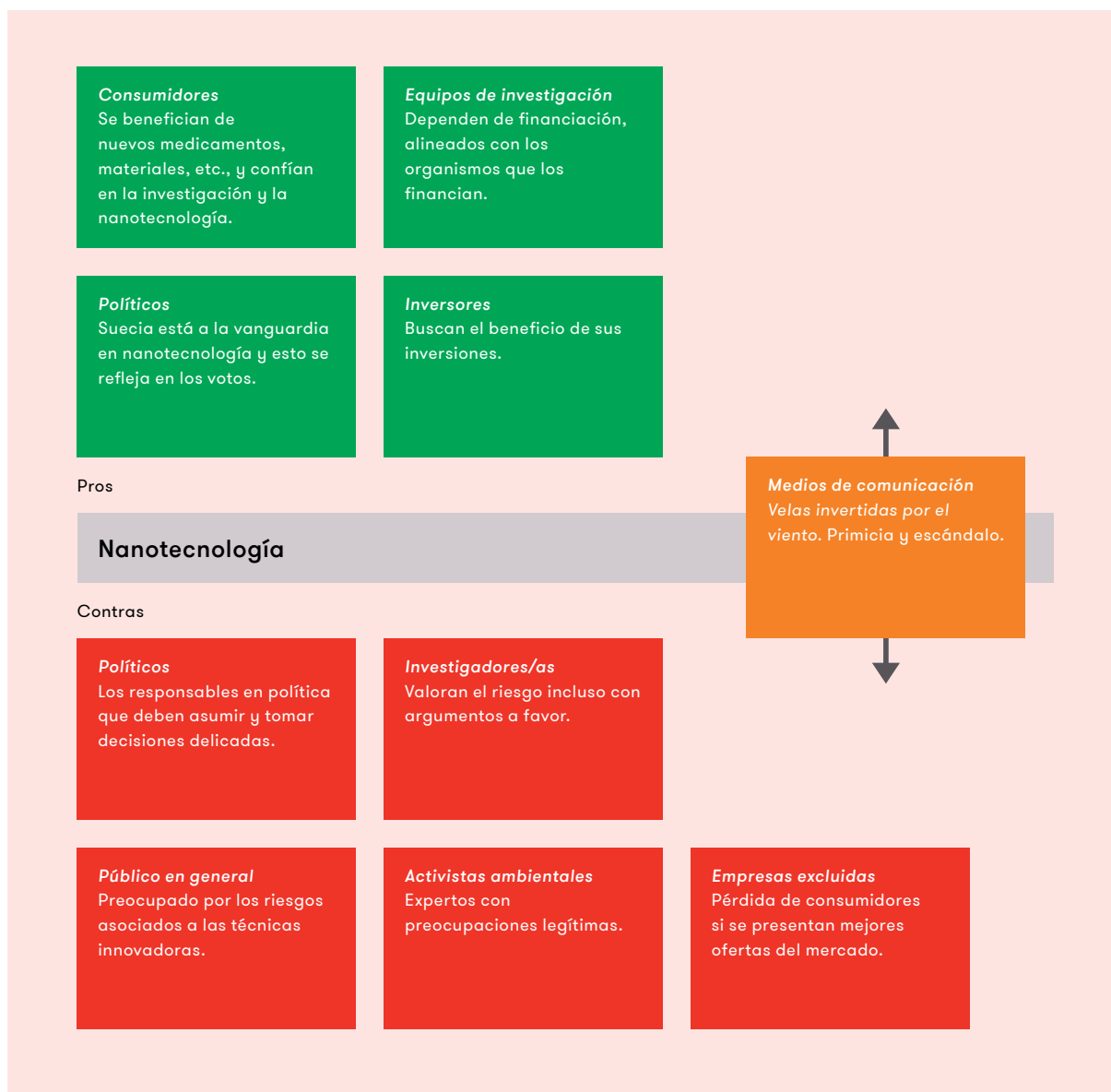


Figura S4 — Mapeando grupos de interés en productos nanotecnológicos

tener en cuenta las formas en que los modelos simplifican la realidad y se fijan determinadas variables.

Los grandes fenómenos climáticos como el *Efecto Invernadero (Greenhouse Effect)* se pueden modelizar, por ejemplo, usando botellas de plástico para imitar las condiciones dentro de un invernadero (Véase, por ejemplo, “The greenhouse effect -1” in The Royal Society of Chemistry’s *Classic Chemistry Demonstrations*).

Ejemplo de actividad: Riesgo e incertidumbre

Un aspecto importante para trabajar en una aproximación SSIBL es comprender y abordar “el riesgo y la incertidumbre”. Por ejemplo, en ciencias ambientales, estos son conceptos

cruciales porque cualquier acción que se tome implica incertidumbre y riesgos desconocidos. Los riesgos se pueden entender formalmente como la probabilidad de que ocurra un evento y el impacto que provoca. Por ejemplo, la probabilidad de que ocurra un tsunami en un lugar determinado podría ser muy baja, pero de ocurrir su impacto sería muy alto. Por otro lado, las personas a menudo perciben con recelo determinados eventos cotidianos, como una caída, que aunque puede ocurrir frecuentemente, en general, sus consecuencias no son graves. Estimar el riesgo es en sí mismo incierto. Aunque existen argumentos que defienden que el riesgo se puede medir objetivamente mediante la recopilación de estadísticas relevantes, hemos de saber que tanto el efecto personal como el social se han de tener en cuenta. Por ejemplo, el riesgo asociado a posibles accidentes relacionados con volar en avión se considera bajo, pero algunas personas sufren una gran ansiedad pensando que volar implica un gran riesgo, por lo que esta situación es perjudicial para su salud y debe tenerse en cuenta al realizar estimaciones.

Cualquier acción que realizamos sobre el medio ambiente conlleva ciertos riesgos. Algunos de estos riesgos pueden no ser obvios. Por ejemplo, el uso de placas solares, en principio, no presenta un impacto perjudicial aparente. Sin embargo, la fabricación de las células fotoeléctricas en los paneles solares utiliza grandes cantidades de energía y los materiales para su producción pueden tener efectos secundarios tóxicos, particularmente cuando se producen a bajo costo (13).

12

Véase por ejemplo: E-chalk (<http://www.echalk.co.uk>) y PHET (<https://phet.colorado.edu>), en donde podemos encontrar ejemplos conectados con SSIBL relacionados con diversas áreas científicas.

13

En el siguiente enlace se puede encontrar más información: <http://news.nationalgeographic.com/news/energy/2014/11/141111-solar-panel-manufacturing-sustainability-ranking>

14

Véase: <https://understandinguncertainty.org/view/animations>

El sitio web de David Spiegelhalter ofrece animaciones para estudiantes y profesorado para discutir el riesgo y la incertidumbre ⁽¹⁴⁾.

Comunicar los hallazgos a las partes influyentes

Un aspecto importante de SSIBL es promover cambios cuando se percibe que hay un problema. Por lo tanto, los/as estudiantes deberían dedicar tiempo a refinar sus argumentos para convencer a aquellos/as que pueden hacer que esos cambios se lleven a cabo. Algunos elementos clave son:

- El medio para exponer el caso: póster, cortometraje, presentación dramática, un artículo en un periódico, un discurso, etc.
- Presentar evidencias; esto es, organizar los datos de tal manera que faciliten el argumento convincente.
- Razones. Presentar razones convincentes para el caso.
- Sugerir alternativas al estado de la cuestión.
- Coherencia. Centrarse en aspectos concretos, presentar los hechos de uno en uno y en un orden lógico.
- Ofrecer los argumentos de forma concisa, breve y comprensible.

Anexo 3—

Educación Ciudadana (CE)



Aproximación SSIBL a través de la Educación Ciudadana (CE)

En internet podemos encontrar algunos buenos ejemplos del uso de la educación ciudadana en el aula (15). Estos recursos consisten en actividades para promover el trabajo en grupo y la colaboración durante el desarrollo de la actividad SSIBL.

Línea de controversia

Una vez que los/as estudiantes conocen el contexto de la controversia, se organizan a lo largo de una fila dependiendo del grado de acuerdo o desacuerdo que comparten (Figura S5). Se ha tomado como ejemplo una sesión sobre el uso de antibióticos en el ganado utilizada en un programa de formación de profesorado llevado a cabo en la de Universidad de Tecnología de Chipre.

La forma en la que los participantes se distribuyen a lo largo de la línea puede promover la discusión; por ejemplo: los participantes cercanos pueden negociar cuál es el punto fuerte de su acuerdo/desacuerdo. Los que están en diferentes extremos pueden trabajar en grupos para refinar aún más las opiniones en las que difieren. Una forma de promover la deliberación es:

1. Preguntar a dos grupos de participantes situados en posiciones distantes (grupo A y grupo B) que expongan sus principales puntos de desacuerdo;

2. Ofrecer a ambos grupos el tiempo suficiente para preparar sus argumentos;
3. El grupo A presenta su posición dentro de un intervalo de tiempo de tres minutos;
4. El Grupo B escucha y luego tiene que presentar el caso del Grupo A de una forma más convincente, y si es posible, con un respaldo de evidencias más sólido;
5. Las posiciones se invierten;
6. Solo cuando cada grupo se ha asegurado de que se comprenden sus posiciones, entonces discuten sus diferencias.

Esto promueve la escucha activa y el uso de evidencias y la lógica en la discusión. Esta actividad se puede mejorar introduciendo un eje racional y emocional, usando “Arguments in motio” de Van der Zande (2012) (16). Durante esta actividad, en las cuatro esquinas del aula se representa: “desde el corazón”, “en contra del corazón”, “desde el cerebro” y “en contra del cerebro” (Figura S6). Los/las estudiantes se posicionan en el aula, mostrando cuál es su opinión sobre el asunto tratado (a favor o en contra) y la forma en la que llegaron a esta opinión (con el corazón o con el cerebro, más impulsiva o más racional). La idea es que los participantes puedan apreciar las diferentes opiniones, hacerse preguntas entre ellos y cambiar de lugar. Los/as estudiantes pueden moverse por el aula, ir a otras zonas y pensar en argumentos para esa ubicación, reflexionando así sobre otras opiniones.



Figura S5 — Línea de controversia

15

Esta actividad ha sido adaptada de la Association for Citizenship Teaching en colaboración con el National Citizen Service Trust (<https://www.teachingcitizenship.org.uk/resource/ncs-key-stage-3-curriculum-activities>). Otro recurso que puede ser utilizado para favorecer las discusiones en grupos pequeños y la argumentación puede encontrarse en: <https://www.pstt-cpd.org.uk/ext/cpd/argumentation/unit1.php>

Las presentaciones del profesorado, en actividades de inmersión, relacionadas con los diferentes intereses sobre el tema de los antibióticos en el ganado (por ejemplo, desde el punto de vista de un agricultor, agencia gubernamental, científico) pueden verse en: <https://youtu.be/kuGOJ7mXEFM>.

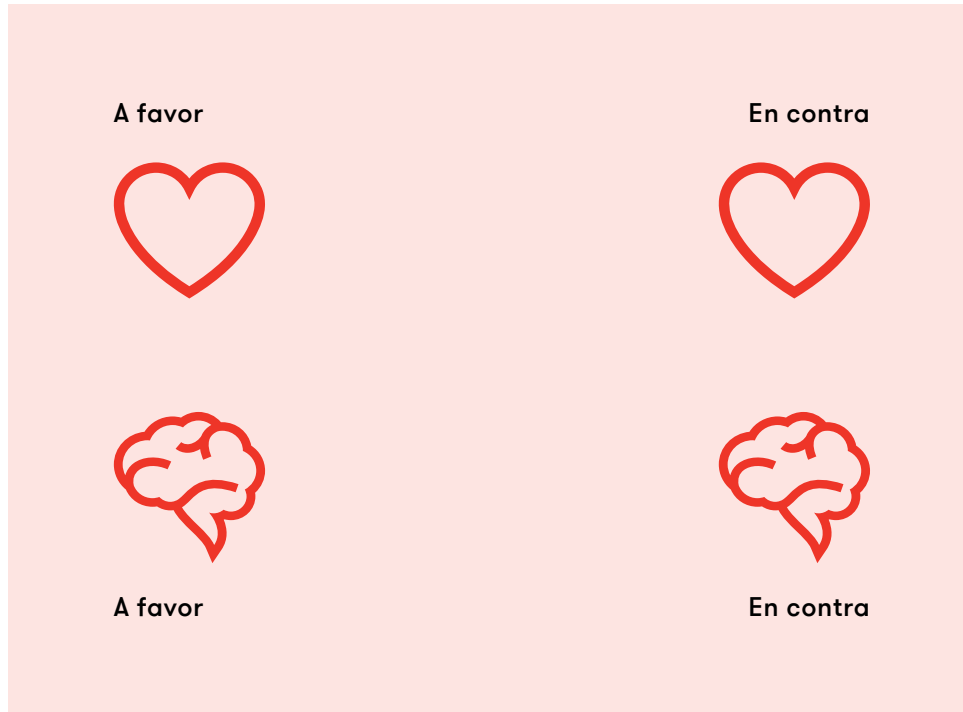


Figura S6 — “Arguments in motion” en la organización de la clase

16

Zande, P.A.M. van der (2012). Beweegredeneren, een werkvorm bij dilemma's in de klas. Véase también: <https://elbd.sites.uu.nl/2017/07/28/beweegredeneren-een-werkvorm-bij-dilemmas-in-de-klas/>

Identificar los valores subyacentes

Una vez establecido el contexto para una determinada situación, los/as estudiantes pueden usar la matriz ética adaptada de Mepham (2005) (17); esta tabla cruza los puntos de vista de las partes interesadas y tres principios éticos principales. Estos principios son:

- **Bienestar:** respetar los intereses de las partes implicadas y causar el menor perjuicio posible a dichas partes.
- **Autonomía:** respetar los derechos del individuo (ya sean humanos o no) para actuar y vivir sus vidas de la manera que prefieran.
- **Justicia:** actuar de manera equitativa y justa.

Los/las estudiantes deben cumplimentar la matriz ética con sus puntos de vista. Se toma un ejemplo del uso de antibióticos en el ganado (**Tabla S3**).

Actuando

En las actividades SSIBL, tras la identificación de distintas perspectivas o soluciones, la clase o el grupo tendrán que debatir. La forma de articular el debate en clase dependerá de cómo

hayamos organizado los grupos. Incluso si se han distribuido los aspectos a trabajar y el aspecto a debatir ha sido trabajado por un solo grupo podríamos dar la oportunidad a toda la clase de discutir sus opiniones sobre qué acciones realizar o qué medidas se deberían tomar. Existen diversas estrategias para articular el debate: se le puede pedir a cada miembro de la clase que sugiera una forma concreta de pasar a la acción y que coloque su propuesta en una caja, clasificando dichas aportaciones en posicionamientos a debatir. A continuación la clase podría dividirse en dos grupos “enfrentados” en posturas; si hubiera un número impar de estudiantes, podría designarse una persona como moderadora o ayudante de ambos grupos. Posteriormente se crearía un espacio en el aula con sillas en posiciones enfrentadas para que los/as participantes puedan debatir sus argumentos y verse de frente cuando realizan sus intervenciones.

El docente distribuye a cada estudiante colocado en un círculo interno, tiras de papel con una o dos posibles opciones. Se discute durante dos minutos las posibles acciones entre un estudiante del círculo interno y un estudiante sentado frente a ellos en el círculo exterior. Luego, los estudiantes en el círculo exterior cambian de asiento hacia la izquierda. Las discusiones continúan con diferentes estudiantes; se realizarán de tres a cinco emparejamientos diferentes dependiendo de la cantidad de soluciones disponibles. La clase luego se reúne e informa sobre sus decisiones.

17

Mepham, B. (2005). *Bioethics*. Oxford: Oxford University Press.

Respeto por	Bienestar	Autonomía	Equidad
Agricultores	Mejora sus ingresos y condiciones de vida.	Puede decidir bajo qué circunstancias usar los antibióticos con su ganado.	Puede decidir el valor de sus productos en el mercado en el que está, y se rige por prácticas y leyes justas.
Consumidores	Se alimenta a partir de un ganado saludable.	Puede elegir qué producto comprar.	Un suministro de alimentos disponible para toda la población.
Ganado	Derecho a una vida sana y minimización del sufrimiento.	Su forma natural de vida no es anulada, por ejemplo: pastar, dormir.	Tratados como seres conscientes por derecho propio, no meramente como instrumentos para aumentar los ingresos de los agricultores.

Tabla S3 — Antibióticos en el ganado. Matriz ética

PARRISE (Promoting Attainment of Responsible
Research and Innovation in Science Education) project